

Optimierung geschlossener Wertschöpfungskreisläufe bei beschränkten Kapazitäten

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.)

genehmigte Dissertation

von Leena Steinke

aus
Bielefeld, Deutschland

2021

Gutachter:in:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding (Prüfungsausschussvorsitzender)

Prof. Dr. Kathrin Fischer (1. Gutachterin)

Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten (2. Gutachter)

Tag der mündlichen Prüfung: 11.12.2020

Creative Commons Lizenzvertrag:

Der Text steht, soweit nicht anders gekennzeichnet, unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung 4.0 (CC BY 4.0). Das bedeutet, dass er vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden darf, auch kommerziell, sofern dabei stets der Urheber, die Quelle des Textes und o. g. Lizenz genannt werden. Die genaue Formulierung der Lizenz kann unter <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de> aufgerufen werden.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4693-9414>

DOI: <https://doi.org/10.15480/882.3419>

Handle: <http://hdl.handle.net/11420/9243>

Zusammenfassung

Heutzutage stehen produzierende Unternehmen vor dem Zielkonflikt zwischen Kostenminimierung durch Massenherstellung standardisierter Produkte und der Fertigung individualisierter Produkte zu hohen Kosten. Eine flexibilisierte Massenfertigung mit modular gestalteten Produkten, Komponentengemeinschaft und auftragsbezogener Fertigung soll die Lösung für dieses Dilemma sein. Zudem werden produzierende Unternehmen durch gesellschaftliche und gesetzliche Vorgaben, aber auch aus ökonomischen Gründen angehalten, ihre gebrauchten Produkte zurückzunehmen und wiederaufzubereiten. Modular gestaltete Produkte eignen sich für Refabrikation. In dieser Arbeit wird ein geschlossener Wertschöpfungskreislauf mit Refabrikation untersucht: Produkte werden von Kunden nach der Nutzung zurückgegeben und können so bearbeitet werden, dass ihre enthaltenen Komponenten wieder einen neuwertigen Zustand erreichen und an Stelle von extern beschafften Komponenten zur auftragsbezogenen Herstellung neuwertiger modularer Produkte genutzt werden können. Zur Planung dieses Wertschöpfungskreislaufs wird ein mathematisches Modell entwickelt.

Als erstes werden Wertschöpfungsketten mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen systematisch analysiert, um die besonderen Planungsanforderungen und damit Vorgaben an die mathematische Modellierung des in dieser Arbeit untersuchten Entscheidungsproblems herauszuarbeiten. Quantitative Methoden zur Entscheidungsunterstützung werden präsentiert. Diese Methoden sind jedoch nicht für das Entscheidungsproblem dieser Arbeit geeignet, da sie die speziellen Planungsanforderungen in der Modellierung vernachlässigen. Das diskrete Standortplanungsmodell ist eine solche Methode; dieses Modell und die Planung von Wertschöpfungskreisläufen mittels dieses Modells werden kritisch diskutiert. Ein diskretes Standortplanungsmodell für die Planung geschlossener Wertschöpfungskreisläufe aus der Literatur wird korrigiert vorgestellt und für ein Anwendungsbeispiel aus der Kopiergeräte-Industrie gelöst. Die Lösungen zeigen, welche Probleme durch die unzureichende mathematische Abbildung entstehen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird das diskrete Standortplanungsmodell schrittweise erweitert. Durch diese Vorgehensweise wird aufgezeigt, welche neuen Erkenntnisse und Verbesserungen durch die weiterentwickelte Modellierung des Entscheidungsproblems erreicht werden.

Zunächst wird das diskrete Standortplanungsmodell um Produktionsplanung mit Refabrikation erweitert. Die Lösungen für das Anwendungsbeispiel aus der Kopiergeräte-Industrie zeigen, dass dadurch die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Standort-, Transport- und Produktionsplanung im Wertschöpfungskreislauf erfasst werden. Außerdem werden nun Zulieferer-Standorte und -Mengen in die Planung miteinbezogen. Danach wird der Modellierungsansatz um (Volumen-)Kapazitätsplanung erweitert und auf einen mehrperiodigen Planungshorizont unterteilt. Nun wird die Kapazität gemeinsam mit Standorten sowie Transport-, Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen optimal bestimmt. Die Lösungen belegen, dass so hohe Überkapazitäten verhindert werden und der Zusammenhang zwischen Transport- und Lagermengen mit Standort-Kapazitäten abgebildet wird. Weiterhin kann nun der Einfluss von Produktlebenszyklen, Kunden-Nutzungsdauern von Produkten und des Produkt-Designs untersucht werden. Zudem kann beobachtet werden, dass Umverteilung von Produktionsinput unter bestimmten Bedingungen optimal ist. Da die Produktion mit Refabrikation arbeitsintensiv ist, muss auch die Personalbestandsplanung in die Modellierung miteinbezogen werden. Damit werden Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und die Arbeitsstunden des im Standort verfügbaren Personals bei der Optimierung berücksichtigt. Diese Planung wird noch durch eine differenzierte Modellierung der Entscheidungszeitpunkte verbessert. Daraus resultiert ein mathematisches Modell, dass die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung des geschlossenen Wertschöpfungskreislaufs kombiniert mit ihren jeweiligen mittel- und langfristigen Entscheidungszeitpunkten durchführt. So kann auch der Einfluss saisonal schwankender Nachfrage auf den Wertschöpfungskreislauf, insbesondere auf die Kapazitäten untersucht werden. Durch diese detaillierte Modellierung kann der Kapazitätsbedarf im Wertschöpfungskreislauf genauer bestimmt werden und die Kostenerfassung gegenüber dem diskreten Standortplanungsmodell ist verbessert. Folglich ist eine detaillierte mathematische Abbildung des Entscheidungsproblems erforderlich, sodass daraus ökonomisch sinnvolle Handlungsempfehlungen resultieren.

Summary

Nowadays, manufacturing companies are faced with the trade-off between cost minimization through mass production of standardized products and the production of individualized products at high costs. Flexible mass production with modularly designed products, component commonality and order-related production should be the solution to this dilemma. In addition, manufacturing companies are encouraged by social and legal requirements, but also for economic reasons, to take back their used products and remanufacture them. Products with a modular design are suitable for remanufacturing. In this work, a closed-loop supply chain with remanufacturing is examined: Products are returned by customers after use and can be processed in such a way that the components they contain are as good as new and used instead of externally procured components for the order-related manufacture of as-new modular products. Subsequently, a mathematical model for planning this closed-loop supply chain is developed.

First, supply chains with reverse product flows are systematically analyzed in order to work out the special planning requirements and thus specifications for the mathematical modeling of the decision problem examined in this work. Quantitative methods for decision support are presented. However, these methods are not suitable for the decision problem of this work because they neglect special planning requirements in the modeling. The facility location problem is one such method; this model and the planning of supply chains using this model are discussed critically. A facility location problem for planning a closed-loop supply chain from the literature is corrected and solved for an example from the copier industry. The solutions show which problems arise from the inadequate mathematical mapping. Building on this knowledge the facility location problem will be expanded step by step. This procedure shows which new findings and improvements can be achieved through the further developed modeling of the decision problem.

First of all, the facility location problem is expanded to include production planning with remanufacturing. The solutions for the example from the copier industry show that the mutual dependencies between location, transport and production planning in the supply chain are recorded. In addition, supplier locations and quantities are now considered in the planning. Then the modeling approach is expanded to include (volume) capacity planning and divided into a multi-period planning horizon. Now, the capacity is optimally determined together with the locations as well as the transport, procurement and processing quantities. The solutions prove that now high overcapacities are prevented and the relationship between transport and storage quantities is mapped with site capacities. Furthermore, the influence of product life cycles, customer usage duration of products and product design can now be examined. It can also be observed that the redistribution of production input is optimal under certain conditions. Since production with remanufacturing is labor-intensive, workforce planning must also be included in the modeling. This means that wage costs, processing times and the working hours available at the location are taken into account in the optimization. This planning is further improved by a differentiated modeling of the decision times. This results in a mathematical model that plans the location, capacity, transport, production and workforce of the closed-loop supply chain combined with their respective medium and long-term decision points. In this way, the influence of seasonally fluctuating demand on the supply chain, in particular on capacities, can be examined. With this detailed modeling, the capacity requirement can be determined more precisely and the recording of costs compared to the facility location problem is improved. Consequently, a detailed mathematical mapping of the decision problem is required so that recommendations for economically reasonable measures result.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	x
Abkürzungsverzeichnis	xi
Symbolverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Überblick über die Arbeit	3
1.3 Motivation	11
2 Grundlagen	15
2.1 Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen	16
2.1.1 Netzwerktypen von Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen	21
2.1.2 Management von Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen	27
2.1.3 Quantitative Planungsansätze für Probleme von Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen	37
2.2 Grundlagen der Standortplanung	48
2.2.1 Das diskrete Standortplanungsproblem	50
2.2.2 Kritik am diskreten Standortplanungsmodell	53
2.2.3 Kritik an Supply Chain Planung mittels diskretem Standortplanungsmodell	55
2.3 Standortplanungsproblem in Closed-Loop Supply Chains	58
2.3.1 Literatur zur diskreten Standortplanung im Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen	59
2.3.2 Mathematisches Modell zur Planung von kapazitierten Standorten im Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen	61
2.3.3 Strafkosten im diskreten Standortplanungsmodell	68
2.3.4 Fazit und Ausblick	87
3 Standort-, Produktions- und Kapazitätsplanung im Closed-Loop Supply Chain	91
3.1 Standort- und Produktionsplanung im Closed-Loop Supply Chain	92
3.1.1 Quantitative Ansätze zur kombinierten Standort- und Produktionsplanung	93
3.1.2 Aggregierte Produktionsplanung mit Refabrikation	95

3.1.3	Mathematisches Modell zur Planung von kapazitierten Standorten, Produktion und Refabrikation	109
3.2	Mehrperiodige Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung im Closed-Loop Supply Chain	134
3.2.1	Lagerhaltung im Supply Chain Management und in der quantitativen Modellierung	135
3.2.2	Mathematisches Modell zur mehrperiodigen Planung von Standorten, Kapazitäten, Transporten, Produktion und Refabrikation . .	140
3.2.3	Fazit und Ausblick	187
4	Kombinierte Planung strategischer und taktischer Closed-Loop Supply Chain-Probleme	191
4.1	Kombinierte Planung auf einer Planungsebene	192
4.2	Kombinierte Planung auf zwei Planungsebenen	211
4.2.1	Einteilung der Planungsprobleme	211
4.2.2	Kombinierte Standort-, Kapazitäts-, Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung einer Closed-Loop Supply Chain auf zwei Planungsebenen	214
5	Zusammenfassung, Limitationen und Ausblick	247
5.1	Zusammenfassung	249
5.2	Limitationen und Ausblick	262
	Literaturverzeichnis	271
A	Anhang	287
A.1	Distanzmatrizen	287
A.1.1	Für das Netzwerk nach Salema et al.(2007)[150]	287
A.1.2	Für das Mehr-Güter-Netzwerk des FLPR-, FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells	290
A.2	Lösungen des Modells von Salema et al. (2007)[150]	297
A.3	Lösungen des FLPR-Modells	310
A.4	Lösungen und Daten bzgl. des FLCPR-Modells	321
A.5	Lösungen des FLCAPPR-Modells	432
A.6	FLCAPPTR2-Modell	477
A.7	Lösungen und Daten bzgl. des FLCAPPTR2-Modells	483

Abbildungsverzeichnis

1.1	Überblick über die mathematischen Modelle, die in dieser Arbeit vorgestellt oder neu entwickelt werden (Eigene Darstellung)	4
2.1	Traditionelle SC mit Güterflüssen (Eigene Darstellung)	17
2.2	SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung)	17
2.3	Verwertungsformen für gebrauchte Einheiten (Eigene Darstellung nach Jayaraman et al. (1999)[95])	20
2.4	„one-to-many“-Struktur von Netzwerken mit ausschließlich vorwärtsgerichteten Produktflüssen und „many-to-many“-Struktur von Netzwerken mit zusätzlich rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach Fleischmann et al. (2004)[55])	22
2.5	Traditioneller PLZ mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach [145] [90])	35
2.6	Einstufiges Netzwerk mit vorwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung)	51
2.7	Einstufiges Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach Marin und Pelegrin (1998)[123])	59
2.8	Dreistufiges Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach Salema et al. (2007)[150])	60
2.9	Kunden und mögliche Standorte für VZ, DZ und Werke (Eigene Darstellung)	76
2.10	Ausgangslösung des Modells von Salema et al. (2007)[150] (Eigene Darstellung)	79
2.11	Netzwerk für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte, $\forall f \in F$ (Eigene Darstellung)	81
2.12	Optimale Standorte und Transportmengen zwischen VZ, Werk und DZ für $Cap_{vz}^O = 5.000$ Produkte, $\forall vz \in VZ$ (Eigene Darstellung)	83
2.13	Gesamtkosten für Kostenersparnis von $c_{dz} = 9$ GE und $c_{dz} = 10$ GE (Ausgangsbeispiel) für die Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts zur Befriedigung einer Nachfrage, $\forall dz \in DZ$ (Eigene Darstellung) .	85
2.14	Gesamtkosten für unterschiedliche Rückgaberraten (Eigene Darstellung) . .	86
3.1	Produktion und Refabrikation mit Lagerhaltung im APPR-Modell (Eigene Darstellung)	100
3.2	Produktion und Refabrikation im FLPR-Modell für ein Werk und WZ (Eigene Darstellung)	108
3.3	Mehr-Güter-Netzwerk mit kombinierten VSZ (Eigene Darstellung)	110
3.4	Gegebene und potentielle Standorte (Eigene Darstellung)	120

3.5	Optimales Netzwerk der Ausgangslösung des FLPR-Modells (Eigene Darstellung)	123
3.6	Vergleich der Kosten (ohne Standort-Eröffnungskosten) für das Ausgangsbeispiel nach dem FLPR-Modell und dem Modell von Salema et al. (2007)[150] (Eigene Darstellung)	124
3.7	Optimale Standorte und Flussmengen zwischen Zulieferer, VSZ und Werk für $Cap_v^O = 87.000m^3, \forall v \in V$ (Eigene Darstellung)	127
3.8	Netzwerk nach FLPR-Modell mit Refabrikation bei $c_r = -5, \forall r \in R$ (Eigene Darstellung)	130
3.9	Produktion und Refabrikation mit Lagerhaltung im FLCPR-Modell (Eigene Darstellung)	137
3.10	Planungshorizonte und Entscheidungszeitpunkte des FLCPR- und APPR-Modells (Eigene Darstellung)	138
3.11	Optimale Standorte und Kapazitäten für das Ausgangsbeispiel (Eigene Darstellung)	159
3.12	Optimale Transportmengen an Produkten zwischen Werk, VSZ und Kunden (Eigene Darstellung)	160
3.13	Optimale Transportmengen an Komponenten zum Werk vom WZ und vom Zulieferer (Eigene Darstellung)	162
3.14	Optimale Standorte und Güterflüsse für $c_{kp}^U = 76 \text{ GE}, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	164
3.15	Optimale Standorte und Kapazitäten für $rg_{kps}^t = 0, 8, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$ (Eigene Darstellung)	166
3.16	Vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse zwischen VSZ und Kunden bei produktspezifischer Nutzungsdauer (ND) (Eigene Darstellung)	169
3.17	Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ bei produktspezifischer Nutzungsdauer und unterschiedlichem Produkt-Design	171
3.18	Nachfragemenge der unterschiedlichen PLZ	174
3.19	Abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage (Ausgangsbeispiel), bei traditionell schwankender Nachfrage (klassischer PLZ) und bei schwach schwankender Nachfrage („Stable Maturity“-PLZ) (Eigene Darstellung)	175
3.20	Optimale Standorte und Kapazitäten bei stark schwankender Nachfrage („Rapid Penetration“-PLZ) (Eigene Darstellung)	176
3.21	Abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage (Ausgangsbeispiel) und bei stark schwankender Nachfrage („Rapid Penetration“-PLZ) (Eigene Darstellung)	178
3.22	Optimale Standorte und Kapazitäten bei Nachfrageanstieg von 30% pro Periode (Eigene Darstellung)	180
3.23	Abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage (Ausgangsbeispiel) und Nachfrageanstieg von 30% pro Periode (Eigene Darstellung)	181
3.24	Optimale Standorte und Kapazitäten für Beispiel mit Umverteilung (Eigene Darstellung)	184

3.25	Optimale Lager- und Transportmengen an Komponenten in bzw. zwischen den offenen Werken für Beispiel mit Umverteilung (Eigene Darstellung) . .	185
3.26	Vergleich der optimalen Bearbeitungs- und Lagermengen an Produkten im WZ für die Ausgangslösung und bei Beispiel mit Umverteilung (Eigene Darstellung)	186
4.1	Optimale Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden über 5 Perioden für das Ausgangsbeispiel nach dem FLCAPPR-Modell (Eigene Darstellung) . .	199
4.2	Optimale Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden bei Subventionierung von Refabrikation im WZ, $c_r = -28$, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung) . .	201
4.3	Optimale Bearbeitungs- und Lagermengen an zurückgegebenen Produkten im WZ bei $c_r = -28$, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung)	202
4.4	Optimale Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden bei keinen Lohnkosten im WZ, $labcc_r = 0$, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung)	204
4.5	Optimale Standorte und Güterflüsse für $labcc_B = 16$ GE im Berliner VSZ bzw. Werk (Eigene Darstellung)	207
4.6	Planungshorizont und Entscheidungszeitpunkte des FLCAPPTR2-Modells (Eigene Darstellung)	214
4.7	Bearbeitungsmengen und Arbeitsstunden im Werk und VSZ für Daten des Ausgangsbeispiels nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)	228
4.8	Vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse für Daten des Ausgangsbeispiels nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)	230
4.9	Vergleich der Kapazitäten im Werk und VSZ für Daten des Ausgangsbeispiels nach dem FLPR-, FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)	231
4.10	Vergleich der Kosten (ohne Standort-Eröffnungskosten) für das Ausgangsbeispiel nach dem FLCAPPR-Modell und dem FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)	232
4.11	Transportmengen an zurückgegebenen Produkten vom VSZ zum WZ (Eigene Darstellung)	234
4.12	Vergleich der WZ- und VSZ-Kapazität des FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells bei $c_r = -28$ GE bzw. $c_r = -27$ GE, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung)	235
4.13	Optimale Standorte und Flussmengen zwischen Zulieferer, VSZ und Werk für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ (Eigene Darstellung)	237
4.14	Saisonal schwankende und konstante Nachfrage über eine langfristige Periode (Eigene Darstellung)	240
4.15	Vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse und Arbeitsstunden im Werk und VSZ bei saisonal schwankender Nachfrage über den Planungshorizont (Eigene Darstellung)	241
4.16	Werk- und VSZ-Kapazitäten bei saisonal schwankender Nachfrage und im Ausgangsbeispiel über den Planungshorizont (Eigene Darstellung)	243
5.1	Überblick über die Entwicklung der neuen mathematischen Modelle, die in dieser Arbeit dokumentiert wurde (Eigene Darstellung)	248

A.1	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für die Ausgangslösung unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)	297
A.2	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] unter $c_{kp}^U = 143$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)	299
A.3	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte, $\forall f \in F$, unter $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)	300
A.4	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $Cap_{vz}^O = 5.000$ Produkte, $\forall vz \in VZ$, unter $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)	302
A.5	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] unter $c_{kp}^W = 20$ GE und $c_{kp}^U = 144$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)	304
A.6	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $c_{dz} = 9$ GE, $\forall dz \in DZ$, unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, (Eigene Darstellung)	305
A.7	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $c_{dz} = 0$ GE, $\forall dz \in DZ$, unter $c_{kp}^W = 1.000.000$ GE und $c_{kp}^U = 144$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)	306
A.8	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $rg_{kp} = 0,4$ unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	308
A.9	Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $rg_{kp} = 0$ unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	309
A.10	Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLPR-Modells unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	310
A.11	Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells unter $c_{kp}^U = 165$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	312
A.12	Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$, unter $c_{kp}^U = 1.000$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	313
A.13	Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $rg_{kp} = 0,8$ unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	315
A.14	Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $c_r = -5$, $\forall r \in R$ unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	316
A.15	Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $rg_{kp} = 0,4$ und $c_r = -5$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	318
A.16	Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $c_H^c = 9$ GE, $\forall c \in C$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	320
A.17	Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	321
A.18	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	328
A.19	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	334

A.20	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	340
A.21	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nutzungsdauer von 3 Perioden für alle Produkte und Kunden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	347
A.22	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für produktspezifische Nutzungsdauer unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) . . .	351
A.23	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für produktspezifische Nutzungsdauer und Komponentengemeinschaft unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	356
A.24	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) .	361
A.25	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) .	364
A.26	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden und $rg_{kps}^t = 0,9, \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	375
A.27	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	379
A.28	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	386
A.29	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	396
A.30	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) .	407
A.31	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) .	416
A.32	Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Umverteilung unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	425
A.33	Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 84, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	432
A.34	Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 85, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	434
A.35	Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	439
A.36	Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	445
A.37	Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	451

A.38 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ) (Eigene Darstellung)	457
A.39 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	462
A.40 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 29$ bzw. $dV_p =$ 25 Stunden unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	467
A.41 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	469
A.42 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$	471
A.43 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in$ $K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	484
A.44 Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	494
A.45 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	513
A.46 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)	535
A.47 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwan- kende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) .	557
A.48 Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwan- kende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung) .	567

Tabellenverzeichnis

2.1	Ausgewählte quantitative Ansätze im Management von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen	38
2.2	Relevante Definitionen für das CWLP	52
2.3	Relevante Definitionen für Modell von Salema et al. (2007)[150]	61
2.4	Relevante Definitionen für Modell von Salema et al. (2007)[150], fortführend	62
2.5	Relevante zusätzliche Definitionen	73
2.6	Parameterwerte basierend auf Fleischmann et al. (2001)[52]	74
2.7	Definition der Kunden und nachgefragten Menge pro Jahr	75
3.1	Relevante Definitionen für APPR-Modell	101
3.2	Relevante Definitionen für APPR-Modell, fortführend	102
3.3	Relevante Definitionen für APPR-Modell, fortführend	103
3.4	Relevante Definitionen für FLPR-Modell	112
3.5	Relevante Definitionen für FLPR-Modell, fortführend	113
3.6	Relevante zusätzliche Parameterwerte	120
3.7	Relevante zusätzliche Parameterwerte	121
3.8	Relevante Definitionen für das FLCPR-Modell	140
3.9	Relevante Definitionen für das FLCPR-Modell, fortführend	141
3.10	Relevante Definitionen für das FLCPR-Modell, fortführend	142
3.11	Relevante zusätzliche Parameterwerte	157
4.1	Relevante zusätzliche Definitionen für FLCAPPR-Modell	193
4.2	Relevante zusätzliche Parameterwerte	197
4.3	Relevante Definitionen für FLCAPPTR2-Modell	215
4.4	Relevante Definitionen für FLCAPPTR2-Modell	216
A.1	Distanzen zwischen potentiellen DZ- und Werk-Standorten	287
A.2	Distanzen zwischen potentiellen DZ-Standorten und Kunden und zwischen potentiellen VZ-Standorten und Kunden	288
A.3	Distanzen zwischen potentiellen Werk- und VZ-Standorten	289
A.4	Distanzen zwischen Zulieferern und potentiellen Werk-Standorten	290
A.5	Distanzen zwischen potentiellen Werk-Standorten	290
A.6	Distanzen zwischen potentiellen Werk- und VSZ-Standorten	291
A.7	Distanzen zwischen potentiellen VSZ-Standorten und Kunden bzw. zwi- schen Kunden und potentiellen VSZ-Standorten	292
A.8	Distanzen zwischen potentiellen VSZ-Standorten	293
A.9	Distanzen zwischen potentiellen VSZ- und WZ-Standorten und Entsor- gungseinheit	294

A.10 Distanzen zwischen potentiellen WZ-Standorten	295
A.11 Distanzen zwischen potentiellen WZ- und Werk-Standorten	296
A.12 Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Stable Maturity“-PLZ	369
A.13 Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei klassi- schem PLZ	372
A.14 Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Rapid Penetration“-PLZ	393
A.15 Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage- Rückgang von 40% pro Periode	404
A.16 Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage- Wachstum von 30% pro Periode	413
A.17 Nachgefragte Menge der Kunden pro Quartal im Jahr	483
A.18 Nachgefragte Menge der Kunden pro mittelfristige Periode einer langfris- tigen Periode bei saisonal schwankender Nachfrage	555

Abkürzungsverzeichnis

APP	„Aggregate Production Planning“ (Aggregierte Produktionsplanung)
APPR	Aggregierte Produktionsplanung mit Refabrikation
B	Berlin
Br	Bremen
CLSC	„Closed-Loop Supply Chain“
CLSCM	„Closed-Loop Supply Chain Management“
CLSCN	„Closed-Loop Supply Chain“ Netzwerk
CWLP	„Capacitated Warehouse Location Problem“
Due	Düsseldorf
Do	Dortmund
DP	Dynamische Programmierung
Dr	Dresden
Du	Duisburg
Due	Düsseldorf
DZ	Demontagezentrum
E	Essen
EOQ	„Economic Order Quantity“
EU	Europäische Union
FM	Frankfurt am Main
FLPR	„Facility Location Planning with Remanufacturing“
FLCPR	„Facility Location and Capacity Planning with Remanufacturing“
FLCAPPR	„Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Remanufacturing“
FLCAPPTR2	„Two-level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“
GE	Geldeinheiten
H	Hamburg
Ha	Hannover
K	Köln
L	Leipzig
LP	Lineares Problem
M	München
ME	Mengeneinheit
MILP	„Mixed Integer Linear Problem“
Nu	Nürnberg

OEM	„Original Equipment Manufacturer“
PKW	Personenkraftwagen
PLZ	Produktlebenszyklus
RAPP	„Remanufacturing Aggregate Production Planning“
RL	Reverse Logistik
RPLP	„Return Plant Location Problem“
RSC	„Reverse Supply Chain“
RSCM	„Reverse Supply Chain Management“
S	Stuttgart
SC	„Supply Chain“
SCM	„Supply Chain Management“
SPLP	„Simple Plant Location Problem“
UFLP	„Uncapacitated Facility Location Problem“
VSZ	Verteil- und Sammelzentrum
VZ	Verteilzentrum
WZ	Wiederaufbereitungszentrum

Symbolverzeichnis

Menge	Definition
C	Menge der Komponenten, aus denen die Produkte bestehen, $c \in C$
DZ	Menge der potentiellen Standorte für Demontagezentren, $dz \in DZ$
FD	Menge der potentiellen Werke und der Entsorgungsstandort D
K	Menge der fixen Kundenstandorte, $k \in K$
OP	Menge der Tätigkeiten des rückwärtsgerichteten Produktflusses, $op \in OP$, $OP = D, E, R$
P	Menge der Produkte, $p \in P$
RD	Menge der potentiellen WZ und der Entsorgungsstandort D
ST	Menge an langfristigen Planungsperioden, $t \in ST$
Θ	Menge an mittelfristigen Planungsperioden, $\theta \in \Theta$
V	Menge der potentiellen VSZ, $v \in V$
VZ	Menge der potentiellen Standorte für VZ, $vz \in VZ$
Z	Menge der fixen Zulieferstandorte für Komponenten, $z \in Z$
Parameter	Definition
a_{cp}	Menge an Komponente c erreicht durch die Demontage eines Produkts p , $\forall p \in P, c \in C$
α	Diskontierungszinssatz
b_{cp}	Menge an Komponente c , die in Produkt p enthalten ist, $\forall p \in P, c \in C$
c_c	Kosten für die Beschaffung einer Komponente c , $\forall c \in C$
c_z^c	Kosten für die Beschaffung einer Komponente c von Zulieferer z , $\forall z \in Z, c \in C$
c_{dz}	Kostenersparnis für die Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts zur Befriedigung von Nachfrage, $\forall dz \in DZ$
c^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung einer Einheit
c_c^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung einer Komponente c , $\forall c \in C$
c_p^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung eines zurückgegebenen Produkts p , $\forall p \in P$
c_p^{Dem}	Kosten für die Demontage eines Produkts p , $\forall p \in P$
c_p^{Mon}	Kosten für die Montage eines Produkts p , $\forall p \in P$
c_c^{Rem}	Kosten für die Refabrikation einer Komponente c , $\forall c \in C$
c_y	Kosten für die Bearbeitung einer Einheit an Standort y , $\forall y \in F \cup R$
Cap_{vz}^O	Maximale Kapazität in VZ vz (in Produkteinheiten), $\forall vz \in VZ$
Cap_y^O	Maximale Kapazität in Standort y (in Produkteinheiten), $\forall y \in F \cup DZ \cup VZ$
Cap_y^O	Maximale Kapazität in Standort y (in m^3), $\forall y \in F \cup V \cup R$

Cap_y^U	Minimale Kapazität in Standort y (in Produkteinheiten), $\forall y \in F \cup DZ \cup VZ$
Cap_y^U	Minimale Kapazität in Standort y (in m^3), $\forall y \in F \cup V \cup R$
c_{yw}	Kosten für den Transport eines Produkts von Standort y zu Standort w (per km), $\forall y, w \in F \cup DZ \cup VZ \cup K$
c_{yw}^x	Kosten für den Transport einer Einheit x von Standort y zu Standort w (per km), $\forall y, w \in Z, F, V, R, K : y \neq w, x \in C \cup P$
$c_{f,vz,k}$	Kosten für den Transport eines Produkts von Werk f über VZ vz zu Kunde k (per km), $\forall f \in F, vz \in VZ, k \in K$
$c_{k,dz,f}$	Kosten für den Transport eines Produkts von Kunde k über DZ dz zu Werk f (per km), $\forall k \in K, dz \in DZ, f \in F$
$c_{k,dz,D}$	Kosten für den Transport eines Produkts von Kunde k über DZ dz zur Entsorgungseinheit D (per km), $\forall k \in K, dz \in DZ$
$c_{vz,k}$	Kosten für den Transport eines Produkts von VZ vz zu Kunde k (per km), $\forall vz \in VZ, k \in K$
c_k^U	Strafkosten pro Einheit unbefriedigter Nachfrage von Kunde k , $\forall k \in K$
c_k^W	Strafkosten für ein nicht eingesammeltes Produkt von Kunde k , $\forall k \in K$
d_p^{Dem}	Benötigte Zeit für die Demontage eines Produkts p , $\forall p \in P$
d_p^{Ent}	Benötigte Zeit für die Entsorgung eines Produkts p , $\forall p \in P$
d_p^{Mon}	Benötigte Zeit für die Montage eines Produkts p , $\forall p \in P$
d_c^{Rem}	Benötigte Zeit für die Refabrikation einer Komponente c , $\forall c \in C$
dF_p	Benötigte Zeit für die Montage eines Produkts p in einem Werk (in Stunden), $\forall p \in P$
dR_c	Benötigte Zeit für die Refabrikation einer Komponente c in einem WZ (in Stunden), $\forall c \in C$
dV_p	Benötigte Zeit für die Annahme und den Umschlag eines Produkts p in einem VSZ (in Stunden), $\forall p \in P$
e	Kapazitätseinheit in m^3 , um die die Kapazität eines Standort in einer Periode verändert werden kann
$fcap_y^{Cost}$	Kosten pro Kapazitätseinheit für die Erweiterung der Kapazität des Standorts y , $\forall y \in F \cup V \cup R$
$fcap_y^{Rev}$	Erlös pro Kapazitätseinheit für den Abbau der Kapazität des Standorts y , $\forall y \in F \cup V \cup R$
f_y	Kosten für die Eröffnung des Standorts y , $\forall y \in F \cup DZ \cup VZ$
f_t^y	Kosten des offenen Standorts y in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
g_x	Volumen, das für eine Einheit x benötigt wird (in m^3), $\forall x \in C \cup P$
h^c	Kosten pro Periode für die Lagerung einer Komponente c , $\forall c \in C$
h_f^c	Kosten pro Periode für die Lagerung der Komponente c im Werk f , $\forall f \in F, c \in C$
$h_f^{c\theta}$	Kosten pro mittelfristige Periode θ für die Lagerung einer Komponente c im Werk f , $\forall \theta \in \Theta, f \in F, c \in C$

h_R^p	Kosten pro Periode für die Lagerung eines gebrauchten Produkts p , $\forall p \in P$
h_r^x	Kosten pro Periode für die Lagerung einer Einheit von x im WZ r , $\forall r \in R, x \in C \cup P$
$h_r^{x\theta}$	Kosten pro mittelfristige Periode θ für die Lagerung einer Einheit von x im WZ r , $\forall \theta \in \Theta, r \in R, x \in C \cup P$
l	Leasingdauer
$labcc_y^{Cost}$	Lohnkosten in Standort y pro Stunde, $\forall y \in F \cup R \cup V$
$LabCap_{Mon\theta}^O$	Maximale Arbeitsstunden verfügbar für die Montage in Periode θ , $\forall \theta \in \Theta$
$LabCap_{op\theta}^O$	Maximale Arbeitsstunden verfügbar für Tätigkeit op in Periode θ , $\forall op \in OP, \theta \in \Theta$
$LabCap_{yt}^O$	Maximale Arbeitsstunden des gesamten Personalbestands verfügbar in Standort y in Periode t , $\forall t \in ST, y \in F \cup R \cup V$
$LabCap_y^U$	Minimale Arbeitsstunden des gesamten Personalbestands vorgegeben für Standort y , $\forall y \in F \cup R \cup V$
le	Arbeitsstunden pro Arbeitskraft in einer langfristigen Periode
$le\theta$	Arbeitsstunden pro Arbeitskraft in einer mittelfristigen Periode θ
LST	Letzte langfristige Planungsperiode
$L\Theta$	Letzte mittelfristige Planungsperiode
$L\Theta ST$	Letzte mittelfristige Planungsperiode in einer langfristigen Periode
md	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der nach der Sichtprüfung im VSZ mindestens zu entsorgen ist
md^c	Anteil an Menge von Komponente c , der nach der Refabrikation mindestens entsorgt werden muss, $\forall c \in C$
md^{cDem}	Anteil an Menge von Komponente c , der nach der Demontage mindestens entsorgt werden muss, $\forall c \in C$
md^p	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der mindestens zu entsorgen ist
md_t	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der nach der Sichtprüfung im VSZ in Periode t mindestens zu entsorgen ist, $\forall t \in ST$
md_t^c	Anteil an Menge von Komponente c , der in Periode t entsorgt werden muss, $\forall c \in C, t \in ST$
$md_{\theta t}$	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der nach der Sichtprüfung in der mittelfristigen Periode θ in der langfristigen Periode t mindestens zu entsorgen ist, $\forall \theta \in \Theta, t \in ST$
$Mindest$	Mindest-Anzahl an Perioden, bevor Produkte für die Refabrikation zurückgegeben werden können
N_k	Nachfrage von Kunde k , $\forall k \in K$
N_{kp}	Nachfrage von Kunde k für Produkt p , $\forall k \in K, p \in P$
N_{kpt}	Nachfrage von Kunde k für Produkt p in Periode t , $\forall k \in K, p \in P, t \in ST$
$N_{\theta t}^{kp}$	Nachfrage von Kunde k nach Produkt p in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$N_{p\theta}$	Nachfrage für Produkt p in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$

RG_{kp}	Rückgabemenge von Kunde k für Produkt p , $\forall k \in K, p \in P$
rg_{kps}^t	Rückgaberate in Periode t von Kunde k für Produkt p , welches in Periode s abgesetzt wurde, $\forall k \in K, p \in P$, $s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$
$rg_{kp\theta s}^t$	Rückgaberate von Kunde k für Produkt p in der mittelfristigen Periode θ in der strategischen Periode t , welches in der langfristigen Periode s verkauft wurde, $\forall k \in K, p \in P$, $s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$
$rg_{p\theta}$	Rückgaberate für Produkt p in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
sf_y	Kosten für die Schließung des Standorts y , $\forall y \in F \cup V \cup R$
sh^c	Kosten für die Entsorgung einer gelagerten Komponente c am Ende des Planungshorizonts, $\forall c \in C$
sh_f^c	Kosten für die Entsorgung einer gelagerten Einheit c im Werk f am Ende des Planungshorizonts, $\forall f \in F, c \in C$
sh^p	Kosten für die Entsorgung eines gelagerten Produkts p am Ende des Planungshorizonts, $\forall p \in P$
sh_r^x	Kosten für die Entsorgung einer gelagerten Einheit x im WZ r am Ende des Planungshorizonts, $\forall r \in R, x \in C \cup P$
t_{kwy}	Distanz zwischen Kunde k über Standort w zu Standort y (in km), $\forall y, w, k \in FD, VZ, K, DZ : y \neq w$
t_{ywk}	Distanz zwischen Standort y über Standort w zu Kunde k (in km), $\forall y, w, k \in FD, VZ, K, DZ : y \neq w$
t_{yw}	Distanz zwischen Standort y zu einem anderen Standort w oder Kunde k (in km), $\forall y, w \in Z, FD, V, R, K : y \neq w$
Variable	Definition
$Cap_{\theta t}^y$	Anzahl an Volumen-Kapazitätsschritten im offenen Standort y in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t (in m^3), $\forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST$
$CapT_t^y$	Anzahl an genutzten Kapazitätseinheiten e am offenen Standort y in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$CCap_t^y$	Veränderung der Kapazität an Standort y in e -Einheiten in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$CCapD_t^y$	Verringerung der Kapazität an Standort y in e -Einheiten in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$CCapU_t^y$	Erweiterung der Kapazität an Standort y in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
EI_c	Menge an Komponente c im Lager am Ende des Planungshorizonts, $\forall c \in C$
EI_c^f	Menge an Komponente c verbleibend im Lager von Werk f am Ende des Planungshorizonts, $\forall f \in F, c \in C$
EI_p	Menge an gebrauchtem Produkt p im Lager am Ende des Planungshorizonts, $\forall p \in P$
EI_x^r	Menge an Einheiten von x verbleibend im Lager von WZ r am Ende des Planungshorizonts, $\forall r \in R, x \in C \cup P$

EXI_x^{yw}	Menge an x transportiert von Standort y zu Standort w auf der gleichen Netzwerkebene, $\forall y, w \in F \cup V \cup R : y \neq w, x \in C \cup P$
EXI_{xt}^{yw}	Menge an Einheit x transportiert von Standort y zu Standort w auf der gleichen Netzwerkebene in Periode t , $\forall y, w \in F \cup V \cup R : y \neq w, x \in C \cup P, t \in ST$
$EXI_{x\theta t}^{yw}$	Anzahl an x transportiert von Standort y zu Standort w auf der gleichen Netzwerkebene in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y, w \in F \cup V \cup R : y \neq w, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
H_t^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ in Periode } t \text{ geschlossen wird} \\ \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
$I_{c\theta}$	Menge an Komponente c im Lager am Ende von Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
I_{ct}^f	Menge an Komponente c verbleibend im Lager von Werk f in Periode t , $\forall f \in F, c \in C, t \in ST$
$I_{c\theta t}^f$	Menge von c verbleibend im Lager von Werk f am Ende der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall f \in F, c \in C, \theta \in \Theta, t \in ST$
$I_{p\theta}^R$	Menge an gebrauchtem Produkt p im Lager am Ende von Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
I_{xt}^r	Menge an Einheit x verbleibend im Lager von WZ r in Periode t , $\forall r \in R, x \in C \cup P, t \in ST$
$I_{x\theta t}^r$	Menge von x verbleibend im Lager von WZ r am Ende der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall r \in R, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$LCap_{\theta t}^y$	Verfügbarer Personalbestand an Standort y in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST$
U_{pt}^k	Menge an unbefriedigter Nachfrage nach Produkt p von Kunde k in Periode t , $\forall k \in K, p \in P, t \in ST$
$U_{p\theta t}^k$	Unbefriedigte Nachfrage von Kunde k nach Produkt p in der mittelfristigen Periode θ in der langfristigen Periode t , $\forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$\hat{U}_p^k$	Anteil an Nachfrage nach Produkt p von Kunde k , der unbefriedigt bleibt, $\forall k \in K, p \in P$
W_p^k	Anteil an Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k , der nicht eingesammelt wird, $\forall k \in K$
$X_{c\theta}^{Bes}$	Menge an Komponente c , beschafft von Zulieferern in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$X_{p\theta}^{DemR}$	Menge an zurückgegebenem Produkt p , demontiert in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^{EntR}$	Menge an Komponente c , entsorgt nach der Wiederaufbereitung in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$X_{p\theta}^{EntR}$	Menge an gebrauchtem Produkt p , entsorgt in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$

$X_{p\theta}^F$	Menge an Produkt p , hergestellt in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^F$	Menge an Komponente c , montiert in Periode θ , $\forall \theta \in \Theta$
$X_p^{f,vz,k}$	Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert von Werk f über VZ vz zu Kunde k , $\forall p \in P, f \in F, vz \in VZ, k \in K$
$X_p^{k,dz,f}$	Anteil an der Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k transportiert über DZ dz zu Werk f oder zum Entsorgungsstandort D , $\forall p \in P, k \in K, dz \in DZ, f \in FD$,
$X^{vz,k}$	Menge, die von VZ vz zu Kunde k transportiert wird, $\forall vz \in VZ, k \in K$
$X_{c\theta}^{RemR}$	Menge an Komponente c , wiederaufbereitet in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^R$	Menge an (neuwertiger) wiederaufbereiteter Komponente c in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
X_x^y	Menge an x bearbeitet in Standort y , $\forall y \in F \cup R, x \in C \cup P$
X_{xt}^y	Menge an Einheit x bearbeitet in Standort y in Periode t , $\forall y \in F \cup R, x \in C \cup P, t \in ST$
$X_{x\theta t}^y$	Anzahl an x bearbeitet in Standort y in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y \in F \cup R, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
X_x^{yw}	Menge an x transportiert von Standort y zu Standort w , $\forall y, w \in FD, V, RD, Z, K : y \neq w, x \in C \cup P$
X_{xt}^{yw}	Menge an Einheit x transportiert von Standort y zu Standort w in Periode t , $\forall y, w \in FD, V, RD, Z, K : y \neq w, x \in C \cup P, t \in ST$
$X_{x\theta t}^{yw}$	Anzahl an x transportiert von Standort y zu Standort w in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y, w \in FD \cup V \cup RD \cup Z : y \neq w, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
Y_{Et}^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ in Periode } t \text{ eröffnet wird, } \forall y \in F \cup V \cup R \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
Y_t^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ in Periode } t \text{ offen ist,} \\ & \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
Y^{vz}	$\begin{cases} 1, & \text{wenn das VZ } vz \text{ eröffnet wird, } \forall vz \in VZ \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
Y^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ eröffnet wird, } \forall y \in F \cup DZ \cup VZ \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
$YCCapU_t^y$	$\begin{cases} 1, & \text{wenn die Kapazität des Standorts } y \text{ in Periode } t \text{ gleich bleibt} \\ & \text{oder erhöht wird, } \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$

1 Einleitung

1.1 Einführung

Die Anforderungen an produzierende Unternehmen in Massenmärkten haben sich in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Die individuellen Kundenwünsche und -bedürfnisse unterscheiden sich mittlerweile so stark, dass es schwierig ist, diese zu einem homogenen Marktsegment zusammenzufassen. Weiterhin sind die Wünsche und Bedürfnisse von Kunden anfälliger für Veränderungen und Kunden neigen dazu, eher den Hersteller zu wechseln [84]. D.h. die Massenmärkte für produzierende Unternehmen sind heutzutage weniger homogen und stabil. Daher müssen Unternehmen mehr auf Kundenwünsche bei der Gestaltung von Produkten eingehen, um Produkte abzusetzen [111] [138].

Der technische Fortschritt der Informations- und Fertigungstechnologien ermöglicht einen direkten Informationsaustausch zwischen Anbieter und Konsument, die schnelle Umsetzung der Designidee zum Produkt und die Herstellung der gewünschten Produkte zu niedrigen Kosten [138] [26].

Weiterhin werden produzierende Unternehmen in den letzten Jahrzehnten durch Regierungen, politische Non-Profit-Organisationen und Medien gezwungen, Verantwortung für die sozialen und gesellschaftlichen Auswirkungen ihrer Tätigkeiten zu übernehmen. So fordern die Vereinten Nationen im Ziel 12 ihrer 17 Ziele in der Agenda für nachhaltige Entwicklung bis 2030 unter anderem eine effizientere Nutzung der natürlichen Ressourcen in der Produktion und eine deutliche Reduzierung des Abfalls durch z.B. Wiederverwendung [176].

Porter und Kramer (2006)[140] erläutern, wie aus dieser Verantwortung Chancen, Innova-

tionen und ein Wettbewerbsvorteil für produzierende Unternehmen folgen können. Diese Veränderungen stellen neue Herausforderungen für produzierende Unternehmen dar. Denn die Fertigung individualisierter Produkte steht im Konflikt mit dem (klassischen) Kostenminimierungsziel der Massenproduktion. Eine flexible Massenproduktion, die sog. „mass customization“ [28], soll die Lösung für das Dilemma zwischen Massenproduktion von standardisierten Produkten zu niedrigen Kosten und der Fertigung von unterschiedlichen oder sogar kundenspezifischen Produkten zu hohen Kosten sein [137].

Für eine flexible Massenproduktion müssen die Produkte modular gestaltet sein, d.h. die Funktionsfähigkeit des Produkts kann in einzelne Funktionen unterteilt werden, die von Bauteilen bzw. Komponenten zur Verfügung gestellt werden [109]. Durch die Nutzung dieser Komponenten zur Herstellung unterschiedlicher Produktvarianten wird verhindert, dass die Produktionskosten bei mehreren unterschiedlichen Produktvarianten zu stark ansteigen.

Dieses Produkt-Design ermöglicht auch den Austausch von Komponenten, ohne die Funktionalität der anderen Komponenten zu beeinträchtigen. Dadurch ist eine Wiederverwertung von Produktrückgaben bzw. deren Komponenten nach der Wiederaufbereitung oder sogar eine Modernisierung von gebrauchten Produkten und die Re-Integration dieser Güter in den vorwärtsgerichteten Güterfluss zu Kunden möglich. Durch diese Form der Wiederverwertung kann ein großer Anteil der Energie und des Inputs der (Neu-)Fertigung wiedergewonnen werden; die ökonomischen und ökologischen Vorteile einer solchen Wiederaufbereitung für einen Kühlschrankhersteller wurden in [108] gezeigt.

D.h. modulares Produkt-Design und die gemeinsame Nutzung von Komponenten in unterschiedlichen Produktvarianten ermöglicht Massenherstellern, erfolgreich unterschiedliche Produktvarianten anzubieten und bietet ebenso die Möglichkeit für erfolgreiche Wiederaufbereitungsprogramme. Allerdings stellt das Streben nach Produkt-Vielfalt und ressourcenschonender Produktion bei Massenherstellung das Management der gesamten Wertschöpfungskette, das „Supply Chain Management“ (SCM) des produzierenden Unternehmens, vor neue Herausforderungen.

In dieser Arbeit wird die SC eines produzierenden Unternehmens untersucht, die durch ein Netzwerk von kapazitierten Standorten abgebildet werden kann, in denen Produkte

neu aus Komponenten montiert und zu Kunden transportiert werden und Produkte von Kunden zurückgegeben und vom Produzenten eingesammelt werden. Das produzierende Unternehmen kann den Produktionsinput auswählen: Entweder werden Komponenten zur Produkterstellung neu von Zulieferern beschafft, oder Komponenten aus Produktrückgaben werden wiederaufbereitet. Diese Auswahl kann auch als „Dual Sourcing“ bezeichnet werden.

Diese SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Güterflüssen bei modularem Produkt-Design und Refabrikation auf Komponentenebene kann z.B. beim Kopiergerätehersteller Océ [109] und Xerox [102] beobachtet werden. In dieser Arbeit werden quantitative Methoden zur Planung entsprechender SC entwickelt. Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über die Arbeit präsentiert.

1.2 Überblick über die Arbeit

Die unterschiedlichen Beweggründe für Unternehmen, gebrauchte Produkte zurückzunehmen und zu verwerten, werden in Abschnitt 1.3 diskutiert. Diese Motive beeinflussen, welche Akteure in der SC beteiligt sind, und auch die Form der Verwertung von gebrauchten Produkten. In Abschnitt 2.1 werden SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen allgemein beschrieben und die unterschiedlichen Verwertungsformen von gebrauchten Produkten präsentiert. Je nach Beweggrund, beteiligten Akteuren und Wiederverwendungsform lassen sich unterschiedliche Netzwerktypen von SC mit rückwärtsgerichteten Güterflüssen unterscheiden, wie in Abschnitt 2.1.1 gezeigt wird.

Durch die Rücknahme und Wiederaufbereitung von gebrauchten Produkten entstehen neue Planungsanforderungen an das SCM; in Abschnitt 2.1.2 werden diese Anforderungen erläutert. Diese Anforderungen sind abhängig vom Netzwerktyp und die Planungen können je nach Planungshorizont unterschiedlichen Ebenen zugeordnet werden.

Quantitative Ansätze aus der Literatur zur Unterstützung der Planung von SC mit rückwärtsgerichteten Güterflüssen werden in Abschnitt 2.1.3 vorgestellt und die in dieser Arbeit entwickelten mathematischen Modelle zur Entscheidungsunterstützung werden davon

abgegrenzt. In Abbildung 1.1 sind die mathematischen Modelle dargestellt, die in dieser Arbeit genutzt und neu entwickelt werden.

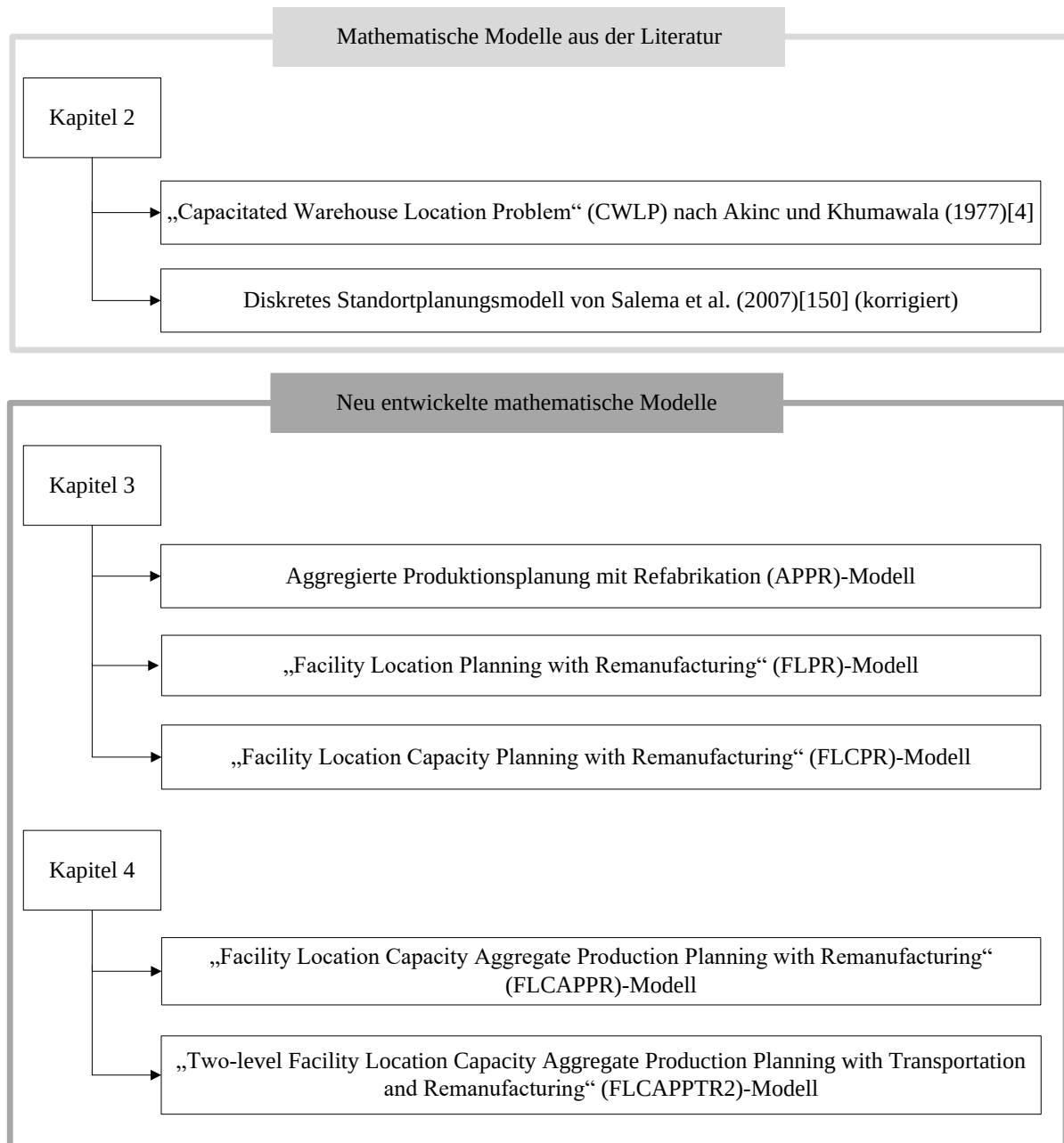


Abbildung 1.1: Überblick über die mathematischen Modelle, die in dieser Arbeit vorgestellt oder neu entwickelt werden (Eigene Darstellung)

Das Entscheidungsproblem dieser Arbeit, die Planung einer „Closed-Loop Supply Chain“ (CLSC) bei beschränkten Kapazitäten, wird in Kapitel 2.2 präsentiert. Die mathema-

tischen Modelle, die in dieser Arbeit zur Unterstützung dieses Entscheidungsproblems entwickelt werden, basieren auf dem diskreten Standortplanungsmodell, das in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt wird.

Das diskrete Standortplanungsmodell stellt eine Erweiterung des Transportmodells dar: Zusätzlich zur Entscheidung über die Zuordnung von Angebotsmengen zu Kundenstandorten zur Befriedigung der vorgegebenen Nachfrage werden im Standortplanungsmodell Entscheidungen über die Eröffnungen von Standorten, von denen die Angebotsmengen zu Kunden fließen können, geplant. Das Ziel der Planung ist die Minimierung der Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage; diese Kosten sind im diskreten Standortplanungsmodell Kosten verbunden mit Standort-Eröffnung und -Betrieb und Transportkosten.

In Abschnitt 2.2.1 wird das „Capacitated Warehouse Location Problem“ (CWLP), ein einperiodiges diskretes Standortplanungsmodell präsentiert; in Abschnitt 2.2.2 wird das CWLP bzw. das diskrete Standortplanungsmodell kritisch betrachtet. In Abschnitt 2.2.3 wird kritisiert, dass das CWLP bzw. diskrete Standortplanungsmodell zur SC-Planung genutzt wird.

Im CWLP werden nur die Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage in die Planung miteinbezogen und die Erlöse durch die Befriedigung von Nachfrage werden vernachlässigt. So führt eine Planung zu einem kosten-optimalen Netzwerk, aber, ob dieses Netzwerk überhaupt lohnenswert für den Entscheider ist, wird nicht bestimmt. Außerdem werden im CWLP nur vorwärtsgerichtete Produktflüsse berücksichtigt, aber in dieser Arbeit wird ein CLSC anstatt SC untersucht. Ausgewählte diskrete Standortplanungsmodelle für SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen aus der Literatur werden in Abschnitt 2.3.1 vorgestellt.

Danach wird in Abschnitt 2.3.2 das einperiodige diskrete Standortplanungsmodell von Salema et al. (2007)[150] zur Planung von kapazitierten Standorten und Transportmengen in einer SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (in korrigierter Form) präsentiert. Im Gegensatz zum CWLP werden in diesem Modell Erlöse aus der Befriedigung der Nachfrage durch Strafkosten in die Planung mit einbezogen und das Modell bestimmt, ob es lohnenswert bzw. ökonomisch sinnvoll ist, Nachfrage zu befriedigen. In

Abschnitt 2.3.3 wird dieser Ansatz und die Wirkung von Strafkosten erläutert.

Anschließend wird das Modell von Salema et al. (2007)[150] zur Planung der CLSC eines Kopiergeräteherstellers, eines Beispiels aus der Literatur, genutzt. In Abschnitt 2.3.4 werden die Erkenntnisse aus der Lösung und den Sensitivitätsanalysen des Modells von Salema et al. (2007)[150] zusammengefasst und die notwendigen Erweiterungen des diskreten Standortplanungsmodells, um das Entscheidungsproblem dieser Arbeit zu erfassen, werden herausgearbeitet.

Es zeigt sich, dass dieser Ansatz, sowie alle bekannten Ansätze aus der Literatur, wichtige Aspekte bei der Planung mit dem diskreten Standortplanungsmodell und, insbesondere, bei der SC-Planung mit dem diskreten Standortplanungsmodell vernachlässigen. Das diskrete Standortplanungsmodell plant Standorteröffnungen und Transportmengen kostenminimierend; nur Kosten verbunden mit Standorten und Transportkosten werden dabei berücksichtigt. Für die Planung sind Standort-Kapazitäten vorgegeben und die Kosten verbunden mit Standorten sind unabhängig von der Standort-Kapazität.

So wird der Zusammenhang zwischen Transportmengen und Kapazitäten nicht erfasst und Überkapazitäten können resultieren sowie zu niedrige vorgegebene Kapazitäten können die Entscheidungen beeinflussen. Zudem wird in der Planung die Möglichkeit unterschiedlich große Standorte zu den entsprechenden Kosten zu eröffnen vernachlässigt. Weiterhin ist das diskrete Standortplanungsmodell als quantitativer Ansatz zur Planung der SC eines produzierenden Unternehmens ungeeignet.

Denn es werden die Beschaffung und Herstellung, das Produkt-Design, zeitliche Effekte durch einen Produktlebenszyklus (PLZ), begrenzt verfügbare Maschinen-Kapazität oder qualifizierte Arbeitskräfte und die unterschiedliche zeitliche Dimension von Transporten und Standorteröffnungen bei der Planung vernachlässigt. Zudem wird in dieser Arbeit ein CLSC mit Refabrikation untersucht, dessen besondere Planungsanforderungen, die in Abschnitt 2.1.1 und 2.1.2 erläutert werden, durch das diskrete Standortplanungsmodell bzw. das Modell von Salema et al. (2007)[150], wie weitere Ansätze in der Literatur, nicht berücksichtigt werden.

Das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit ist das Entscheidungsproblem eines Herstellers von Kopiergeräten, der zur gesetzlichen Rücknahme seiner zurückgegebenen Produkte

verpflichtet ist und diese Produkte zur Refabrikation geeignet sind, sodass wiederaufbereitete neuwertige Komponenten daraus gewonnen werden können. Diese können zusätzlich zu neu beschafften Komponenten genutzt werden („Dual Sourcing“). Eine weitere Besonderheit ist, dass die Fertigung der Kopiergeräte auftragsbezogen ist.

In dieser Arbeit wird in Kapitel 3 und 4 sukzessive ein Planungsansatz entwickelt, der diese Aspekte bei der Planung miteinbezieht und bei der Lösung des Entscheidungsproblems dieser Arbeit angemessen unterstützen kann.

In Kapitel 3 wird das diskrete Standortplanungsmodell zunächst um Produktionsplanung mit Refabrikation erweitert. Bisherige Ansätze zur kombinierten Planung von Produktion, Standorten und Transporten sind zur Planung der in dieser Arbeit untersuchten CLSC ungeeignet, wie in Abschnitt 3.1.1 erläutert wird. Also muss ein neuer kombinierter Ansatz entwickelt werden.

Dafür wird in Abschnitt 3.1.2 zunächst die aggregierte Produktionsplanung zur taktischen SC-Planung definiert und von der operativen SC-Planung abgegrenzt. Dann werden quantitative Methoden zur taktischen Produktionsplanung präsentiert. Im Anschluss daran werden deterministische Modelle zur Produktionsplanung in SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Güterflüssen diskutiert. Diese Modelle bilden nicht die Produktion mit Refabrikation an, die in dieser Arbeit untersucht wird. Daher wird ein eigenes Modell zur Produktionsplanung mit Refabrikation entwickelt, das mit einem diskreten Standortplanungsmodell kombiniert werden kann.

Zunächst wird die Produktion und Refabrikation vom Anwendungsbeispiel dieser Arbeit, also eines Kopiergeräteherstellers vorgestellt, die dann (vereinfacht) durch das mathematische Modell zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation, das APPR-Modell, abgebildet wird. In Abschnitt 3.1.3 wird, basierend auf diesem Modell, die Produktionsplanung in das diskrete Standortplanungsmodell einer SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Güterflüssen und gesetzlicher Verpflichtung zur Produktrücknahme, modular gestalteten Produkten und Refabrikation auf Komponentenebene integriert; daraus resultiert das „Facility Location Planning with Remanufacturing“ (FLPR)-Modell. Dieses Modell wird ebenfalls zur Planung der SC des Kopiergeräteherstellers genutzt.

Das FLPR-Modell plant zusätzlich zu kapazitierten Standorten und Transportmengen,

wie im diskreten Standortplanungsmodell, auch Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen im CLSC über eine Planungsperiode optimal. Die Sensitivitätsanalysen des FLPR-Modells zeigen, wie dadurch die Entscheidungen bzgl. der CLSC beeinflusst werden.

Allerdings werden im FLPR-Modell die speziellen Probleme von Refabrikation in einer CLSC, die in Abschnitt 2.1.2 hergeleitet werden, nicht beachtet. Überkapazitäten in Standorten und zeitliche Effekte, wie z.B. eine zeitliche Verzögerung zwischen dem Produkt-Kauf und der Produktrückgabe von Kunden durch Nutzung der Produkte, aber auch die Dauer, die ein Produkt nachgefragt wird, können auf den Erfolg von Refabrikation einwirken.

Für eine sinnvolle Planung mit dem einperiodigen Standortplanungsmodell müssen die vorgegebenen Kosten verbunden mit Standorten und die Transportkosten einen gemeinsamen Periodenbezug haben, sonst werden die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage nicht korrekt erfasst. Bei schlechter Bestimmung der Kostenparameter kann eine solche Planung zu ökonomisch nicht sinnvollen Handlungsempfehlungen führen. In Abschnitt 2.3.2 wird dieses Problem anhand eines Beispiels aus der Literatur weiter diskutiert.

Mit einer mehrperiodigen Betrachtung des Planungsproblems wird erfasst, dass Standortöffnungen einmalig zu fixen Kosten, wie Standorterrichtungskosten, führen, aber zur Befriedigung von Nachfrage über die gesamte Produktlebensdauer genutzt werden können. Die Transportkosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage sind im Gegensatz zu den fixen Kosten verbunden mit Standorten mengenabhängig, unabhängig von der Anzahl der Transporte und fallen wiederholt in jeder Periode an.

Daher wird das FLPR-Modell im Abschnitt 3.2 um einen mehrperiodigen Planungsansatz, Kapazitätsplanung und Lagerhaltung zum „Facility Location Capacity Planning with Remanufacturing“ (FLCPR)-Modell erweitert. In Abschnitt 3.2.1 wird zunächst die Lagerhaltung im diskreten Standortplanungsmodell als Entscheidungsalternative zum Transport diskutiert.

In der untersuchten SC können zurückgegebene Produkte und Komponenten gelagert werden. Da die Fertigung auftragsbezogen ist, gibt es keine Lagerung von (End-)Produkten. Kundenanpassung bzw. „customization“ bedeutet, dass ein Produkt oder Dienstleistung

als Reaktion auf einen Kundenwunsch bzw. -bedürfnis hergestellt bzw. angeboten wird [138].

Das FLCPR-Modell, das in Abschnitt 3.2.2 vorgestellt wird, plant Standorte, Kapazitäten, Beschaffungs-, Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen in einer CLSC optimal. Die Lösungen des FLCPR-Modells für das Kopiergerätehersteller-Beispiel aus der Literatur liefern neue Erkenntnisse über die Einflussfaktoren auf den Erfolg von CLSC. Durch den mehrperiodigen Planungshorizont des FLCPR-Modells können nun zeitliche Einflüsse auf die CLSC-Planung, wie ein PLZ oder Nutzungsdauern von Produkten durch Kunden, erfasst werden.

Außerdem verbessert die Kapazitätsplanung des FLCPR-Modells die Standortplanung im SC, da nun die Kosten verbunden mit Standorten abhängig von deren Größe bzw. Kapazität sind und diese Kapazitäten über den Planungshorizont verändert werden können. Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen Lager- und Transportmengen und Standortkapazität erfasst und damit eine differenzierte Abbildung des Entscheidungsproblem erreicht. Zudem kann gezeigt werden, dass Umverteilung, also der Transport zwischen Standorten der gleichen Netzwerkebene unter bestimmten Bedingungen optimal ist.

Allerdings vernachlässigt der Planungsansatz des FLCPR-Modells die taktische Kapazität, die die Bearbeitungsmengen in Standorten eines produzierenden Unternehmens begrenzt. Das FLCPR-Modell basiert auf dem diskreten Standortplanungsmodell, das wiederum eine Weiterentwicklung des Transportmodells ist. Daher werden im diskreten Standortplanungsmodell und im FLCPR-Modell nur für die Transportplanung relevante Kapazitäten berücksichtigt.

In Abschnitt 4.1 wird das FLCPR-Modell um taktische Kapazität erweitert. Da Refabrikation arbeits- anstatt kapitalintensiv ist, wie für den Kopiergerätehersteller Xerox in [102] beschrieben, wird die taktische Kapazitätsplanung als Personalbestandsplanung erfasst und das FLCPR-Modell zum „Facility Location Capacity and Aggregate Production Planning with Remanufacturing“ (FLCAPPR)-Modell weiter entwickelt.

Dieses Modell bestimmt zusätzlich zu Standorten, (Volumen-)Kapazitäten, Transport-, Beschaffungs-, Lager- und Bearbeitungsmengen nun auch Personalbestände in Standorten unter Berücksichtigung von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und verfügbarem Personal

optimal. Die Lösungen des FLCAPPR-Modells für das Kopiergerätehersteller-Beispiel zeigen den Einfluss der Personalbestandsplanung auf die CLSC und die Zusammenhänge mit der Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung.

Im FLCAPPR-Modell werden die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung gemeinsam über einen langfristigen Planungshorizont durchgeführt, der mehrere Jahre umfasst. Nur so können die Wechselwirkungen zwischen den Planungen erfasst werden. Diese Planungen haben im SCM jedoch unterschiedliche Entscheidungszeitpunkte; sie werden zu lang- oder mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten geplant, wie in Abschnitt 2.1.2 bzw. 2.1.3 vorgestellt wird.

Zudem wird in dieser Arbeit eine CLSC mit auftragsbezogener Fertigung untersucht, also wird das fertige nachgefragte Produkt ohne Lagerung zum Kunden transportiert. Im FLCAPPR-Modell werden Transportmengen zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten optimal bestimmt; also wird dieser Aspekt bei der Planung vernachlässigt. Daher wird in Abschnitt 4.2 untersucht, ob die Berücksichtigung einer weiteren mittelfristigen Planungsebene, die der strategischen Ebene untergeordnet ist, den Planungsansatz verbessert.

Zunächst wird in Abschnitt 4.2.1 eine sinnvolle Einteilung der Planungen in die beiden Ebenen diskutiert. Daraufhin wird in Abschnitt 4.2.2 das „Two-level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“ (FLCAPPTR2)-Modell entwickelt; es führt die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung der CLSC kombiniert mit ihren jeweiligen Entscheidungszeitpunkten nach dem SCM durch.

Die Lösungen des FLCAPPTR2-Modells für das Kopiergerätehersteller-Beispiel belegen, dass dieser Ansatz die SC-Planung gegenüber bisherigen Ansätzen weiter verbessert. Nur eine so differenzierte Betrachtung und Abbildung des Entscheidungsproblems führt zu einem quantitativen Planungsansatz, der zu ökonomisch sinnvollen Handlungsempfehlungen für den Entscheider führt.

1.3 Motivation für produzierende Unternehmen zur Rücknahme und Verwertung ihrer gebrauchten Produkte

In den letzten Jahrzehnten sind viele rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen worden, die produzierenden Unternehmen Anreize oder Vorgaben für die Rücknahme und Verwertung ihrer nicht mehr funktionsfähigen oder veralteten Produkte bzw. für die Reduzierung des durch ihre Produkte bedingten Abfalls geben. Schon 1994 wurde in Deutschland durch § 22 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes [61] Produktverantwortung für produzierende Unternehmen erstmals definiert und Hersteller bestimmter Produkte zur Rücknahme und Verwertung ihrer Produkte verpflichtet. Seitdem sind einige gesetzliche Vorschriften, auch durch die Europäische Union (EU), z.B. 1998 für Batterien [39], hinzugekommen. Seit 2003 sind weiterhin Reifenhersteller in der EU gesetzlich gezwungen, für jeden neu verkauften Reifen einen gebrauchten zu recyceln [75].

Durch weitere Richtlinien der EU, wie die „End of Life Vehicle“ (ELV)- und „Waste of Electric and Electronic Equipment“ (WEEE)-Richtlinien von 2000 [40] bzw. 2003 [41] [42], werden produzierende Unternehmen der Automobil- und Elektronikindustrie verpflichtet, sich mit Produktverwertung bzw. der Reduzierung ihrer Produktabfälle auseinanderzusetzen [131]. Besonders für Produkte wie z.B. Mobiltelefone oder Computer, die durch technischen Fortschritt nur eine kurze Lebensdauer im Markt haben, bevor sie veraltet sind und neue Produkt-Versionen nachgefragt werden, ist die Produkt-Verwertung ein wichtiges Thema; die Menge an Elektroschrott und die der darin enthaltenen wertvollen Nichteisenmetalle, wie Kupfer und Aluminium, ist stark angestiegen [189].

Gomez et al. (2007)[63] stellen 2007 fest, dass sich die Menge an Altkupfer über die letzten 40 Jahre verdreifacht hat. Dagegen hat sich die Menge an recyceltem Kupfer nur verdoppelt, obwohl die Nachfrage nach Kupfer bzw. Gütern mit Kupfer immer weiter ansteigt. In Smartphones und Computer Chips wird Kupfer genutzt, um längere Akku-Laufzeiten und schnellere Übertragung zu ermöglichen.

In Europa sind vornehmlich die oben genannten rechtlichen Vorgaben der Anlass für

produzierende Unternehmen, Produkte wieder zu verwerten, während sich in den USA eine Wiederaufbereitungsindustrie ohne weitere Regulierungen aus ökonomischen Gründen entwickelt hat [74]. Schon während des zweiten Weltkriegs hat sich in den USA im Bereich von militärischen Produkten eine profitable Wiederaufbereitungsindustrie herausgebildet [131].

Aber auch in Europa können ökonomische Vorteile durch Rücknahme- und Wiederverwertungsprogramme erzielt werden. Kodak hat erfolgreich ein Rücknahme- und Verwertungssystem für seine Einwegkameras umgesetzt, ebenso verkauft Bosch seine wiederaufbereiteten elektrischen Handwerkzeuge erfolgreich [75]. Ein rentables System zum Batterienrecycling wird in Schultmann et al. (2003)[156] beschrieben.

Wiederverwertung kann auch durch die gemeinschaftliche Verwendung von Bauteilen und Rohstoffen in der Herstellung von unterschiedlichen Produktvarianten rentabel werden. Europäische Autohersteller, wie z.B. VW und BMW, haben den Anteil an unterschiedlichen Kunststoffvarianten in Automobilen von über 30 auf 10 verringert und streben eine weitere Verdichtung an [15]. Dadurch wird die Menge an einzelnen ausgewählten Kunststoffvarianten erhöht und positive Skaleneffekte erreicht, um die Kosten des Recyclings zu senken.

Die Bestrebungen zur Produkt-Rücknahme und Verwertung können auch als Marketing-Instrument genutzt werden. Das gewachsene Umweltbewusstsein der Kunden verlangt von produzierenden Unternehmen, den Abfall durch entsorgte Produkte zu reduzieren und bringt Unternehmen dazu, nach ökonomisch sinnvollen Möglichkeiten der Rücknahme und Verwertung ihrer gebrauchten Produkte zu suchen [164] [177].

So arbeiten z.B. Samsung und Apple an Wiederverwertungsprogrammen. Samsung gab 2017 bekannt, Komponenten aus dem wegen technischer Probleme vom Markt genommenen Galaxy Note 7, wie z.B. das OLED Display und Kamera-Module, aber auch Speicher-Chips wiederaufzubereiten und erwartet so 157 Tonnen von seltenen Metallen wiederzugewinnen [171]. Weiterhin sollen reparierte bzw. modernisierte Versionen des Smartphones verkauft werden.

Daraufhin hat Apple das Ziel ausgegeben, nur erneuerbare Materialien in seinen Produkten zu verwenden, die z.B. durch das hauseigene Recyclingprogramm von gebrauchten

Apple-Geräten gewonnen werden [172]. Die Berichte über Menschenrechtsverletzungen, wie Kinderarbeit und allgemein schlechte Arbeitsbedingungen eines Apple-Zulieferers bei der Gewinnung von Cobalt im Kongo [57] haben Apple dazu bewegt, bei Beschaffungsentscheidungen auch soziale Aspekte zu berücksichtigen.

Allerdings bleibt das Problem der kurzen Lebensdauer von elektronischen Produkten – iPhones und Apple-Uhren haben nach Herstellerangaben nur eine Lebensdauer von 3 Jahren [172]. Daher fordert Greenpeace von Apple, Produkte mit längeren Lebensdauern herzustellen [172], d.h. Produkte, die ohne Verluste repariert oder sogar wiederaufbereitet werden können, sodass sie oder ihre Bauteile danach weiter verwendet werden können.

Zusammenfassend können drei unterschiedliche Gründe, aus denen sich ein produzierendes Unternehmen mit seinen gebrauchten Produkten und deren Weiter- oder Wiederverwendung auseinandersetzt, unterschieden werden. Entweder,

- weil es gesetzlich dazu verpflichtet ist und/oder,
- da es ökonomisch vorteilhaft ist, also das Unternehmen von Produktrückgaben profitiert und/oder,
- weil es sich aus sozialen und ethischen Aspekten verantwortlich fühlt („Corporate Citizenship“) [35].

Die Motivation des produzierenden Unternehmens hat einen Einfluss darauf, ob und wie Produkte zurückgenommen und wiederverwertet werden. Dadurch werden die Akteure, die an der Produkt-Rücknahme und -Verwertung beteiligt sind, und die Prozesse des rückwärtsgerichteten Produktflusses bestimmt. Im nächsten Kapitel werden unterschiedliche Verbunde von Akteuren zur Produktwiederaufbereitung und die unterschiedlichen Prozesse der Wiederaufbereitung vorgestellt.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 2.1 verschiedene SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen, die unterschiedlichen Rückgabeformen und Prozesse der Wiederaufbereitung bzw. Verwertung von gebrauchten Produkten präsentiert. Im Folgenden, in Abschnitt 2.1.1, werden die SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen in unterschiedliche Netzwerktypen eingeteilt.

Danach werden in Abschnitt 2.1.2 die Planungsanforderungen von SC allgemein und die Besonderheiten von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen erläutert. Die Planungen können je nach Planungshorizont in unterschiedliche Ebenen unterteilt werden und die Anforderungen sind abhängig vom Netzwerktyp. Quantitative Ansätze aus der Literatur zur Unterstützung dieser Planungen, sowie die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze, werden in Abschnitt 2.1.3 vorgestellt.

Zur Planung des Netzwerks einer SC kann die Methode der Standortplanung genutzt werden; sie wird in Abschnitt 2.2 eingeführt. In Abschnitt 2.2.1 wird das „Capacitated Warehouse Location Problem“ (CWLP) vorgestellt, das kapazitierte Standorte und Transporte in einem Netzwerk kosten-optimal plant. Es stellt die Grundlage für die weiteren Modelle in dieser Arbeit dar. Das diskrete Standortplanungsmodell wird in Abschnitt 2.2.2 grundsätzlich und in Abschnitt 2.2.3 als quantitative Methode zur SC-Planung kritisiert.

In dieser Arbeit wird eine SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Güterflüssen (CLSC) untersucht; ausgewählte Literatur zu diskreten Standortplanungsmodellen für CLSC werden in Abschnitt 2.3.1 vorgestellt. Anschließend wird in Abschnitt 2.3.2 das Modell von Salema et al. (2007)[150] zur optimalen Planung der Standorte und Transportmengen in einer SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (korrigiert) präsentiert.

Dieses Modell stellt eine Erweiterung der diskreten Standortplanung des CWLP dar, da es neben den Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der Produkte auch die Erlöse durch die Befriedigung von Nachfrage durch Strafkosten in die Planung miteinbezieht. In Abschnitt 2.3.3 wird diese Erweiterung erklärt und danach wird das Modell von Salema et al. (2007)[150] genutzt, um die SC eines Kopiergeräteherstellers, ein Beispiel aus der Literatur, optimal zu planen.

In Abschnitt 2.3.4 werden die Erkenntnisse aus der Lösung und den Sensitivitätsanalysen des Modells von Salema et al. (2007)[150] zusammengefasst und der Bedarf an Erweiterungen des diskreten Standortplanungsmodells zur Abbildung des Entscheidungsproblems dieser Arbeit wird erläutert.

2.1 Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen

Eine SC kann definiert werden als ein Netzwerk aus Standorten, in dem unterschiedliche Geschäftseinheiten, wie Zulieferer, Hersteller, Vertreiber oder Einzelhändler zusammenarbeiten, um Rohmaterial zu beschaffen und dieses Material in Zwischen- oder Endprodukte zu transformieren. Diese Produkte werden dann über Einzelhändler oder direkt zu Kunden transportiert. Eine SC ist traditionell durch einen vorwärtsgerichteten Fluss an Material bzw. Produkten und einen rückwärtsgerichteten Fluss an Informationen definiert [13].

Eine aktuellere Definition von Verbindungstypen im SC-Netzwerk findet sich in Hearnshaw und Wilson (2013)[85]. Hearnshaw und Wilson (2013)[85] unterscheiden zwischen Verbindungstypen, die aus Materialien, Informationen, Finanzen und Verträgen bestehen. Verbindungstypen aus Materialien, Informationen und Verträge sind vor- und rückwärts gerichtet.

Durch die Rücknahme und Kreislaufführung von Produkten oder ihrer Bestandteile fließen Materialien in einer SC vor- und rückwärts. Heutzutage tauschen Kunden mit dem Hersteller Informationen aus, z.B. über Kundenwünsche bzgl. des Produkts, wie in Abschnitt 1.1 für SC mit flexibler Massenproduktion beschrieben. Verträge werden zwischen

Akteuren auf unterschiedlichen Ebenen in der SC geschlossen. Nur Finanzflüsse im SC-Netzwerk haben eine Richtung; sie fließen von Kunden rückwärts durch das Netzwerk. In dieser Arbeit werden Güter- und keine Flüsse aus Informationen, Finanzen und Verträgen betrachtet; eine traditionelle SC mit Güterflüssen wird durch Abbildung 2.1 erfasst. In Abbildung 2.2 ist eine SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Güterflüssen dargestellt.

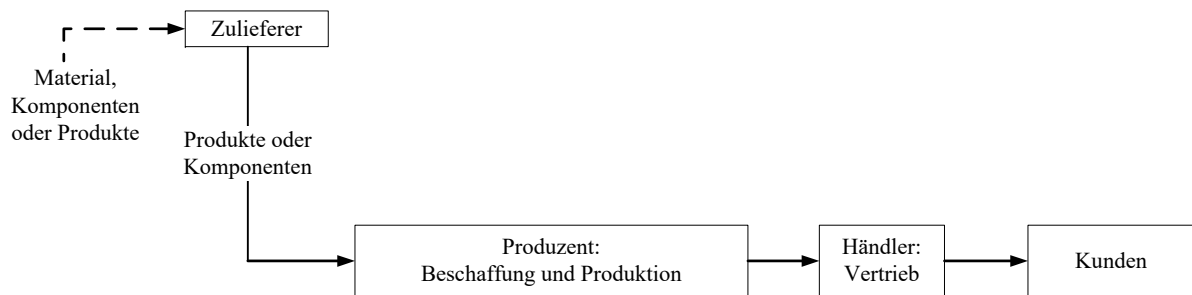


Abbildung 2.1: Traditionelle SC mit Güterflüssen (Eigene Darstellung)

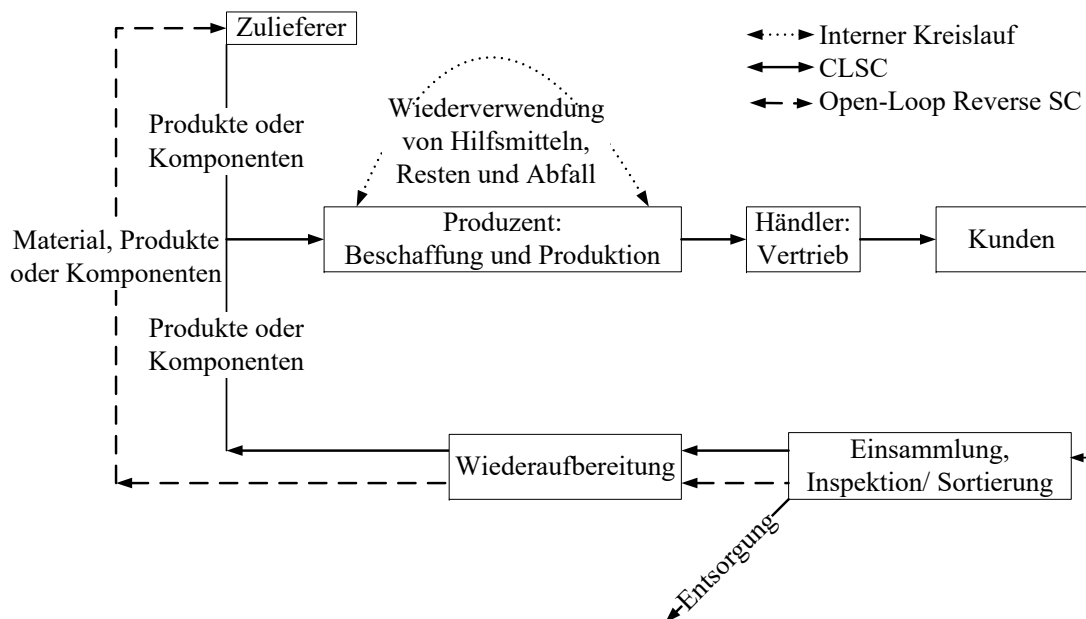


Abbildung 2.2: SC mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung)

Die Tätigkeiten entlang rückwärtsgerichteter Güterflüsse, wie Einsammlung, Inspektion/Sortierung, Wiederaufbereitung und Entsorgung, bilden die rückwärtsgerichtete SC, die „Reverse SC“ (RSC) [51]. Das Unternehmen, das die SC schließt, also die Tätigkeiten

des rückwärtsgerichteten Güterflusses ausführt, kann der Originalteilehersteller, „Original Equipment Manufacturer“ (OEM), ein Vertriebspartner oder eine dritte Partei sein, die nicht am vorwärtsgerichteten Produktfluss beteiligt ist.

Wenn der OEM oder ein lizenzierter Vertragspartner das gebrauchte Produkt zurücknimmt und wiederaufbereitet, sodass es oder seine Bestandteile wieder in den vorwärtsgerichteten Produktfluss integriert werden kann, spricht man von einem bzw. einer geschlossenen Wertschöpfungskreislauf bzw. -kette, also einer CLSC [75] [78]. In Abbildung 2.2 ist die CLSC durch durchgezogene Pfeile dargestellt.

Wenn eine dritte Partei unabhängig vom vorwärtsgerichteten Produktfluss zurückgegebene Produkte bzw. deren Komponenten oder Materialien wieder in den vorwärtsgerichteten Produktfluss integriert, spricht man vom „Open-Loop Reverse SC“ [65]; diese Rückführung wird in Abbildung 2.2 mit gestrichelten Pfeilen präsentiert.

Der rückwärtsgerichtete Fluss startet mit der Einsammlung von Produktrückgaben. Man unterscheidet zum einen Produktrückgaben, die Wochen oder Monate nach dem Kauf entstehen, da Ware falsch ausgeliefert wurde oder Kunden den Kauf bereuen („commercial returns“). Diese Rücknahme wird meistens freiwillig als Kundenservice angeboten.

Nach mehreren Monaten, Jahren oder sogar Jahrzehnten entstehen zum anderen Produktrückgaben durch Rückruf-Aktionen von OEM selbst, als Garantiefälle, zur Reparatur oder am Ende der Nutzung durch Kunden („end of use“). Das Nutzungsende tritt ein, wenn Produkte durch neue bessere Varianten oder allgemein durch Innovationen und technischen Fortschritt veraltet sind.

Produkte können auch nach einer vertraglich vereinbarten Nutzungsdauer („end of lease“) oder am Ende ihres Lebens („end of life“), d.h. wenn das Produkt nicht mehr funktionsfähig ist und es nicht mehr neu angeboten wird, zurückgegeben werden [77] [148].

Außerdem kann es Rückflüsse innerhalb einer Produktion geben, die in Abbildung 2.2 durch einen gepunkteten Pfeil abgebildet werden. Diese Rückflüsse sind z.B. Reste bzw. Abfall der Produktion, wie Sand in der Bauindustrie [10] oder Reste vom Teppichzuschnitt [118], defekte Teile oder Hilfsmittel der Produktion, wie z.B. Paletten, Lastwagen oder Container für internen Transport [112] [115].

Verwertungsformen gebrauchter Produkte

In Abhängigkeit vom Produkt an sich und vom Zustand des Produkts, also auch der Nutzungsdauer durch Kunden, wird die Form der Wiederaufbereitung bzw. Verwertung des Produkts gewählt und der rückwärtsgerichtete Produktfluss gestaltet [77]. Nach Thierry et al. (1995)[174], Jayaraman et al. (1999)[95] und Jayaraman (2006)[96] gibt es acht unterschiedliche Möglichkeiten, gebrauchte Produkte bzw. deren Bestandteile zu verwerten. Sie sind in der Abbildung 2.3 dargestellt und werden nun erläutert.

Wenn gebrauchte Produkte entsorgt werden, werden sie entweder deponiert (1) oder verbrannt (2). Durch das Deponieren wird weder das Produkt noch Bestandteile des Produkts wiederverwendet; durch die Verbrennung kann zu mindestens ein Anteil an der im Produkt enthaltenen Energie wiedergewonnen werden.

Gebrauchte Produkte, die in gutem Zustand zurückgegeben werden, also ohne Reparaturen wiederverwendet („reuse“) (3) werden können, können direkt wieder verkauft werden. Leichte Reparaturmaßnahmen, wie Reinigung oder kleinere Verbesserungen, werden hier vernachlässigt. Falls gebrauchte Produkte aber in nicht funktionsfähigem Zustand zurückgegeben werden, werden sie repariert (4), also instand gesetzt, sodass sie danach wieder je nach Produktzustand als neuwertig im Erst- oder als gebraucht im Zweitmarkt von den entsprechenden Kunden erworben werden können.

Die Wiederaufbereitungsformen (5)-(7) in Abbildung 2.3 verlangen eine Demontage des Produkts, d.h. es wird in seine Bestandteile teilweise oder komplett zerlegt. Durch eine Modernisierung („refurbishing“) (5) werden kaputte oder alte Bestandteile des Produkts instandgesetzt – sie werden gegen Bestandteile mit höherer Qualität oder mit einem neueren technischen Stand ausgetauscht; so werden die Produkte technisch aufgewertet.

Dagegen werden gebrauchte Produkte bei der Refabrikation („remanufacturing“) (6) vollständig in ihre Bauteile bzw. Komponenten zerlegt. Nach einer Prüfung, Reparatur oder sogar dem Austausch der Komponenten kann ein neuwertiges oder ein wiederaufbereitetes Produkt montiert werden. Während neuwertige Produkte wieder in die originäre SC integriert werden, werden wiederaufbereitete Produkte in einem Zweitmarkt, also gebraucht verkauft.

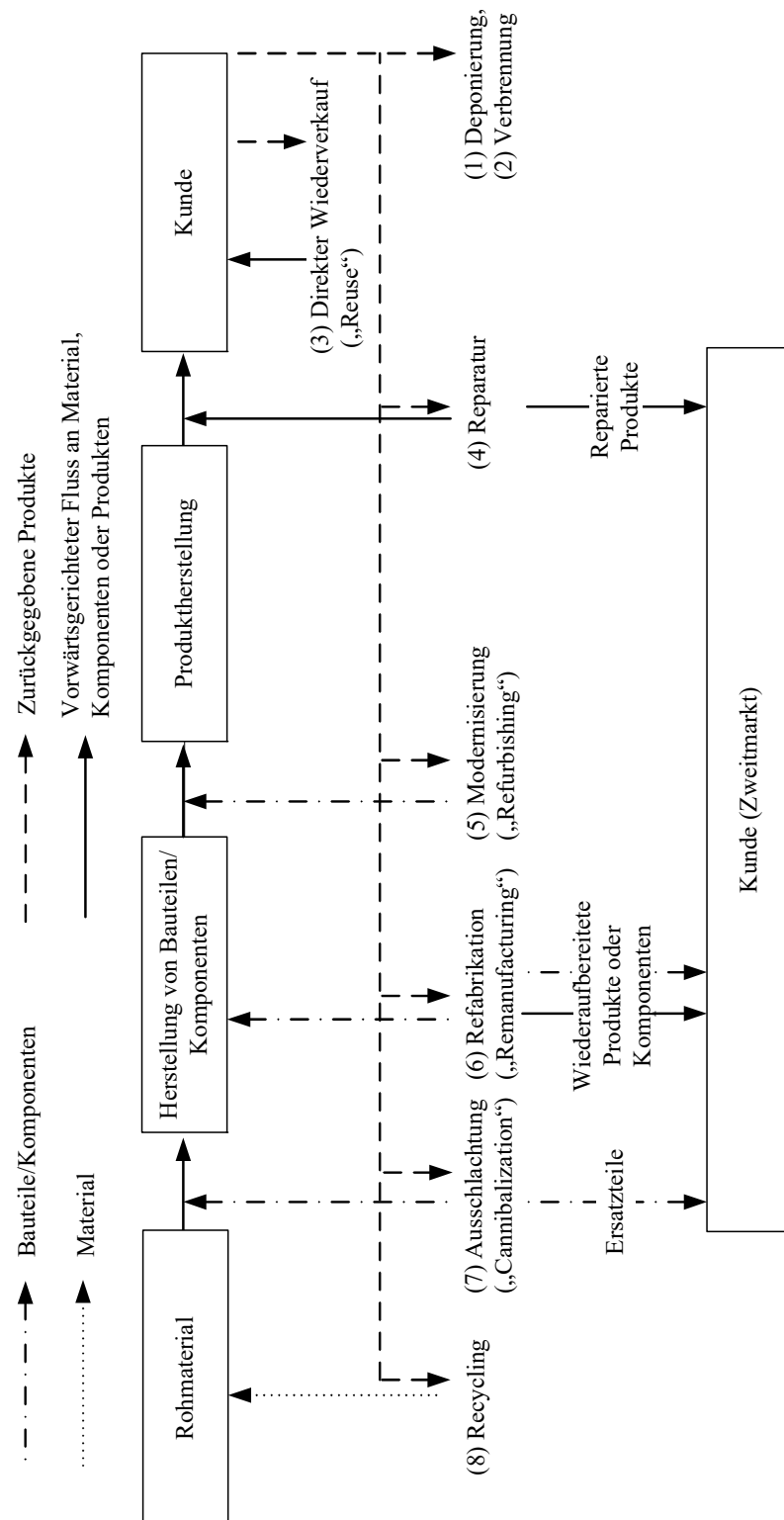


Abbildung 2.3: Verwertungsformen für gebrauchte Einheiten (Eigene Darstellung nach Jayaraman et al. (1999)[95])

In dieser Arbeit wird die Refabrikation als Wiederaufbereitungsform betrachtet: Es können die Komponenten von gebrauchten Produkten wiederaufbereitet und zur Herstellung von neuwertigen Produkten genutzt werden. In diesem Fall führt die Refabrikation zu einem Wertzuwachs, da ein gebrauchtes Produkt bzw. seine Komponenten durch eine Abfolge von Arbeitsprozessen wieder in einen Neu-Zustand transformiert werden.

Eine selektive Nutzung von gebrauchten Produkten, also wenn wiederverwertbare Bestandteile des Produkts ausgebaut werden, aber der Rest entsorgt wird, wird als Ausschachtung („cannibalization“) (7) bezeichnet. Diese Bestandteile können als Produktionsput wieder in den vorwärtsgerichteten Güterfluss integriert werden oder im Zweitmarkt als Ersatzteile verkauft werden. Beim Recycling (8) wird das Produkt komplett zerstört und bis auf seine Materialebene zerlegt; so können die Materialien des Produkts wiederverwendet werden.

Die Verwertungs- bzw. Wiederaufbereitungsform beeinflusst die SC, also die Prozesse und Beteiligten an der Kreislaufführung, und darüber auch die Anforderungen an die SC-Planung. Im Folgenden werden Netzwerke von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen und unterschiedlichen Wiederaufbereitungsformen vorgestellt und ihre Unterschiede diskutiert.

2.1.1 Netzwerktypen von Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen

In der traditionellen SC fließen Produkte vom Hersteller bis zu seinen Kunden, d.h. von einem einzelnen produzierenden Unternehmen werden mehrere Kunden bedient, was einem „one-to-many“-Netzwerk entspricht [51]. Im Gegensatz dazu sind RSC und CLSC „many-to-many“-Netzwerke: Produkte fließen vorwärts zu unterschiedlichen Kunden und rückwärts von vielen Kunden über unterschiedliche Standorte durchs Netzwerk [51]. In Abbildung 2.4 sind diese unterschiedlichen Netzwerkstrukturen dargestellt.

Fleischmann et al. (2000)[51] unterteilen Netzwerke mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen zunächst nur in Abhängigkeit von der Wiederverwendungsform in drei unterschiedliche Typen, nämlich in Netzwerke mit Recycling, Refabrikation und direkter Wiederverwen-

dung. Weitere Untersuchungen lassen Fleischmann (2003)[53] diese Kategorisierung weiter differenzieren und die fünf folgenden Netzwerktypen definieren:

- (a) Netzwerke mit (gesetzlich) vorgegebener Produkt-Rücknahme,
- (b) Netzwerke mit OEM, die ihre Produkte zurücknehmen und wertschöpfend wiederaufbereiten,
- (c) Netzwerke mit Produkt-Rücknahme und Refabrikation durch Dritte,
- (d) Netzwerke mit Recycling für die Materialwiederverwendung,
- (e) Netzwerke für wieder-befüllbare Behälter.

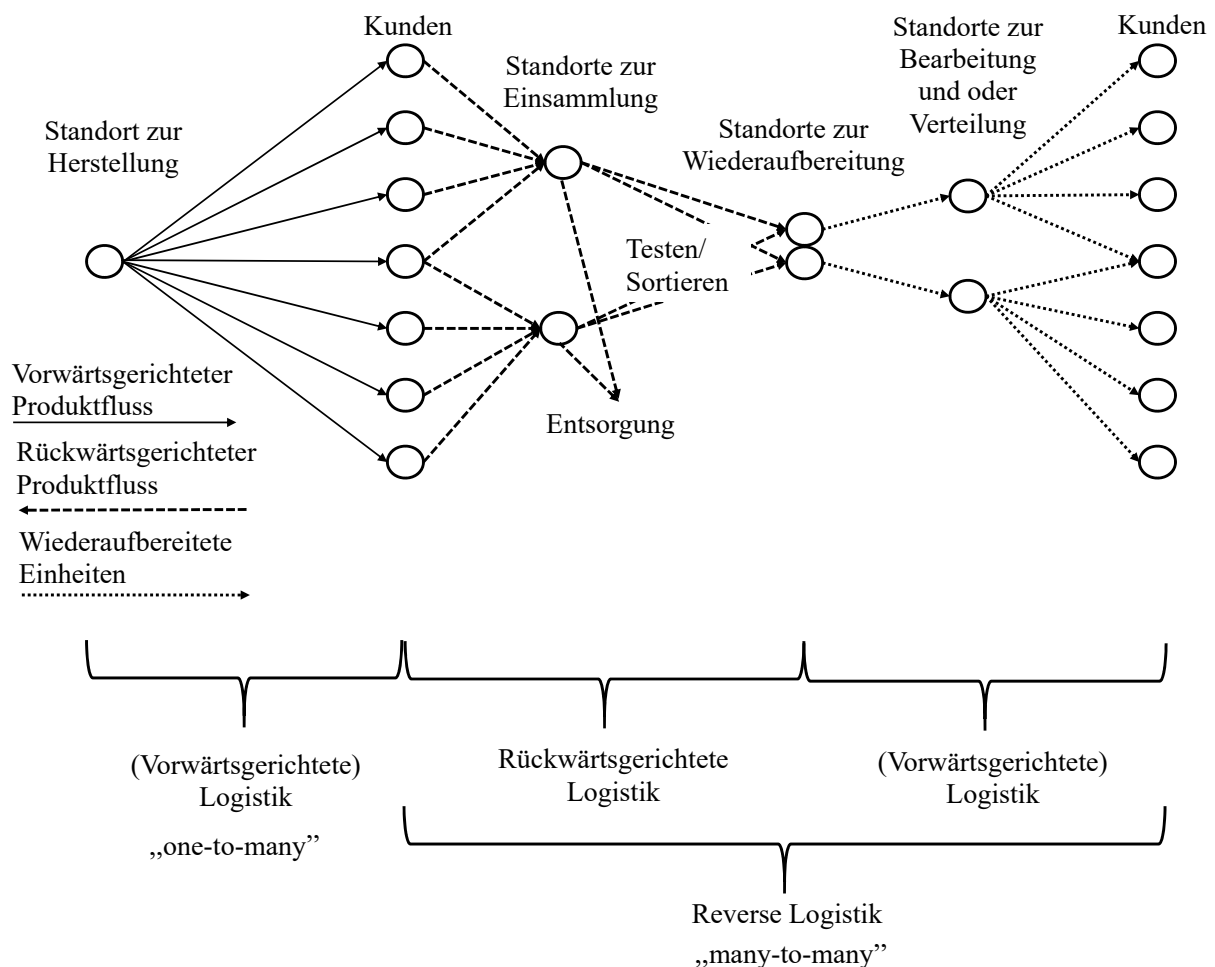


Abbildung 2.4: „one-to-many“-Struktur von Netzwerken mit ausschließlich vorwärtsgerichteten Produktflüssen und „many-to-many“-Struktur von Netzwerken mit zusätzlich rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach Fleischmann et al. (2004)[55])

Die fünf Netzwerktypen nach [53] unterscheiden sich neben der Wiederaufbereitungsform auch hinsichtlich der Akteure, d.h. ob der OEM oder Dritte Produktrückgaben einsammeln und bearbeiten, und zwischen ökonomischer und gesetzlicher Motivation für die Rückführung. Durch diese Unterschiede ergeben sich auch andere Problemstellungen für die Planung, die im Folgenden diskutiert werden.

Die Netzwerktypen (a) und (d) zeichnen sich dadurch aus, dass OEM durch gesetzliche Vorgaben gezwungen werden, Verantwortung für ihre nicht mehr funktionsfähigen Produkte zu übernehmen. Nach [53] ist die Wiederaufbereitungsform in diesen Netzwerken das Recycling, d.h. das Material des gebrauchten Produkts wird verwertet. Der Absatzmarkt für das originäre Gut und die wiedergewonnenen Materialien stimmen in diesen Netzwerken nicht überein.

So wird das Einsammeln und Recycling der gebrauchten Produkte von Dritten übernommen; teilweise gibt es auch Aktivitäten der betroffenen Industrien, eine gemeinsame Lösung zu finden, wie z.B. im Fall von Batterien. In Folge des Batteriegesetzes [11] haben betroffene Unternehmen die Stiftung „Gemeinsames Rücknahmesystem für Geräte-Alt-Batterien“ (GRS) gegründet, die die Rückführungsaufgaben der gesamten Industrie ausführt [60]. Grundsätzlich zeichnen sich diese Netzwerke durch geringe Verflechtungen zwischen vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen aus, sodass eine gemeinsame Betrachtung der Flüsse nicht notwendig ist [51] [53].

Weiterhin haben diese Netzwerke häufig wenige Ebenen bzw. Stufen, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen, da die RSC aus Sortierungs-, Reinigungs- und Recyclingprozessen besteht, die oft in einem Standort ausgeführt werden [51] [156] [53]. Allerdings sind für diese Bearbeitungsschritte spezifische technische Anlagen erforderlich, die sich von den Anlagen zur Produktherstellung unterscheiden und deren Beschaffung mit hohen Kosten verbunden ist.

So werden hohe Bearbeitungsmengen an gebrauchten Produkten angestrebt, um positive Skaleneffekte zu erreichen und die Anfangsinvestitionen zu erwirtschaften [51] [53]. Daher bestehen diese Netzwerke aus einzelnen großen Recycling-Standorten und vielen Produktabgabemöglichkeiten in Kundennähe, teilweise sogar in Zusammenarbeit mit der öffentlichen Abfallsammlung [53].

Produkte von geringem Wert, wie z.B. Batterien, oder Produkte, die nebenbei während der Fertigung entstehen, wie z.B. Sand [10] und Teppichreste [118], fließen in diesen Netzwerken. Eine andere Wiederaufbereitungsform, wie z.B. die Refabrikation, ist bei diesen Produkten entweder technisch nicht möglich oder zu aufwendig, besonders im Vergleich zum Wert des Produkts [51]. Daher werden solche Produkte recycelt und ihr Material, anstatt das gesamte Produkt oder seine Komponenten, wird wiederverwendet.

Traditionell ist bei Netzwerken mit Recycling, die als Reaktion auf gesetzliche Vorgaben entstehen, die Kostenminimierung das Ziel. Aber mittlerweile, z.B. durch gestiegene Rohstoffpreise, gibt es Dritt-Unternehmen, die eine RSC mit Recycling aufbauen, um Gewinne zu generieren [53]. In Abhängigkeit von der Zielsetzung werden Netzwerke mit Recycling weiter in Typ (a) und (d) unterschieden.

Im Gegensatz zum gesetzlich motivierten Recycling werden die Wiederaufbereitungsformen, die die Demontage von gebrauchten Produkten voraussetzen, also „refurbishing“, „remanufacturing“ und „cannibalization“, nur umgesetzt, wenn es ökonomisch sinnvoll ist [54]. Fleischmann et al. (2003)[54] unterscheiden nicht zwischen diesen Wiederaufbereitungsformen, sondern fassen alle drei Formen unter Refabrikation zusammen; SC-Netzwerke mit Refabrikation werden weiter in die Typen (b) und (c) unterteilt.

Lund (1998)[120] und Guide (2000)[73] geben folgende sieben Merkmale für das Produkt bzw. den Markt vor, sodass Refabrikation erfolgreich durchgeführt werden kann:

1. Das Produkt ist nicht mehr voll funktionsfähig.
2. Weiterhin muss das Produkt ein langlebiges Konsumgut, also wiederverwendbar, sein.
3. Die Produkttechnologie muss für einen gewissen Zeitraum stabil sein.
4. Der Wert der zurückgegebenen Produkte muss hoch sein, damit die Refabrikation rentabel ist.
5. Außerdem muss ein jeweiliger Einkaufspreis am Markt bzw. die Kosten für die Beschaffung des gebrauchten Produkts niedriger als dessen Wert nach der Refabrikation sein.
6. Das Produkt und seine Bestandteile müssen standardisiert und austauschbar sein.
Nur so ist eine Demontage des Produkts in seine Bestandteile ohne Verluste möglich.
7. Desweiteren müssen Kunden von der Möglichkeit der Refabrikation wissen.

Viele Konsumgüter erfüllen die Kriterien (2)-(6), insbesondere elektromechanische Produkte [105], wie z.B. Kopiergeräte [107], Kühlschränke [108] oder Automobilteile [174]. Das erste Merkmal folgt daraus, dass Refabrikation eine Wiederverwertungsform ist, die aus mehreren Arbeitsschritten besteht und mit einem gewissen Aufwand verbunden ist. Daher ist Refabrikation nicht sinnvoll, wenn das Produkt noch funktioniert und damit ohne umfangreiche Bearbeitung weiter verwendet werden könnte.

Das Merkmal (7) bezieht sich darauf, dass Kunden von den Bestrebungen des Unternehmens wissen müssen, sodass sie Produkte zurückgeben. Außerdem kann Refabrikation als Marketing-Instrument genutzt werden, wie bereits in Abschnitt 1.3 erläutert.

Besondere Planungsanforderungen ergeben sich für Netzwerke mit Refabrikation daraus, dass Refabrikation ein Prozess ist, dessen erfolgreicher Ausgang und damit die Menge an resultierenden wiederaufbereiteten Einheiten unsicher ist [73]. Zudem werden Produkte in unterschiedlicher Qualität zurückgegeben. So können hohe operative Kosten bei der Refabrikation entstehen [51].

Außerdem muss das zurückgegebene und wiederaufbereitete Produkt bzw. dessen wiederaufbereitete Komponenten zum nachgefragten Produkt bzw. Produktionsinput passen [73], um Erlös aus der Refabrikation des zurückgegebenen Produkts bzw. dessen Komponenten zu generieren.

Netzwerke mit Refabrikation unterscheiden sich zudem hinsichtlich ihrer RSC-Akteure: Unter Netzwerktyp (b) sind die CLSC zusammengefasst, in denen ein OEM alle Tätigkeiten der RSC ausübt, also das Einsammeln, die Refabrikation und Eingliederung der wiederaufbereiteten Einheiten in den vorwärtsgerichteten Güterfluss. Netzwerke, in denen spezialisierte Refabrikationsunternehmen Produkte wiederaufbereiten, werden unter (c) zusammengefasst.

Die Zusammenhänge zwischen vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen sind im Netzwerktyp (b) tiefer als im Typ (c); daher müssen sie gemeinsam geplant werden, um ein effizientes CLSC-Netzwerk (CLSCN) zu erreichen [51] [52]. Diese gemeinsame Planung führt zu komplexen Entscheidungssituationen, da Güter durch unterschiedliche Standorte auf mehreren Ebenen bzw. Stufen und in verschiedenen Richtungen im Netzwerk fließen. Allerdings kann in diesen Netzwerken auch das Verhältnis zwischen OEM und Kunden

durch ein Rücknahme- bzw. Refabrikationsprogramm enger werden. Dadurch kann der OEM das Produkt über seinen Lebenszyklus hinweg beobachten und dementsprechend das Netzwerk anpassen [54].

In dieser Arbeit wird ein CLSC geplant, dessen Netzwerk dem zweiten Typ (b) zugeordnet werden kann; eine detaillierte Beschreibung des Netzwerks folgt in Abschnitt 3.1.3.

Im Gegensatz zu allen anderen Netzwerktypen muss beim Typ (e), also in Netzwerken für wieder-befüllbare Behältnisse, keine Bearbeitung von Einheiten geplant werden, da wieder-befüllbare Behältnisse Güter sind, die ohne Zerlegung oder lange Reparaturvorgänge häufig wiederverwendet werden können, wie z.B. Container oder Flaschen. Netzwerke für wieder-befüllbare Behältnisse haben daher auch wenige Stufen.

Nach einer Reinigung und leichten Reparaturen ist die Wiederaufbereitung für wieder-befüllbare Behältnisse abgeschlossen. Sie dienen als Behältnisse für den Transport von Einheiten in der Produktion oder von Produkten zu Kunden und sind daher mit dem vorwärtsgerichteten Produktfluss verbunden. Es müssen Transport- und Beschaffungsmengen im Netzwerk so geplant werden, dass die relevanten Kosten minimiert werden.

Neben den Kosten ist für die Planung besonders die zeitliche Verfügbarkeit der Güter wichtig - es müssen genügend Behältnisse für den Produkt-Transport vorhanden sein, damit Absatzverluste vermieden werden können [51]. Daher resultieren oft Netzwerke mit Standorten für das Befüllen bzw. Verpacken, die nahe dem jeweiligen Bedarfsort sind.

Nach dem Überblick über die Motivation zur Produkt-Rücknahme und Wiederaufbereitung, über die unterschiedlichen Wiederaufbereitungsformen und die unterschiedlichen Netzwerke von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen werden nun die besonderen Anforderungen durch rückwärtsgerichtete Produktflüsse an das SCM herausgearbeitet.

2.1.2 Management von Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen

Nach Daskin et al. (2005)[27] umfasst das SCM folgende Entscheidungen:

- I) Wie Informationen zwischen beteiligten Akteuren geteilt werden sollen,
- II) wo welche Standorte eröffnet werden sollen,
- III) welche Gütermengen auf jeder Produktionsstufe gelagert werden sollen,
- IV) was und wieviel zwischen welchen Standorten transportiert werden soll und
- V) wieviel von welchem Gut in welchem Standort produziert werden soll.

Zur Entscheidungsunterstützung im SCM werden in dieser Arbeit mathematische Methoden entwickelt und vorgestellt. Die SC wird prozess- anstatt akteurorientiert geplant; so werden die Entscheidungen unter (I) in dieser Arbeit nicht weiter diskutiert.

Die Logistik ist der Teil des SCM, in dem alle Entscheidungen über die Flüsse und Lagerhaltung von Einheiten im SC, also Entscheidungen (II), (III) und (IV) effizient geplant werden, aber auch die Umsetzung kontrolliert wird [95]. Die Entscheidungen unter (V) werden durch die Produktionsplanung erfasst.

Allerdings werden auch Produktion und Lagerhaltung, also Entscheidungen unter (V) und (III), gemeinsam geplant. Nach Silver (1967)[158] ist die Lagerhaltung ein Mittel eines produzierenden Unternehmens, um auf veränderte Nachfrage zu reagieren und die Produktionsrate konstant zu halten. Allerdings beeinflussen Lagerhaltungsentscheidungen auch die Standort-Kapazitäten und müssen somit auch bei Entscheidungen unter (II) berücksichtigt werden.

Während die traditionelle Logistik nur den vorwärtsgerichteten Güterfluss vom Hersteller zum Kunden betrachtet, umfasst die reverse Logistik (RL) alle logistischen Aktivitäten bezüglich des Flusses von gebrauchten Produkten, die nicht länger vom Nutzer benötigt werden, bis zu Produkten, die wieder in einem Markt nutzbar sind [49] [55]. Dieser Definition von Fleischmann et al. (1997)[49] und Fleischmann et al. (2004)[55] folgend ist die reverse Logistik in Abbildung 2.4 dargestellt; zur weiteren Abgrenzung ist in Abbildung

2.4 ebenfalls die traditionelle, vorwärtsgerichtete und rückwärtsgerichtete Logistik abbildet.

Rückwärtsgerichtete Kanäle oder Flüsse werden bereits in den 1970ern, z.B. in [79], erwähnt. In den 1980ern wird die RL zum ersten Mal von Lambert und Stock (1982)[114] beschrieben, als Laufen in die falsche Richtung in einer Einbahnstraße, da die große Mehrheit der Produkte in eine Richtung, also vorwärts zu Kunden fließen. Diese Definition wird in den neunziger Jahren weiterentwickelt, da die Verwertung von Produktrückgaben in Europa u.a. durch gesetzliche Regelungen (siehe Abschnitt 1.3) an Bedeutung gewinnt. Nach Rogers und Tibben-Lembke (1999)[147] sind die Aufgaben der reversen Logistik die Planung, das Umsetzen und Kontrollieren des kosten-effizienten rückwärtsgerichteten Flusses an Endprodukten und Informationen vom Standort des Konsums zum jeweiligen Standort der Wiederverwendung oder der Entsorgung.

Diese Definition erfasst aber nicht die gesamte RL: Neben Kosten kann auch der Gewinn für die Planung relevant sein; außerdem erfasst diese Definition nur eine Produkt-Rückgabe nach Konsum, z.B. wird ein Produkt-Rückfluss von wieder-befüllbaren Behältnissen für den unternehmensinternen Transport vernachlässigt. Andere Definitionen, z.B. der „European Working Group on Reverse Logistics“ (REVLOG) (1998)[43], erweitern diese RL-Definition. Die Zielsetzung „Kosten-Effizienz“ entfällt, dafür werden rückwärtsgerichtete Flüsse an Gütern nicht nur von Kunden und nach Nutzung, sondern auch innerhalb der Herstellung und vor der Verteilung an Kunden betrachtet.

Die als erstes genannte RL-Definition nach Fleischmann et al. (1997)[49] bzw. Fleischmann et al. (2004)[55] umfasst dagegen nicht nur den rückwärtsgerichteten Produktfluss zum Standort der Wiederaufbereitung bzw. -verwendung oder Entsorgung, sondern schließt auch einen Teil der vorwärtsgerichteten Logistik, die Verteilung von wiederaufbereiteten Einheiten in einen Markt, mit ein.

Da in dieser Arbeit ein CLSC betrachtet wird, also vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse gemeinsam geplant werden und wiederaufbereitete Komponenten in den vorwärtsgerichteten Güterfluss integriert werden, gehört dieses Entscheidungsproblem zur RL, die in [49] bzw. [55] definiert und in Abbildung 2.4 abgebildet wird.

In einer SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen muss auch die Produktionsplanung

andere Arbeitsvorgänge berücksichtigen als in einer traditionellen SC. Die einzelnen Bearbeitungsschritte, Anforderungen an technische Anlagen, aber auch an Personal für Refabrikation, Recycling und für die anderen Wiederverwendungsformen unterscheiden sich vom Produktionsprozess des vorwärtsgerichteten Flusses, wie z.B. in [168] [73] [156] diskutiert.

So erweitert sich das SCM durch die Berücksichtigung von rückwärtsgerichteten Produktflüssen um folgende Entscheidungen; in Anlehnung an Fleischmann et al. (1997)[49] und Guide et al. (2003)[76]:

1. Auf welche Art gebrauchte Produkte eingesammelt bzw. zurückgegeben werden sollen bzw. können,
2. wo welche Standorte mit welcher Kapazität zum Einsammeln und zur Wiederaufbereitung eröffnet werden sollen,
3. was und wieviel zu den Standorten zum Einsammeln und zur Wiederverwertung und zu Standorten des originären SC oder Kunden transportiert werden soll,
4. welche zurückgegebenen Produkte und welche Bestandteile dieser Produkte gelagert werden sollen,
5. was und wieviel von zurückgegebenen Produkten und deren Bestandteilen in welchen Standorten wiederaufbereitet werden soll,
6. was und wieviel von zurückgegebenen Produkten und deren Bestandteilen entsorgt werden soll.

Entscheidungen unter (1), (2), (3), (4) und (6) können der RL zugeordnet werden; Entscheidungen unter (4), (5) und (6) der Produktionsplanung mit Produktwiederaufbereitung.

Die Entscheidungen des SCM können in Abhängigkeit vom Planungshorizont zu strategischen, taktischen und operativen Planungsproblemen zugeordnet werden [27] [163]. Im Folgenden werden die Entscheidungen des traditionellen SCM und des Managements von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen der strategischen, taktischen und operativen SC-Planungsebene zugeordnet.

Strategische, taktische und operative Supply Chain-Planungsprobleme

Entscheidungen bzgl. der Netzwerk-Gestaltung der SC und der Koordination zwischen SC-Akteuren, zusammengefasst in den SCM-Entscheidungen unter (I) und (II), beeinflussen die SC lange, also über einige Jahre. Sie werden daher der strategischen Planungsebene des SCM zugeordnet [27]. In einer SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen kommen die strategischen Planungsprobleme hinzu, die oben in den Entscheidungen unter (1) und (2) zusammengefasst werden [163].

Entscheidungen der taktischen SC-Planungsebene werden wöchentlich oder monatlich bzw. quartalsweise gefällt, d.h. sie haben einen mittelfristigen Planungshorizont. Im Gegensatz zu Standortentscheidungen können Transport-, Produktions- und Lagermengen, d.h. die SCM-Entscheidungen unter (III) - (V), an geänderte Bedingungen, wie z.B. die Verfügbarkeit von Rohstoffen, relativ flexibel mittelfristig angepasst werden. Daher werden sie vom SCM der taktischen Planungsebene zugeordnet [27].

In SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen muss außerdem der Zukauf, die Sortierung und Bearbeitung, also Demontage oder Zerlegung, je nach Wiederaufbereitungsform, und die Entsorgung von gebrauchten Produkten bzw. ihrer Bestandteile (Entscheidungen unter (3) - (6)) geplant werden [163].

Die operative SC-Planung hat den kürzesten Horizont: Entscheidungen auf der operativen Ebene, wie über die Termin- und Ablaufplanung der Produktion und Materialbeschaffungspläne, fallen jeden Tag an. In SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen muss der Ablauf des jeweiligen Wiederaufbereitungsprozesses, also z.B. des Recyclings oder der Refabrikation gebrauchter Produkte, operativ geplant werden [156] [163].

Die Kapazitätsplanung nimmt eine gesonderte Stellung im SCM ein, da sie im Gegensatz zur Standort-, Produktions- und Ablaufplanung auf jeder SC-Ebene stattfindet [132]. Die strategische Kapazitätsplanung plant ganze Standorte für Produktfamilien basierend auf der erwarteten Produkt-Nachfrage. Diese Kapazität kann in großen, diskreten Stufen der Nachfrage durch Abbau oder Erweiterung angepasst werden.

In produzierenden Unternehmen finden auch auf der taktischen Ebene Kapazitätsentscheidungen statt [132], z.B. durch aggregierte Personalbestandsplanung, wie in Hax und Meal

(1973)[81] vorgestellt. Auch bei der Planung kurzfristiger operativer Entscheidungen, wie der detaillierten Ablaufplanung einer Produktion, müssen Kapazitäten mit berücksichtigt werden [132], z.B. bei Maschinenbelegungsplänen müssen Aufträge auf vorhandene Maschinen aufgeteilt werden.

Die Entscheidungen, die durch rückwärtsgerichtete Produktflüsse zum traditionellen SCM hinzukommen und oben unter (1) - (6) zusammengefasst wurden, stellen nicht nur eine Erweiterung des SCM dar, sondern RSC und CLSC benötigen eigene Planungsansätze, da sich vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse unterscheiden. Im Folgenden werden die Unterschiede diskutiert.

Besondere Planungsanforderungen der Reverse Supply Chains und Closed-Loop Supply Chains

Blumberg (2004)[18] und Guide (2000)[73] beschreiben die Unterschiede mit Schwerpunkt auf die Logistik bzw. die Produktion. Die Qualität der Produkte im vorwärtsgerichteten Fluss einer traditionellen SC ist gleich, dagegen variiert die Qualität unter zurückgegebenen Produkten. Die Verfügbarkeit der Produkte ist in traditionellen SC bekannt; in RSC bzw. CLSC weiß man nur bei vertraglich vereinbartem Rückgabezeitpunkt, z.B. beim Leasing, vom Eintreffen von Kunden-Rückgaben.

Die Rückgabemenge an Produkten kann zusätzlich durch Entscheidungen unter (1), wie z.B. durch Rückkauf von gebrauchten Produkten oder durch Tausch-Aktionen von gebrauchten gegen neue Produkte, aber auch gesetzliche Vorgaben zur Produktrückgabe beeinflusst werden. In SC mit Refabrikation, also Netzwerktyp (b) und (c), werden mit Rückkauf- oder Tauschaktionen oder nach Ende einer vertraglich vereinbarten Leasingdauer die gebrauchten, aber noch wertvollen Produkte von Kunden eingesammelt [54] [107] [102].

Leasingverträge werden z.B. bei den Kopiergeräteherstellern Xerox [102] und Océ [107] genutzt, um Unsicherheiten über die Verfügbarkeit von Produktrückgaben abzubauen. In Kapitel 3 und 4 wird ein Netzwerk mit Produktrückgaben nach vertraglich vereinbarter Leasingdauer geplant.

Im Gegensatz zu Netzwerken mit Refabrikation sind die Produkte in Netzwerken mit Recycling, also Typ (a) und (d), geringwertig und werden am Ende ihrer Lebensdauer, also nicht mehr funktionsfähig, zurückgegeben oder werden sogar von Kunden entsorgt. Diese Produkte werden mit der öffentlichen Abfallsammlung zurückgeführt, wie z.B. bei Verkaufsverpackungen durch die „Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH (DSD)“ [66]. Daher sind in diesen Netzwerken keine Anreize zur Produktrückgabe, wie Rückkauf- oder Tauschaktionen, und Leasingverträge zu beobachten.

Die Standort- und Transportplanung, also Entscheidungen unter (2) und (3), sind ebenfalls abhängig vom Netzwerktyp: In CLSC, die durch Netzwerktyp (b) erfasst werden, sollten vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse zusammen geplant werden, um die wechselseitigen Abhängigkeiten zu erfassen [53]. Auch im Netzwerk mit Refabrikation durch Dritte, Netzwerktyp (c) und im Netzwerk mit wieder-befüllbaren Behältnissen, Netzwerktyp (e) kann es vorteilhaft sein, bei den Entscheidungen bzgl. Standorten und Transporten vor- und rückwärtsgerichtete Güterflüsse zu berücksichtigen.

Beim Netzwerktyp (c) hat ein Dritter dadurch mehr Informationen über die Menge und Qualität von Produktrückgaben und damit mehr Planungssicherheit. Beim Netzwerktyp (e) stehen so wieder-befüllbare Behältnisse in ausreichender Menge für den vorwärtsgerichteten Produktfluss zur Verfügung.

Dagegen ist es bei RSC mit Recycling des Netzwerktyps (a) und (d) nicht notwendig, vorwärtsgerichtete Produktflüsse in der Planung zu berücksichtigen. Hier wird vor allem eine gleichmäßige und hohe Auslastung der großen Recyclinganlagen angestrebt. Daher müssen ausreichend Produktrückgaben eingesammelt werden; dafür müssen genügend Sammelstandorte existieren.

Auch auf die jeweilige Lagerhaltungsstrategie, d.h. Entscheidungen unter (4), wirken rückwärtsgerichtete Produktflüsse ein: Während im traditionellen SCM nur schwankende Nachfrage berücksichtigt werden muss, muss in einer CLSC des Netzwerktyps (b) schwankende Nachfrage mit schwankenden rückwärtsgerichteten Produktflüssen, die das Angebot an Produktionsinput darstellen, ausgeglichen werden [73].

Zur Vermeidung von Verlustausfällen durch unsichere rückwärtsgerichtete Produktflüs-

se und um den maximal möglichen Wert eines Produkts auszuschöpfen, ist ein aktives Management über die Menge und den Zeitpunkt der Produktrückgaben notwendig. Nach Toktay et al. (2004)[175] können dafür Simulationsmodelle genutzt werden, um die Wirkungsweise von Anreizen zur Produktrückgabe zu testen, oder historische Daten können durch statistische Analyseverfahren interpretiert werden, um die Motive zur Produktrückgabe zu verstehen.

Dabei stellen Toktay et al. (2004)[175] den Einfluss des PLZ, also des Verlaufs der Nachfrage bzw. der verkauften Produktmenge über die Produktlebensdauer, d.h. vom Zeitpunkt der Markteinführung bis zum Nachfrage-Rückgang oder sogar Marktaustritt des Produkts [21] auf ein erfolgreiches Produkt-Rückgabeprogramm fest.

Auch die Untersuchung von Klausner et al. (1998)[104] über das Wiederaufbereitungsprogramm für elektrische Motoren, die in elektronischen Handwerkzeugen die teuerste Komponente darstellen, zeigt die Bedeutung des PLZ für die Rentabilität von Wiederaufbereitung. Die Autoren stellen fest, dass Motoren ihre Produkte häufig überleben und daher erst zurückgegeben werden, nachdem das eigentliche Produkt nicht mehr nachgefragt wird [104].

So können wiederaufbereitete Motoren aber nicht als Komponenten oder Ersatzteile in der Produkt-Fertigung bzw. -Reparatur genutzt werden; das sog. Refabrikationsdilemma liegt vor [105]. Durch elektronische Datenerfassung der Produktperformance kann der Zustand des Motors und sein Ausfallzeitpunkt besser bestimmt und entsprechend das Wiederaufbereitungsprogramm geplant werden. So können große Kostenersparnisse generiert werden und das Wiederaufbereitungsprogramm wird rentabel [104][105].

Es zeigt sich also, dass für ein erfolgreiches Produkt-Wiederaufbereitungsprogramm, insbesondere bei CLSCN, Nachfrage und Produktrückgaben gemeinsam über mehrere Zeitperioden hinweg berücksichtigt werden müssen, sodass der PLZ in die Planung integriert werden kann. Ein Lebenszyklus-orientiertes Management für Produkte von OEM haben schon Guide et al. (2003)[76] gefordert. Nach [76] sollen OEM sogar alle Wiederverwertungsformen bis zur endgültigen, möglichst umweltfreundlichen Entsorgung des Produkts berücksichtigen, wenn sie die Markt-Einführung von Produkten planen.

In dieser Arbeit werden in Abschnitt 3.2 und Kapitel 4 Methoden zur mehrperiodigen

CLSC-Planung entwickelt, um zeitliche Einflüsse bei der Planung zu bestimmen; in diesem Kontext wird auch die Bedeutung des Produkt-Designs für eine rentable Refabrikation festgestellt. Zunächst wird nun das Konzept des PLZ vorgestellt, da es die Schwankungen der Nachfrage bzw. verkauften Menge erfasst und ausgewählte quantitative Ansätze aus der Literatur werden präsentiert, die den Einfluss von PLZ auf den Erfolg von Refabrikation untersucht haben.

Der Produktlebenszyklus und sein Einfluss auf Wiederaufbereitung

Die Lebensdauer eines Produkts ist beschränkt; neue Technologien oder Trends führen dazu, dass die Nachfrage nach einem Produkt schwankt, im Lauf der Zeit weniger wird oder das Produkt sogar den Markt verlässt. Außerdem kann der OEM natürlich auch selbst das Produkt vom Markt nehmen, um z.B. Nachfrage für neue Produktvarianten freizugeben [22]. Die Schwankungen von Nachfrage bzw. der verkauften Produktmenge über die Produktlebensdauer wird durch den PLZ dargestellt [21].

Der PLZ kann in 4 bis 6 Phasen unterteilt werden [145]; in dieser Arbeit werden nach [145] und [90] die folgenden 4 Phasen berücksichtigt:

1. Einführungsphase
2. Wachstumsphase
3. Reifephase
4. Degenerationsphase (Rückgang)

Traditionell wird der PLZ eines Produkts für den Massenmarkt durch eine Glockenkurven-ähnliche Funktion dargestellt, die, wie in Abbildung 2.5 gezeigt, in die vier aufgelisteten Phasen unterteilt wird [153].

In der Einführungsphase ist die verkaufte Produktmenge noch niedrig, da nur wenige Kunden Kenntnis über das neue Produkt haben. Mit dem Bekanntheitsgrad und der Akzeptanz des Produkts steigt auch die Nachfrage; die Wachstumsphase beginnt. In der Wachstumsphase steigt die Nachfrage und verkaufte Produktmenge schnell und stark

an. Die Wachstumsrate wird mit der Zeit niedriger, da immer mehr Wettbewerber in den Markt eintreten und Nachfrage abwerben und nach einer gewissen Zeit die meiste Nachfrage im Markt befriedigt ist. Schließlich erreicht die Nachfrage in der Reifephase ein gleichbleibendes Niveau. Die Degenerationsphase fängt an, wenn die verkaufte Menge sinkt, da Kunden ein neues Produkt bzw. eine neue Produktvariante bevorzugen [145].

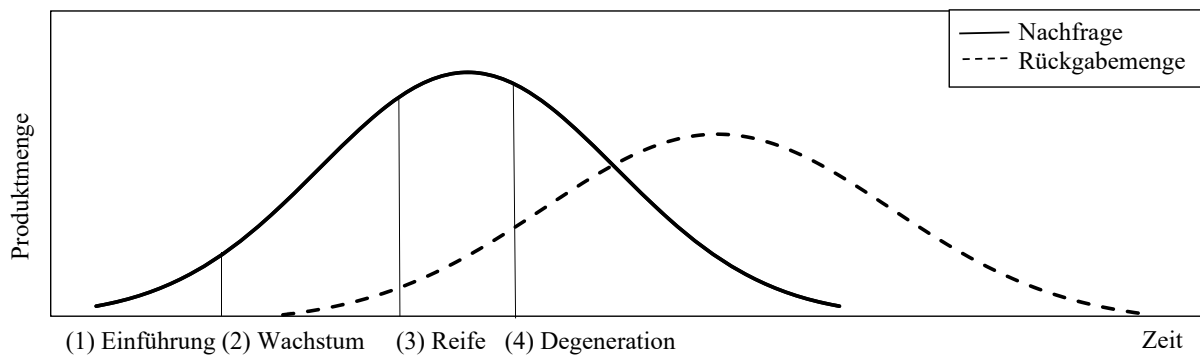


Abbildung 2.5: Traditioneller PLZ mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach [145] [90])

Das PLZ-Konzept wird vor allem für die Auswahl geeigneter Marketing-Maßnahmen genutzt [22]. Allerdings wird auch der rückwärtsgerichtete Produktfluss im CLSC von der Nachfrage bzw. der verkauften Produktmenge und damit PLZ beeinflusst: Der rückwärtsgerichtete Produktfluss folgt der Nachfrage bzw. verkauften Produktmenge zeitversetzt [99] [90] (siehe Abbildung 2.5), verzögert durch die Nutzung von Kunden oder durch die Zeit, in der das Produkt voll funktionsfähig ist. Also muss das PLZ-Konzept auch bei der CLSC-Planung berücksichtigt werden.

Schon Kiesmüller et al. (2004)[99] und Hsueh (2011)[90] haben PLZ-Effekte auf die Refabrikation untersucht. In [99] wird die Refabrikation von Daimler Chrysler Motoren beschrieben: Nach der Rückführung der Autos von Daimler Chrysler werden die Motoren wiederaufbereitet und auf einem Zweitmarkt als wiederaufbereitete Ersatzteile verkauft. In [99] werden Nachfrage und Produktrückgaben durch stetig differenzierbare von der Zeit abhängige Funktionen beschrieben.

Dagegen untersucht Hsueh (2011)[90] den Einfluss vom PLZ auf die Lagerhaltungsstrategie eines CLSC, in dem die gebrauchten Produkte nach der Wiederaufbereitung einen

neuwertigen Zustand erreichen. Der Anlass für das in [90] untersuchte Planungsproblem basiert auf Industrien mit kurzem PLZ, wie z.B. der Mobiltelefon-Industrie.

Beide Studien beschreiben folgende Zusammenhänge zwischen Produkt-Nachfrage und -rückgabe, die auch in Abbildung 2.5 zu sehen sind: In der Einführungsphase ist die Nachfrage nach Produkten deutlich höher als das Angebot an zurückgegebenen und wiederaufbereiteten Produkten. Wenn die Wachstumsrate der Nachfrage abflacht und später sogar abnimmt, kann das Angebot, also der rückwärtsgerichtete Produktfluss, höher als die Produkt-Nachfrage sein.

D.h. der PLZ mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen kann in zwei unterschiedliche Abschnitte, in Angebotsmangel und -überschuss unterteilt werden [99]. Die Herausforderung an die Planung ist es nun, den Angebotsmangel und -überschuss auszugleichen, um eine erfolgreiche Refabrikation zu erreichen. Dazu haben Kiesmüller et al. (2004)[99] und Hsueh (2011)[90] eine kosten-optimale Produktions- und Lagerhaltungsstrategie entwickelt. Nach Guide et al. (2003)[76], Klausner et al. (1998)[104], Klausner et al. (1999)[105] und Gungor und Gupta (1999)[67] sind allerdings Investitionen schon in der Stufe des Produkt-Designs, d.h. vor dem Markteintritt notwendig, um eine erfolgreiche SC mit Produkt-Wiederaufbereitung zu erreichen und der Problematik von Angebotsmangel und -überschuss zu begegnen. Also sollte schon in der strategischen CLSC-Planung das Produkt-Design berücksichtigt werden.

Bei Wiederaufbereitungsformen wie Refabrikation, Modernisierung oder Ausschachtung, muss schon beim Produkt-Design, also vor der Markteinführung, die Demontagefähigkeit der Produkte beachtet werden [67]. So wird z.B. in der Automobilindustrie von Herstellern wie BMW [91], Opel [16] oder Nissan [133] die Verwertbarkeit zurückgegebener, gebrauchter Produkte in der Produktionsplanung berücksichtigt.

Aber auch Hersteller im Bereich der Unterhaltungselektronik und Computertechnologie, wie z.B. Canon [133], IBM [54] und Xerox [102], beachten Wiederaufbereitungsprozesse beim Produkt-Design, um eine effiziente oder sogar vollständige Verwertung ihrer produzierten Einheiten zu erreichen.

Außerdem müssen bei einer flexiblen Massenproduktion Produkte modular sein, sodass unterschiedliche Produkte aus gleichen Komponenten hergestellt werden können und da-

durch positive Skaleneffekte in der Herstellung von Komponenten erreicht werden können, wie bereits in Abschnitt 1 erläutert. Diese Bestrebungen können auch einen positiven Einfluss auf den Erfolg von Refabrikation haben.

Während das vorgeschlagene Lebenszyklus-orientierte Management nach Guide et al. (2003)[76] oder andere Ansätze der Literatur, wie [104] [105] [67], sich auf das Produkt-Design und die Bestimmung der geeigneten Wiederverwertungsform konzentrieren, wird in dieser Arbeit die Produktion und Refabrikation in einem CLSCN mit strategischen Problemen gemeinsam betrachtet, um Handlungsempfehlungen bei Angebotsmangel und -überschuss zu entwickeln.

Im Folgenden wird ein Überblick über Ansätze aus der Literatur zur Planung von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen und über die Lösungsansätze für das Problem der CLSC-Planung bei beschränkten Kapazitäten, die in dieser Arbeit entwickelt werden, gegeben.

2.1.3 Quantitative Planungsansätze für Probleme von Supply Chains mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen

Quantitative Planungsansätze für Probleme von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen aus der Literatur werden im Folgenden vorgestellt. Zudem werden die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze zur Planung von CLSC präsentiert und von den bisherigen Ansätzen aus der Literatur abgegrenzt.

Quantitative Planungsansätze aus der Literatur

Ausgewählte quantitative Planungsansätze aus der Literatur für Planungsprobleme von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen sind in Tabelle 2.1 aufgeführt. Fleischmann et al. (1997)[49] und Souza (2013)[163] präsentieren einen umfassenden Literaturüberblick über quantitative Modelle zur Planung bzw. für das Management von RSC bzw. CLSC. Eine Einteilung der CLSC-Probleme in die Planungshorizonte mit Zuordnung der quantitativen Methoden erfolgt in [163]. Zur Einteilung muss angemerkt werden, dass

diskrete Standortplanungsmodelle nicht nur für den strategischen Planungshorizont gelten, sondern bei entsprechender Datenvorgabe auch taktisch angewendet werden können. Die Einteilung in Tabelle 2.1 hängt vom jeweiligen Planungshorizont der Ansätze ab; die Methoden können für Probleme unterschiedlicher SC-Planungsebenen genutzt werden. In dieser Arbeit werden strategische und taktische Planungsprobleme und die Kombination dieser beiden Probleme betrachtet, daher ist der Überblick über Literatur für operative Planungsprobleme in Tabelle 2.1 kurz gehalten. In Kim et al. (2007)[101], Ilgin und Gupta (2010)[92] und Morgan und Gagnon (2013)[127] wird die Literatur für operative Planungsprobleme von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen ausführlich vorgestellt. Quantitative Planungsansätze zu operativen Problemen sind u.a. in [168] [100] [47] [68] [69] [70] [71] zu finden, siehe Tabelle 2.1. Quantitative Planungsansätze aus der Literatur für Probleme der strategischen und taktischen SC-Ebenen werden nun vorgestellt.

Tabelle 2.1: Ausgewählte quantitative Ansätze im Management von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen

Planungs- horizont	Methode	Ansätze
<i>Strategisch</i>	Koordination im SC	Debo et al. (2004)[31]
	Diskrete Standortplanungsmodelle:	
	– Für Netzwerktyp (e)	Kroon & Vrijens (1995)[112],
	– Für Netzwerktyp (d)	Barros et al. (1998)[10],
		Louwers et al. (1999) [118],
	– Für Netzwerktyp (b)	Marin & Pelegrin (1998)[123],
		Krikke et al. (1999)[107],
		Fleischmann et al. (2001)[52],
		Fleischmann et al. (2003)[53],
		Fleischmann et al. (2004)[55],
		Salema et al. (2007)[150]
	– Für Netzwerktyp (c)	Jayaraman et al. (1999)[95],

	Standort- & Kapazitätsplanung: – Für Netzwerktyp (a) Schultmann et al. (2003)[156], Standortplanung mit Liefertreue: – Für Netzwerktyp (c) & (d) Pishvaei & Torabi (2010)[139] Standort-, Produktions- & Kapazitätsplanung – Für Netzwerktyp (b) Steinke & Fischer (2016a)[166], Steinke & Fischer (2016b)[167]
<i>Taktisch</i>	Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement Deterministische Modelle: – Mit diskretem Planungshorizont Schrady (1967)[154], Mabini et al. (1992)[121], Richter (1996a, 1996b)[142][143], Teunter (2001)[173], Jayaraman (2006)[96] – Mit kontinuierlichem Planungshorizont Richter & Sombrutzki (2000)[144], Minner und Kleber (2001)[125], Beltrán & Krass (2002)[14], Kiesmueller et al. (2004)[99], Zhang et al. (2011)[190], Hsueh (2011)[90] Stochastische Modelle: – Periodische Überprüfung Simpson (1978)[160], Inderfurth (1997)[93], Kiesmüller & van der Laan (2001)[98], DeCroix et al. (2005)[32], DeCroix et al. (2009)[34], Ahiska & King (2010)[1] – Kontinuierliche Überprüfung Heyman (1977)[87], Muckstadt & Isaac (1981)[128],

		van der Laan et al. (1999)[178], Aras et al. (2004)[7], Aras et al. (2006)[8], Vercraene et al. (2010)[181], Vercraene & Gayon (2013)[182], Vercraene et al. (2014)[183], Gayon et al. (2017)[58]
<i>Operativ</i>	Demontageplanung, Materialbedarfspläne, Steuerungs- & Ablauf- planung	Taleb & Gupta (1997)[168], Kim et al. (2006)[100] Ferrer & Whybark (2001)[47] Guide & Srivastava (1997)[68], Guide & Srivastava (1997a)[69], Guide & Srivastava (1997b)[70], Guide & Srivastava (1998)[71]

In Debo et al. (2004)[31] wird die Koordination von Entscheidungen der Akteure in SC mit Produktrückgaben, insbesondere in CLSC, untersucht. Dagegen ist in dieser Arbeit das produzierende Unternehmen der einzige Entscheidungsträger; d.h. das SC-Netzwerk eines produzierenden Unternehmens wird zentral geplant.

Die Planung des Netzwerks, z.B. Entscheidungen über Standorteröffnungen, sind mit einer langen Zeitdauer und hohen Kosten verbunden. Weiterhin sind sie oft für lange Planungszeiträume, wie z.B. mehrere Jahre, fix. Daher müssen diese strategischen Entscheidungen besonders sorgfältig geplant werden. Das zentrale Planungsproblem ist die Standortplanung; sie wird in Abschnitt 2.2 vorgestellt. Es gibt unterschiedliche mathematische Modelle für die Umsetzung der Standortplanung. In dieser Arbeit wird eine diskrete Standortplanung durchgeführt, die in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt wird.

Im Gegensatz zum SCM, das die Planung der Standorte im SC zur strategischen Ebene und die Transporte im Netzwerk zur taktischen Ebene zuordnet, werden im diskreten Standortplanungsmodell Standorte und Transporte im SC-Netzwerk gemeinsam geplant. In Abschnitt 2.2.1 wird der Zusammenhang des diskreten Standortplanungsmodells mit

der Transportplanung erläutert. Anschließend wird in Abschnitt 2.2.2 und 2.2.3 das diskrete Standortplanungsmodell grundsätzlich bzw. als Mittel zur SC-Planung kritisiert.

In Akçali et al. (2009)[2] ist ein ausführlicher Literaturüberblick über mathematische Modelle und Lösungsansätze zur Planung von RSC- und CLSC-Netzwerken zu finden. Eine Auswahl von diskreten Standortplanungsmodellen für die Planung von SC-Netzwerken mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen ist in Tabelle 2.1 aufgeführt. In Kroon und Vrijens (1995)[112], Barros et al. (1998)[10] und Marin und Pelegrin (1998)[123] finden sich erste Ansätze zur diskreten Standortplanung in RSC bzw. CLSC.

Kroon und Vrijens (1995)[112] planen ein Netzwerk für wieder-befüllbare Behältnisse (Netzwerktyp (e) des Abschnitts 2.1.1) optimal. Barros et al. (1998)[10] und Louwers et al. (1999)[118] lösen das Standortplanungsproblem in Netzwerken mit Recycling (Netzwerktypen (a) und (d) aus Abschnitt 2.1.1). In Marin und Pelegrin (1998)[123], Jayaraman et al. (1999)[95], Krikke et al. (1999)[107], Fleischmann et al. (2000)[51], Fleischmann et al. (2001)[52], Fleischmann et al. (2003)[53], Fleischmann et al. (2004)[55] und Salema et al. (2007)[150] werden Netzwerke mit Refabrikation (Netzwerktyp (b) und (c) des Abschnitts 2.1.1) geplant.

Die Modelle zur CLSCN-Planung werden im Abschnitt 2.3.2 weiter diskutiert. Das Modell von Salema et al. (2007)[150] wird korrigiert vorgestellt und für Beispieldaten eines Kopiergeräteherstellers aus [52] gelöst. In dieser Arbeit wird ebenfalls ein CLSCN mit Refabrikation betrachtet. Im Gegensatz zu bisherigen Ansätzen, wie dem Modell von Salema et al. (2007)[150], findet im CLSC, der in dieser Arbeit untersucht wird, die Refabrikation auf Komponenten- anstatt Produktebene statt. D.h. die Komponenten der gebrauchten und zurückgegebenen Produkte können wiederaufbereitet und danach als Produktionsinput in den vorwärtsgerichteten Produktfluss re-integriert werden.

Eine solche SC wird z.B. in King et al. (2006)[102] für einen Kopiergerätehersteller beschrieben und stellt das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit dar. (Die Produktion und Refabrikation des Kopiergeräteherstellers wird in Abschnitt 3.1.2 und das Netzwerk wird in Abschnitt 3.1.3 ausführlich vorgestellt.) Allerdings wird die Produktion bzw. Transformation von Einheiten und die Beschaffung im diskreten Standortplanungsmodell grundsätzlich nicht berücksichtigt, wie in Abschnitt 2.2.3 erklärt wird. D.h. zur Unterstützung

der Entscheidungen bzgl. der Standorte, Transporte, Beschaffung („Dual Sourcing“), Produktion und Refabrikation im CLSCN muss das diskrete Standortplanungsmodell um die Abbildung der Produktion und Refabrikation erweitert werden.

Pishvaei und Torabi (2010)[139] erweitern die Planung eines CLSCN um den Aspekt der Liefertreue; weitere Ansätze zur kombinierten Standort- und Produktionsplanung werden im Abschnitt 3.1.1 diskutiert. Diese Ansätze bilden andere Netzwerke ab, als in dieser Arbeit untersucht werden. Ebenfalls unterscheiden sich die Zielsetzungen und Wiederaufbereitungsformen vom Planungsproblem dieser Arbeit. Daher muss ein eigener Ansatz zur kombinierten Standort- und Produktionsplanung entwickelt werden.

Dazu werden die Ansätze zur Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement in Produktionen mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen aus der Literatur untersucht. In Abschnitt 3.1.2 wird die Produktionsplanung zur taktischen SC-Planung eingeführt und von der operativen SC-Planung abgegrenzt. Außerdem werden quantitative Ansätze zur Produktionsplanung vorgestellt.

In Tabelle 2.1 sind ausgewählte quantitative Ansätze zu Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement bei vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen aufgeführt. Sie können in deterministische und stochastische Modelle unterteilt werden. Weiterhin ist der Planungshorizont in den deterministischen Modellen entweder diskret oder kontinuierlich erfasst. Deterministische Modelle mit diskretem Planungshorizont werden in Schady (1967)[154], Mabini et al. (1992)[121], Richter (1996a, 1996b)[142][143] und Teunter (2001)[173] präsentiert.

Dagegen werden in Richter und Sombrutzki (2000)[144], Minner und Kleber (2001)[125], Beltrán und Krass (2002)[14], Zhang et al. (2011)[190] und Hsueh (2011)[90] deterministische Modelle mit kontinuierlichem Planungshorizont entwickelt. Die deterministischen Modelle zur Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement werden in Abschnitt 3.1.2 weiter analysiert.

Im Gegensatz zu deterministischen Ansätzen nehmen stochastische Ansätze an, dass die Produkt-Nachfrage und die Menge an zurückgegebenen Produkten über den Planungshorizont unbekannt ist. Sie werden durch stochastische Prozesse abgebildet. Stochastische Modelle können weiter in Modelle mit periodischer, d.h. zu bestimmten Zeitpunkten, und

kontinuierlicher Überprüfung der Lagerbestände oder des Zustands der Produktion und Lager unterteilt werden.

Periodische Überprüfung findet in den stochastischen Modellen nach Simpson (1978)[160], Inderfurth (1997)[93], Kiesmüller und van der Laan (2001)[98], DeCroix et al. (2005)[32], DeCroix et al. (2009)[34] und Ahiska und King (2010)[1] statt. Stochastische Modelle mit kontinuierlicher Überprüfung werden in Heyman (1977)[87], Muckstadt und Isaac (1981)[128], van der Laan et al. (1999)[178], Aras et al. (2004)[7], Aras et al. (2006)[8], Vercraene et al. (2010)[181], Vercraene und Gayon (2013)[182], Vercraene et al. (2014)[183] und Gayon et al. (2017)[58] entwickelt.

Von der für diese Arbeit untersuchten Literatur zur Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement in CLSC wird nur in DeCroix et al. (2009)[34] eine Refabrikation auf Komponentenebene und Fertigung mit Produkten untersucht, die sich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung aus Komponenten unterscheiden. Die Produkte in [34] sind sogar kundenspezifisch. Allerdings ist der Ansatz in [34], wie alle oben genannten stochastischen Modelle, mathematisch zur Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells ungeeignet.

Das diskrete Standortplanungsmodell hat einen endlichen Planungshorizont und Entscheidungen werden zu diskreten Zeitpunkten im Planungshorizont getroffen. Dagegen beobachten die stochastischen Ansätze die stochastischen Prozesse über einen unendlichen Planungshorizont, sodass es möglich ist, mathematisch Handlungsstrategien zu bestimmen. Mit einem solchen Ansatz wird allerdings unterstellt, dass Produkt-Nachfrage und -rückgaben keinem PLZ folgen und es können keine Effekte durch einen endlichen Planungshorizont bei der CLSC-Planung berücksichtigt werden.

Allerdings hat der PLZ einen Einfluss auf den Erfolg von Refabrikation im CLSC, wie bereits oben vorgestellt. Daher werden in dieser Arbeit keine Unsicherheiten berücksichtigt, sondern der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Entwicklung von quantitativen Methoden, die die besonderen Planungsanforderungen von Refabrikation in einer CLSC in der quantitativen Planung erfassen. Dazu wird das diskrete Standortplanungsmodell schrittweise so weiterentwickelt, dass die besonderen Anforderungen mit einbezogen werden.

D.h. die Befriedigung von Nachfrage nach unterschiedlichen Produkten bzw. Produkti-

onsinput in Form von Komponenten durch die Montage extern beschaffter oder wieder-aufbereiteter Komponenten, die aus der Demontage unterschiedlicher Produktrückgaben resultieren, wird abgebildet. Dabei ist der Planungshorizont endlich, keine fertigen Produkte werden gelagert und die Standorte in der CLSC kapazitätsbeschränkt. Im Folgenden werden die quantitativen Planungsansätze vorgestellt, die in dieser Arbeit entwickelt werden.

Quantitative Planungsansätze dieser Arbeit

Da die bisherigen Ansätze zu Produktionsplanung mit Refabrikation nicht zur Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells genutzt werden können, wird in dieser Arbeit ein neuer, zur Erweiterung geeigneter Ansatz zur Produktionsplanung mit Refabrikation über einen diskreten endlichen Planungshorizont entwickelt. Dieser Ansatz basiert auf dem mathematischen Modell von Jayaraman (2006)[96], das zur Planung einer Handy-Refabrikation entwickelt wurde.

Im Gegensatz zu Jayaraman (2006)[96] wird in dieser Arbeit allerdings eine CLSC betrachtet, d.h. das mathematische Modell muss sowohl die Produktion als auch die Refabrikation abbilden, um das Produktionssystem der CLSC vollständig zu erfassen. In Abschnitt 3.1.2 wird die Produktion und Refabrikation des Kopiergeräteherstellers Xerox präsentiert. Diese Produktion und Refabrikation wird vereinfacht durch das Modell zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation (APPR-Modell) abgebildet, das im Anschluss in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt wird.

Die Abbildung der Produktion und Refabrikation des APPR-Modells wird in die Standortplanung für das CLSCN übernommen, sodass das „Facility Location Planning with Remanufacturing“ (FLPR)-Modell resultiert. Dieses neue Modell wird im Abschnitt 3.1.3 präsentiert und mit Beispieldaten basierend auf dem Kopiergerätehersteller gelöst.

Der Planungshorizont des FLPR-Modells besteht aus einer Planungsperiode, wie das Modell von Salema et al. (2007)[150]. Allerdings sollen strategische Entscheidungen für einen langfristigen Planungshorizont ökonomisch optimal sein und mögliche Veränderungen der Rahmenbedingungen über die Zeit mit berücksichtigen [124] [5].

In die strategische Planung einer SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen fließt die erwartete Produkt-Nachfrage und die Menge an zurückgegebenen Produkten ein, die sich im Planungszeitraum verändern kann, z.B. einem traditionellen PLZ folgend. Daher wird das FLPR-Modell um einen mehrperiodigen Planungshorizont zum „Facility Location Capacity Problem with Remanufacturing“ (FLCPR)-Modell erweitert. Dieser neuartige Planungsansatz wird im Abschnitt 3.2 vorgestellt.

Im FLCPR-Modell wird nun auch die Lagermenge gemeinsam mit Standorten, Transport-, Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen betrachtet. Die Berücksichtigung der Lagerhaltung in der Standortplanung wird in Abschnitt 3.2.1 diskutiert. Das FLCPR-Modell stellt eine Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells und des FLPR-Modells dar; es nimmt im Gegensatz zu diesen Modellen die Kapazität der Standorte nicht als gegeben und fix an, sondern bestimmt die Standort-Kapazität für jede Periode optimal. (In Abschnitt 2.2.2 wird die Annahme einer vorgegebenen Standort-Kapazität im diskreten Standortplanungsmodells kritisiert.)

In einer SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen ist eine Kapazitätsplanung maßgeblich für die Rentabilität; Guide (2000)[73] nennt fehlende geeignete Methoden zur Kapazitätsplanung als Ursache für den begrenzten Erfolg der Refabrikationsindustrie. Zu niedrige Kapazitäten können dazu führen, dass gebrauchte Produkte entsorgt anstatt wiederaufbereitet werden und damit mögliche Verkaufserlöse oder Kosteneinsparungen in der Beschaffung von Produktionsinput nicht generiert werden können, wie die Sensitivitätsanalysen des Modells von Salema et al. (2007)[150] und des FLPR-Modells zeigen.

Dagegen können Überinvestitionen in Kapazitäten zur Sammlung und Wiederaufbereitung der Produktrückgaben zu hohen Kosten führen, die nicht ausreichend durch die Erlöse vom Absatz wiederaufbereiteter Produktrückgaben oder Kosteneinsparungen in der Beschaffung durch Nutzung von Bestandteilen wiederaufbereiteter Produktrückgaben gedeckt werden können. Nach Georgiadis und Athanasiou (2013)[59] sind Überinvestitionen in Lagerkapazität und Maschinen ein spezielles Problem der CLSC-Kapazitätsplanung. Dies kann z.B. in CLSC der Kran- und der US Armee-Hubschrauberindustrie [17] bzw. [23] festgestellt werden. Schultmann et al. (2003)[156] untersuchen ein aus zu niedrigen Kapazitäten resultierendes strategisches Planungsproblem in einem Recycling-Netzwerk

für Batterien.

Besonders in der strategischen bzw. langfristigen Planung der CLSC muss die Kapazität berücksichtigt werden, da der Aufbau strategischer Kapazität, wie die Eröffnung von Standorten oder Erweiterung bestehender Standort-Kapazität, mit hohen Anschaffungskosten verbunden ist und die CLSC lange beeinflusst.

Eine Planung mit dem FLCPR-Modell verhindert Überkapazitäten, Standorte mit unterschiedlicher Kapazität zu den entsprechenden angepassten Kosten können eröffnet werden. Zudem wird in der Planung der Zusammenhang von Kapazitäten mit der Entscheidung zum Transport anstatt der Lagerung von Einheiten oder mit der Entscheidung zum Transport, um Kundennachfrage zu befriedigen, erfasst.

Außerdem kann mit dem mehrperiodigen Planungsansatz im FLCPR-Modell der Einfluss von zeitlichen Effekten, wie unterschiedliche Produktlebensdauern, Nutzungsdauern von Produkten durch Kunden und Nachfrage-Schwankungen, aber auch des Produkt-Designs auf den Erfolg von Refabrikation untersucht werden. Zudem kann mit dem FLCPR-Modell beobachtet werden, dass unter bestimmten Bedingungen Umverteilung, also der Transport zwischen Standorten einer Netzwerkebene, optimal ist.

Dekker et al. (2004)[35] heben die Bedeutung der Kapazitätsplanung in SC mit Produktrückflüssen hervor: Die Ausstattung der Produktion bzw. Wiederaufbereitung und der Personalbestand sollen sogar strategisch mit geplant werden. Besonders im Fall von Refabrikation, also einer arbeitsintensiven Wiederaufbereitungsform, die hohe operative Kosten verursachen kann [73], ist die Berücksichtigung von qualifiziertem Personal in Standorten bei der Planung bzw. der Entscheidung zur Refabrikation sinnvoll.

Allerdings wird im FLCPR-Modell die Kapazität der Standorte nur als Volumen erfasst bzw. nur strategische Kapazitätsplanung berücksichtigt; die Beschränkung der Bearbeitungsmengen in Standorten, also eine taktische Kapazität, wird vernachlässigt. Die taktische Kapazitätsplanung einer arbeitsintensiven Produktion kann mit einer Personalbestandsplanung erfasst werden, die in Hax und Meal (1973)[81] vorgestellt wird. Diese Personalbestandsplanung ist jedoch zu detailliert, um sie mit der CLSCN-Planung im FLCPR-Modell zu kombinieren. Daher wird sie nur vereinfacht übernommen.

D.h. das FLCPR-Modell wird um eine strategische Personalbestandsplanung zum „Faci-

lity Location Capacity Aggregate Production Planning Problem with Remanufacturing“ (FLCAPPR)-Modell weiterentwickelt. Dieses Modell wird bereits in Steinke und Fischer (2016b)[167]¹ vorgestellt; in Abschnitt 4.1 werden nur die Erweiterungen gegenüber dem FLCPR-Modell durch die Personalbestandsplanung präsentiert. In der Sensitivitätsanalyse zum Kopiergerätehersteller-Beispiel wird der Einfluss der Personalbestandsplanung, also von Bearbeitungszeiten, Lohnkosten und begrenzter Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal in Standorten auf die CLSCN-Planung diskutiert.

Die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung werden im FLCAPPR-Modell gemeinsam für einen strategischen Planungshorizont durchgeführt. Aber diese Planungen haben einen unterschiedlichen Planungshorizont. Das SCM bzw. CLSCM/RSCM ordnet die Produktions-, Transport- und Personalbestandsplanung der mittelfristigen bzw. taktischen anstatt strategischen Planungsebene zu. In Abschnitt 4.2 wird untersucht, ob die quantitative Modellierung zur CLSCN-Planung verbessert werden kann, wenn die Planungen mit ihrem jeweiligen Planungshorizont erfasst werden. Dafür wird das FLCAPPR-Modell um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte für die Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung zum „Two level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“ (FLCAPPTR2)-Modell erweitert.

Dieser neue Ansatz zur kombinierten Planung auf zwei Ebenen ermöglicht eine angemessene Abbildung des Entscheidungsproblems dieser Arbeit, insbesondere, da im untersuchten SC keine Lagerung von fertigen Produkten möglich ist. Die Entscheidungen bzgl. der CLSC kann besser als eine rein strategische Betrachtung, wie im FLCAPPR-Modell, quantitativ unterstützen, wie in Abschnitt 4.2.2 gezeigt wird. In der Sensitivitätsanalyse kann so ebenfalls der Einfluss saisonal schwankender Nachfrage auf den SC mit auftragsbezogener Fertigung untersucht werden.

Zunächst werden nun die Grundlagen der Standortplanung, insbesondere das diskrete Standortplanungsmodell vorgestellt, da die weiteren Modelle zur CLSCN-Planung, die in dieser Arbeit entwickelt werden, auf dieser Modellierung basieren.

¹Das FLCAPPR-Modell stellt eine Erweiterung des Modells präsentiert in Steinke und Fischer (2016a)[166] dar.

2.2 Grundlagen der Standortplanung

In dieser Arbeit wird sukzessive ein quantitativer Planungsansatz zur Unterstützung für folgende Entscheidungen in einem CLSCN entwickelt:

- Wo sollen welche Standorte mit welcher Kapazität eröffnet werden,
- wieviel soll für die offenen Standorte beschafft und in den offenen Standorten bearbeitet und gelagert werden und
- wieviel soll zwischen offenen Standorten und von Standorten zu Kunden transportiert werden?

Die Methoden, die diese Entscheidungen über einen strategischen Planungshorizont planen, werden unter dem Namen Standortplanung zusammengefasst. Sie unterstützen bei Entscheidungen über den Standort eines Objekts oder mehrerer Objekte, wie eines Betriebs in einem Netzwerk eines Unternehmens, der Funktionsbereiche innerhalb eines Betriebs oder eines Betriebs einer Industriebranche innerhalb eines Wirtschaftsgebiets. Nach der Planungssituation wird zwischen der betrieblichen, innerbetrieblichen und volkswirtschaftlichen Standortplanung unterschieden [36].

Das Planungsproblem in dieser Arbeit gehört zum Bereich der betrieblichen Standortplanung: Es sollen Standorte für die Produktion, Refabrikation, den Vertrieb und das Einsammeln von Gütern eines produzierenden Unternehmens bestimmt werden.

Standortplanungsansätze werden in deskriptive und normative Ansätze unterschieden. Deskriptive Ansätze beschreiben die Entscheidungsvorgänge bei der Standortplanung, dagegen geben normative Ansätze konkrete Vorgaben für gute bzw. optimale Standortentscheidungen [36]. In dieser Arbeit werden nur normative Ansätze zur Standortplanung berücksichtigt.

Die quantitativen Modelle der Standortplanung können nach unterschiedlichen Kriterien charakterisiert werden [134] [106]. Nach der Erfassung des Raums bzw. der Menge potentieller Standorte und der Distanzen zwischen den Standorten werden Modelle der Ebene, des Netzwerks und der diskreten Standortplanung bzw. der gemischt-ganzzahligen Optimierung unterschieden. Weiterhin beeinflussen die Ziele des Problems die Modellierung,

z.B. werden Distanzen im Netzwerk mit einer Minisum- oder die maximale Distanz mit einer Minimax-Zielfunktion minimiert. (Eine weiterführende Systematisierung findet sich in [106].)

Die Standortplanung in der Ebene nimmt an, dass Kunden auf einer homogenen Fläche in der Ebene liegen und Standorte in jedem Punkt auf dieser Ebene möglich sind [36]. In allgemeinen Netzwerk-Modellen können in jedem Knoten und auf den Kanten des Netzwerks Standorte positioniert werden.

In dieser Arbeit werden allerdings nur bestimmte Orte als Standorte für die Fertigung, Refabrikation, Verteilung und Einsammlung von Produkten in Betracht gezogen, da nicht jeder beliebige Ort über die benötigte Fläche und Infrastruktur verfügt. Potentielle Standorte können z.B. aus vorangegangenen Untersuchungen stammen. Daher sind die Standortplanung in der Ebene und allgemeine Netzwerk-Modelle durch ihre Erfassung potentieller Standorte für das Planungsproblem in dieser Arbeit ungeeignet.

Dagegen wird in diskreten Standortplanungsmodellen bzw. der gemischt-ganzzahligen Optimierung („Mixed Integer Linear Problem“ (MILP)) zur Standortplanung die Menge potentieller Standorte als Knoten im Netzwerk vorgegebenen, also wird nicht jeder Punkt im Netzwerk bei der Planung als potentieller Standort berücksichtigt. Daher wird dieser Ansatz auch diskrete (anstatt kontinuierliche) Standortplanung genannt und kann das Entscheidungsproblems dieser Arbeit abbilden.

Weiterhin ist das Ziel der Standortplanung dieser Arbeit die Minimierung der Gesamtkosten des Netzwerks, die die Kosten für den Transport von Einheiten zwischen allen offenen Standorten und den Kundenstandorten einschließen. Dabei sind die Transportkosten die mit Kosten gewichteten Distanzen zwischen allen offenen Standorten und den Kunden und die Distanz zwischen potentiellen Standorten und zwischen Standorten und Kunden stellt die jeweilige kürzeste Entfernung dar. Also hat das Entscheidungsproblem dieser Arbeit eine Minisum-Zielfunktion, die minimiert wird.

Das Ziel der diskreten Standortplanungsmodelle ist die Minimierung der Gesamtkosten, die sich aus den Kosten für die Standortwahl und den Transportkosten zusammensetzen, die für die Allokation der Nachfrage zu den offenen Standorten anfallen. Folglich kann das Planungsproblem dieser Arbeit als diskretes Standortplanungsmodell erfasst werden.

Das einfachste diskrete Standortplanungsmodell stellt das „Simple Plant Location Problem“ (SPLP) bzw. „Uncapacitated Facility Location Problem“ (UFLP) dar [106]. Dieser Planungsansatz wird nun genauer vorgestellt und danach kritisch diskutiert.

2.2.1 Das diskrete Standortplanungsproblem

Die mathematische Abbildung des diskreten Standortplanungsproblems stellt eine Erweiterung des klassischen Transportmodells nach Hitchcock (1941)[88] dar [12]. Das klassische Transportmodell hat das Ziel, die Kosten für den Transport von Gütern zwischen Angebots- bzw. Lieferorten und Kundenstandorten zu minimieren. Kundenstandorte ergeben sich aus der Bündelung von Nachfrage in Knoten im Netzwerk. In Standortplanungsmodellen sind die Angebots- bzw. Lieferorte zusätzlich zu den Transportmengen optimal festzulegen.

Baumol (1957)[12] stellt ein Optimierungsmodell zur Planung von Lieferorten bzw. Verteilzentren (VZ) und den Transportmengen zwischen (gegebenen) Angebotsorten bzw. Werken und VZ zu Kunden in einem Netzwerk mit gegebenen Angebotsmengen vor. Die Planung in [12] ist deterministisch, da die Transportkosten, die Distanzen im Netzwerk und die Nachfrage bekannt und gegeben sind.

Die VZ sollen aus einer vorgegebenen Menge potentieller VZ-Standorte so ausgewählt werden, dass die Kosten für den Gütertransport von Werken über VZ zu Kunden bzw. für die Zuordnung der Angebotsmenge zu den Kundenstandorten minimiert werden. Die Entscheidungsvariablen des Modells von [12] geben die Transportmengen an und die Standorte für VZ ergeben sich implizit aus den kosten-optimalen Transportwegen.

So werden allerdings fixe Kosten für Standorteröffnungen und für den Betrieb der Standorte vernachlässigt, die z.B. durch den Bau von Unternehmensstandorten oder Mieten anfallen. Echte Standortplanungsmodelle folgen einem gegenüber [12] erweiterten Modellierungsansatz, der zusätzlich zu den Transportkosten auch Kosten für Standorteröffnungen in die Planung mit einbezieht. Dieser Ansatz modelliert das Standortplanungsproblem als „Location/Allocation“-Modell. Zusätzlich zu Zuordnungs(„allocation“)-variablen, die die Transportmenge angeben, werden in diesem Modellierungsansatz Standorteröffnungen

durch binäre „location“-Variablen angezeigt.

Das SPLP und UFLP [106] sind „Location/Allocation“-Modelle. Von Akinc und Khumawala (1977)[4] wird eine Erweiterung des SPLP bzw. UFLP vorgestellt, das „Capacitated Warehouse Location Problem“(CWLP). Im Gegensatz zum SPLP und UFLP planen Akinc und Khumawala (1977)[4] kapazitierte anstatt unkapazitierte Standorte. Das CWLP wird nun vorgestellt, da die Standortplanungsmodelle, die in dieser Arbeit neu entwickelt werden, auf dieser Modellierung basieren.

Akinc und Khumawala (1977)[4] planen mit dem CWLP das einstufige Netzwerk, das in Abbildung 2.6 dargestellt ist. In diesem Netzwerk fließen homogene Produkte eines Typs von kapazitierten VZ zu Kunden, um deren Nachfrage zu befriedigen. Die VZ-Standorte und Transportmengen im Netzwerk sind unbekannt und sollen so bestimmt werden, dass die Nachfrage der Kunden befriedigt wird und die dadurch verursachten Kosten minimiert werden.

Alle für die Modellierung relevanten Definitionen werden in Tabelle 2.2 aufgeführt. Die Definitionen sind gegenüber Akinc und Khumawala (1977)[4] verändert; sie sind der Notation dieser Arbeit angepasst.

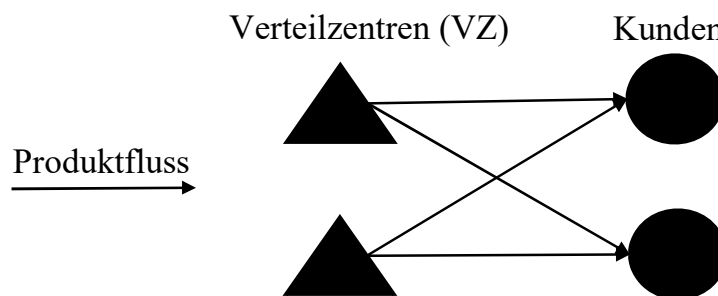


Abbildung 2.6: Einstufiges Netzwerk mit vorwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung)

Das CWLP ist ebenfalls ein „Location/Allocation“-Modell: Die Variablen $X^{vz,k}$ sind die sog. Zuordnungsvariablen und die Variablen Y^{vz} können als Standortvariablen bezeichnet werden. Die Zielfunktion des CWLP erfasst alle relevanten Kosten der Planung und wird nun vorgestellt.

Tabelle 2.2: Relevante Definitionen für das CWLP

Menge	Definition
K	Menge der fixen Kundenstandorte, $k \in K$
VZ	Menge der potentiellen Standorte für VZ, $vz \in VZ$
Variable	Definition
$X^{vz,k}$	Menge, die von VZ vz zu Kunde k transportiert wird, $\forall vz \in VZ, k \in K$
Y^{vz}	$\begin{cases} 1, & \text{wenn das VZ } vz \text{ eröffnet wird, } \forall vz \in VZ \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
Parameter	Definition
Cap_{vz}^O	Maximale Kapazität in VZ vz , $\forall vz \in VZ$
$c_{vz,k}$	Kosten für den Transport eines Produkts von VZ vz zu Kunde k (per km), $\forall vz \in VZ, k \in K$
f_{vz}	Kosten für die Eröffnung des VZ vz , $\forall vz \in VZ$
N_k	Nachfrage von Kunde k , $\forall k \in K$
$t_{vz,k}$	Distanz zwischen VZ vz zu Kunde k (in km), $\forall vz \in VZ, k \in K$

$$\min \sum_{vz \in VZ} f_{vz} \cdot Y^{vz} + \sum_{vz \in VZ, k \in K} c_{vz,k} \cdot t_{vz,k} \cdot X^{vz,k} \quad (2.1)$$

Die Zielfunktion besteht aus zwei Kostentermen: Der erste Term enthält die fixen Kosten, die durch VZ-Eröffnungen bzw. -Betrieb einmalig entstehen. Der zweite Term enthält die variablen Kosten des Entscheidungsproblems, die durch den Transport der nachgefragten Produkte von offenen VZ zu Kunden pro Produkt anfallen.

Das CWLP ist ein statisches Standortplanungsmodell, d.h. das Entscheidungsproblem wird über eine Planungsperiode betrachtet. Es gibt nur einen Entscheidungszeitpunkt und alle mit diesen Entscheidungen verbundenen Kosten, also Kosten verbunden mit Standorten und Transportkosten, werden in der Zielfunktion erfasst. Für eine sinnvolle Planung mit dem CWLP muss bei der Bestimmung der Kostenwerte auf einen gemeinsamen Periodenbezug geachtet werden, wie im folgenden Abschnitt diskutiert wird.

$$\sum_{vz \in VZ} X^{vz,k} = N_k \quad \forall k \in K \quad (2.2)$$

Die Nebenbedingungen (2.2) geben vor, dass die Nachfrage aller Kundenstandorte im Netzwerk durch Transportmengen von VZ befriedigt werden muss. Dabei können Kunden

von unterschiedlichen VZ beliefert werden.

$$\sum_{k \in K} X^{vz,k} \leq Cap_{vz}^O \cdot Y^{vz} \quad \forall vz \in VZ \quad (2.3)$$

Nur eine begrenzte Anzahl an Produkten kann von einem VZ zu Kunden fließen. Die Nebenbedingungen (2.3) sichern die Einhaltung der jeweiligen VZ-Kapazitätsgrenzen. Dabei müssen natürlich nur Kapazitäten an offenen VZ, angezeigt durch die jeweilige Standortvariable, berücksichtigt werden; aus geschlossenen VZ kann nicht geliefert werden.

$$X^{vz,k} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall k \in K, vz \in VZ \quad (2.4)$$

Die Nebenbedingungen (2.4) geben vor, dass Transportmengen zwischen VZ und Kunden ganzzahlig und positiv sein müssen.²

$$Y^{vz} \in \{0, 1\} \quad \forall vz \in VZ \quad (2.5)$$

Standortvariablen sind binäre Variablen, siehe Nebenbedingungen (2.5): Wenn ein VZ eröffnet werden soll, wird die zugehörige Variable Eins, sonst ist sie Null.

2.2.2 Kritik am diskreten Standortplanungsmodell

Die Entscheidungen bzgl. Standort-Eröffnungen und Transportmengen im Netzwerk werden im CWLP durch das Austauschverhältnis zwischen Eröffnungs- und Transportkosten und den vorgegebenen Standort-Kapazitäten bestimmt. Somit ist das CWLP zum Bestimmen der kosten-optimalen Struktur des Netzwerks „ein Problem der Wahl einer mehr dezentralisierten oder zentralisierten Struktur“ [106, S.19]. Für das CWLP bedeutet eine zentralisierte Netzwerk-Struktur, dass jede Nachfrage von einem VZ-Standort befriedigt wird. Dagegen fließen bei einer dezentralisierten Struktur Produkte von mehreren VZ-Standorten zu Nachfrage-Standorten.

²Im mathematischen Modell von Akinc und Khumawala (1977)[4] sind die Eigenschaften der Transportmengenvariablen $X^{vz,k}$ nicht definiert. In dieser Arbeit werden Produkte betrachtet, die nur als Ganzes nachgefragt und abgesetzt werden. Also sind nur ganzzahlige Variablenwerte für $X^{vz,k}$ sinnvoll.

Im CWLP müssen die Kapazitäten der VZ für die nachgefragte Menge an Produkten ausreichen, sonst ist das CWLP nicht lösbar. Wenn die Kapazität eines VZ zur Befriedigung der gesamten Nachfrage ausreicht, dann wird ein weiteres VZ nur eröffnet, wenn die Transportkostensparnisse durch geringere Entfernungen des zweiten VZ zu Kunden größer als die Eröffnungskosten des zweiten VZ sind.

Wenn die Kapazität eines VZ jedoch nicht ausreicht, sodass alle Nachfrage befriedigt wird, muss nach dem CWLP ein weiteres VZ eröffnet werden. Je niedriger die Kapazität eines einzelnen VZ ist, desto mehr VZ müssen eröffnet werden, damit die Nachfrage vollständig befriedigt wird. So wird im CWLP die Wahl zwischen einer zentralisierten und dezentralisierten Netzwerkstruktur durch VZ-Kapazitäten beeinflusst.

Allerdings werden Standort-Kapazitäten im CWLP und, grundsätzlich, im diskreten Standortplanungsmodell als Parameter vorgegeben [106, S.18]; sie werden also nicht gemeinsam mit den Standorteröffnungen und Transportmengen optimal bestimmt. Weiterhin sind in diskreten Standortplanungsmodellen die Kosten verbunden mit Standorten, wie Standort-Eröffnungskosten, unabhängig von der jeweiligen Kapazität [106, S.19]; Kosten für Standort-Kapazitäten werden vernachlässigt.

So können in einem Netzwerk, das durch das CWLP bzw. diskrete Standortplanungsmodell geplant wird, Überkapazitäten vorliegen. D.h. die Standort-Kapazität wird nicht der Transportmenge angepasst. Diese Überkapazitäten liegen z.B. in der Lösung des diskreten Standortplanungsmodells von Salema et al. (2007)[150] vor, wie im Folgenden in Abschnitt 2.3.2 gezeigt wird. Überkapazitäten sind ein Problem für erfolgreiche Refabrikation, wie bereits in Abschnitt 2.1.2 diskutiert.

Daher sollte Standort-Kapazität gemeinsam mit Standorteröffnungen und Transportmengen optimal in einem diskreten Standortplanungsmodell für eine CLSC mit Refabrikation bestimmt werden. In Abschnitt 3.2 wird demzufolge die diskrete Standortplanung um Kapazitätsplanung erweitert.

2.2.3 Kritik an Supply Chain Planung mittels diskretem Standortplanungsmodell

Im CWLP werden bei der Planung nur Kosten berücksichtigt, wie im Transportmodell. Allerdings soll das CWLP bzw. das diskrete Standortplanungsmodell im Gegensatz zum Transportmodell genutzt werden, um Netzwerke ganzer SC optimal zu planen. Dabei wird angenommen, dass die Planung zentral von einem Entscheidungsträger, z.B. einem produzierenden Unternehmen, durchgeführt wird. Dieser Entscheider folgt bei einer Planung mit dem CWLP dem ökonomischen Prinzip bzw. Rationalprinzip: Das Ziel, die Befriedigung der Nachfrage, wird mit Hilfe der Kostenminimierung mit dem geringsten Mitteleinsatz erreicht (Minimalprinzip)[129, S.4].

Allerdings betrachtet dieser Ansatz nur die Kosten für Standort-Eröffnungen und Transportmengen und vernachlässigt den Absatz der Güter und die daraus resultierenden Erlöse. So kann diese Planung zu einem Netzwerk führen, das für den Entscheidungsträger ökonomisch nicht sinnvoll ist. D.h. die Erlöse durch den Absatz der erstellten Güter, also aus Befriedigung von Kunden-Nachfrage, übersteigen die mit der Befriedigung von Nachfrage verbundenen Kosten nicht.

In Abschnitt 2.3.2 wird ein diskretes Standortplanungsmodell, das Modell von Salema et al. (2007)[150] vorgestellt, das durch die Berücksichtigung von sog. Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage in der Zielfunktion Nachfrage-Erlöse in die Planung mit einbezieht. Diese Strafkosten werden in Abschnitt 2.3.3 kritisch diskutiert. In den Standortplanungsmodellen, die in Kapitel 3 und 4 neu entwickelt werden, werden Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage berücksichtigt, um ökonomisch sinnvolle Netzwerke zu planen.

Desweiteren wird durch die gemeinsame Planung von Standorteröffnungen und Transporten im CWLP bzw. des statischen diskreten Standortplanungsmodells unterstellt, dass die Entscheidungen über Standorte und Transportmengen der gleichen Planungsebene angehören, also zu gemeinsamen Entscheidungszeitpunkten bestimmt werden können. Daraus folgt für die Lösung des diskreten Standortplanungsmodells, dass die Kosten verbunden mit Standorteröffnungen und Transporten den gleichen Zeitbezug haben müssen.

Oftmals wird bei der Anwendung des statischen diskreten Standortplanungsmodells zur

SC-Planung darauf nicht geachtet. Dann umfassen die fixen einmaligen Kosten für die Standorteröffnung alle relevanten Kosten in Bezug auf die Errichtung eines Standorts anstatt auf eine Periode umgerechnete Kosten und sind im Vergleich zu den variablen, mengenabhängigen Transportkosten sehr hoch. Dann dominieren die Eröffnungskosten für Standorte die Wahl der Netzwerk-Struktur; daraus folgt, dass eine zentralisierte Netzwerk-Struktur kosten-optimal ist.

In dieser Arbeit soll der CLSC eines Kopiergeräteherstellers geplant werden. Dafür werden Daten von Fleischmann et al. (2001)[52] übernommen, die in Abschnitt 2.3.2 kritisch diskutiert werden. Die Kosten für Standorteröffnungen und Transporte nach [52] zeigen das oben genannte ungünstige Verhältnis zueinander auf, also die Eröffnungskosten sind deutlich höher als die Transportkosten. Die Lösungen des diskreten Standortplanungsmodells in [52] und [55] mit diesen Kostenwerten führen zu kosten-optimalen Netzwerken mit einzelnen offenen Standorten.

In Steinke und Fischer (2016a)[166] werden die Standort-Eröffnungskosten aus [52] zu periodenbezogenen Fixkosten für Standorteröffnungen und mit einem mehrperiodigen diskreten Standortplanungsmodell wird der Einfluss des Planungshorizonts auf die Netzwerk-Gestaltung festgestellt. Die Lösungen in [166] geben vor, dass möglichst einzelne Standorte zur Befriedigung der Nachfrage eröffnet werden sollen. D.h. eine zentralisierte Netzwerkstruktur bleibt optimal, wie bei einer einperiodigen Betrachtung in [52].

Daher werden die Modelle in dieser Arbeit mit den (originären) Daten von Fleischmann et al. (2001)[52] gelöst und das diskrete Standortplanungsmodell wird in dieser Arbeit weiterentwickelt. Durch die Weiterentwicklungen enthält die Zielfunktion weitere planungsrelevante Kostenparameter und die Kostenerfassung sowie Planung wird verbessert. Dabei wird folgenderweise vorgegangen.

Zunächst wird in Abschnitt 2.3.2 gezeigt, dass eine gemeinsame Planung von Standorten und Transporten im CLSC in einem Modell notwendig ist und in den folgenden Kapiteln wird untersucht, wie diese gemeinsame Planung durch eine differenziertere mathematische Abbildung des Problems verbessert wird. Dementsprechend wird das diskrete Standortplanungsmodell schrittweise um für die Planung relevante Aspekte erweitert; daraufhin enthält die Zielfunktion zusätzliche Kostenparameter zu den Kosten verbunden mit Stand-

orten und Transporten und durch die Erweiterungen kann es zur SC-Planung eines produzierenden Unternehmens genutzt werden. Nun werden die planungsrelevanten Aspekte vorgestellt, die bisher in der Modellierung nicht berücksichtigt werden.

In dieser Arbeit soll die SC eines produzierenden Unternehmens geplant werden, aber das CWLP und grundsätzlich das diskrete Standortplanungsmodell plant nur Transportmengen und keine Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen. So werden nur Kosten für den Gütertransport und keine Kosten für die Beschaffung und Bearbeitung bzw. Gütererstellung und Refabrikation in die Planung miteinbezogen. Daher wird in Abschnitt 3.1 das diskrete Standortplanungsmodell um Produktionsplanung mit Refabrikation zum FLPR-Modell weiterentwickelt.

Das CWLP ist ein statisches Modell, d.h. die Planung berücksichtigt nur eine Periode. Allerdings können sich Planungsbedingungen über den Planungshorizont verändern, z.B. die Nachfrage nach Produkten kann schwanken, wie durch den PLZ in Abschnitt 2.1.2 beschrieben. Solche Schwankungen können nur durch einen mehrperiodigen Planungsansatz berücksichtigt werden. Daher wird das diskrete Standortplanungsmodell in Abschnitt 3.2 zusätzlich zur Kapazitätsplanung auch um einen mehrperiodigen Planungshorizont zum FLCPR-Modell erweitert. Bei der Planung wird erfasst, dass Nachfrage durch wiederholte Transporte von einem offenen Standort befriedigt werden kann.

Außerdem werden im diskreten Standortplanungsmodell nur Standort-Kapazitäten in der Planung berücksichtigt, die die Transportmengen beschränken. D.h. eine Kapazität in Maschinen- oder Arbeitsstunden, die Bearbeitungsmengen in Standorten limitiert, wird vernachlässigt. Mit Blick auf den Fachkräftemangel, der in manchen Branchen und Regionen vorliegt [20], muss die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal bei der Standortwahl eines Unternehmens mit arbeitsintensiver Fertigung miteinbezogen werden. Daher wird in dieser Arbeit in Abschnitt 4.1 das FLCPR-Modell um Personalbestandsplanung zum FLCAPPR-Modell erweitert. Zudem wird so der Zusammenhang zwischen der Entscheidung zur Bearbeitung, Transport oder Lagerung von Einheiten mit dem Bedarf an Kapazitäten im Standort erfasst.

Das SCM ordnet Entscheidungen über Standorte und Transportmengen unterschiedlichen Ebenen zu: Entscheidungen über Standorte werden der strategischen und Entscheidungen

über Transporte der taktischen Ebene zugewiesen, wie bereits in Abschnitt 2.1.2 erläutert wurde. D.h. Transportmengen können mittelfristig verändert werden, da sie wiederholt innerhalb einer langfristigen Periode stattfinden. Dagegen ist die Eröffnung von Standorten zeitaufwendiger und eine langfristige Entscheidung. Zudem wird in dieser Arbeit eine auftragsbezogene Fertigung betrachtet, also fertige Produkte werden ohne Lagerung zu Kunden transportiert werden.

Da es im CWLP nur einen Entscheidungszeitpunkt gibt und im FLCAPPR-Modell nur gemeinsame Entscheidungszeitpunkte gibt, werden diese Zusammenhänge bei der Planung nicht erfasst. Daher wird in Kapitel 4 das FLCAPPR-Modell um eine weitere, mittelfristige Planungsebene, die der strategischen Planungsebene untergeordnet ist, zum FLCAPPRTR2-Modell erweitert.

Weiterhin dient das CWLP bzw. diskrete Standortplanungsmodell der Planung eines traditionellen SC-Netzwerks, also nur mit vorwärtsgerichteten Produktflüssen. In dieser Arbeit wird allerdings ein CLSCN betrachtet, also ein Netzwerk mit sowohl vor- als auch rückwärtsgerichteten Güterflüssen. Die Planungsanforderungen zwischen diesen und traditionellen Netzwerken unterscheiden sich, wie bereits in den obigen Abschnitt 2.1.1 - 2.1.3 diskutiert. Daher muss es für ein CLSCN eigene Planungsansätze geben.

Im Folgenden werden bisherige Ansätze zur Planung von CLSC-Netzwerken und ein mathematisches Modell zur diskreten Standortplanung von kapazitierten Standorten im Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen aus der Literatur vorgestellt.

2.3 Standortplanungsproblem in Closed-Loop Supply Chains

In Abschnitt 2.2.1 wurde das diskrete Standortplanungsmodell für ein einstufiges Netzwerk mit nur vorwärtsgerichteten Produktflüssen eingeführt. Nun wird es genutzt, um ein CLSC-Netzwerk (CLSCN) mathematisch abzubilden. Zunächst werden in Abschnitt 2.3.1

bisherige Ansätze aus der Literatur zur Planung von Standorten in einem CLSCN präsentiert. Dann wird in Abschnitt 2.3.2 das diskrete Standortplanungsmodell von Salema et al. (2007)[150] zur Planung eines CLSCN vorgestellt.

Dieses Modell stellt eine Erweiterung gegenüber dem CWLP dar, da es rückwärtsgerichtete Produktflüsse und Strafkosten, die die entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage erfassen, in die Planung miteinbezieht; die Bedeutung und Wirkung von Strafkosten wird in Abschnitt 2.3.3 erläutert. Dann wird das Modell für ein Beispiel aus der Literatur gelöst. In Abschnitt 2.3.4 werden die Ergebnisse zusammengefasst und die Notwendigkeit von Erweiterungen des diskreten Standortplanungsmodells zur CLSC-Planung wird diskutiert.

2.3.1 Literatur zur diskreten Standortplanung im Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen

Marin und Pelegrin (1998)[123] entwickeln das „Return Plant Location Problem“ (RPLP), das diskrete Standortplanungsmodell für ein einstufiges Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen, das in Abbildung 2.7 dargestellt ist.

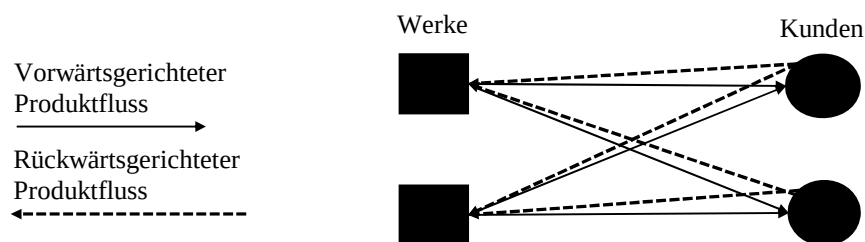


Abbildung 2.7: Einstufiges Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach Marin und Pelegrin (1998)[123])

In diesem Netzwerk wird die Kundennachfrage durch Produkte von unkapazitierten Werk-Standorten befriedigt. Außerdem können Kunden ihre Produkte in Werken zurückgeben und diese fließen dann wieder an Kunden. D.h. zusätzlich zum vorwärtsgerichteten Produktfluss gibt es nun auch einen rückwärtsgerichteten Produktfluss im Netzwerk. Das RPLP minimiert die Kosten für Werkeröffnungen und für den Transport von Produkten

vorwärts von Werken zu Kunden und rückwärts von Kunden zu Werken.

SC-Netzwerke bestehen oft aus mehr als nur einem Standorttyp bzw. mehreren Netzwerkebenen. Die Abbildung 2.8 zeigt das dreistufige Netzwerk einer SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen. Fleischmann et al. (2001)[52], Fleischmann et al. (2004)[55] und Salema et al. (2007)[150] haben solche Netzwerke bei Unternehmen im Bereich des Papierrecyclings, der Kopiergeräteherstellung und von Bürodokumenten festgestellt.

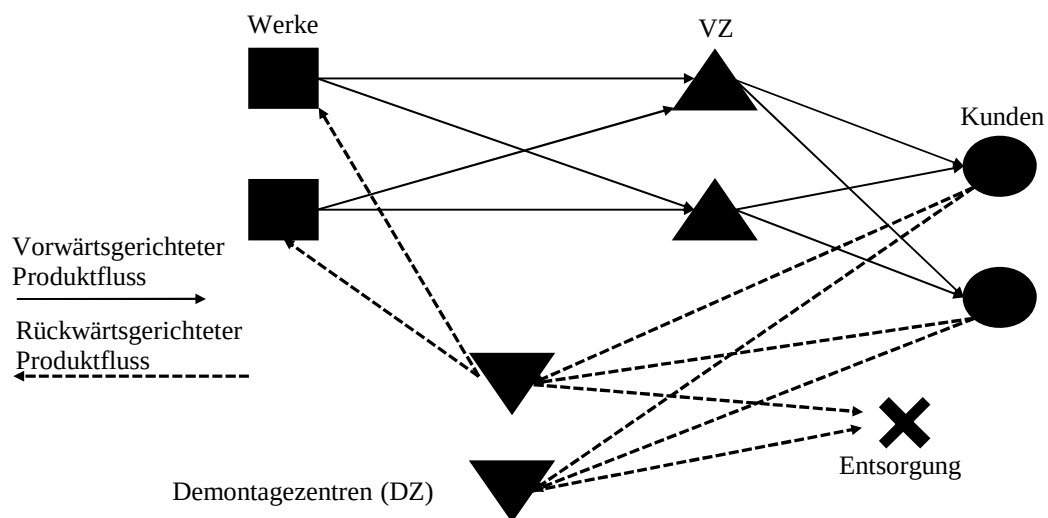


Abbildung 2.8: Dreistufiges Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen (Eigene Darstellung nach Salema et al. (2007)[150])

In diesem Netzwerk müssen drei unterschiedliche Typen von Standorten geplant werden: Werke, VZ und Standorte, in denen gebrauchte Produkte gesammelt und wiederaufbereitet werden; sie werden in [52] [55] Testzentren und in [150] Demontagezentren (DZ) genannt. Fleischmann et al. (2001)[52], Fleischmann et al. (2004)[55] und Salema et al. (2007)[150] haben mathematische Modelle zur optimalen Planung der kapazitierten Standorte und der Transportmengen entwickelt, die dem Ansatz des CWLP folgen.

Dabei werden in diesen Modellen nach [52], [55] und [150] nicht nur die (tatsächlichen) Kosten durch Standorteröffnungen und den Produkttransport, sondern auch sogenannte (fiktive) Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage berücksichtigt, die im folgenden Abschnitt erklärt werden. Das Modell von Salema et al. (2007)[150] stellt eine Erweiterung der Modelle von [52] und [55] dar. In [150] werden im Gegensatz zu [52] und [55] mehre-

re unterschiedliche Produkte und zusätzlich zu oberen auch untere Kapazitätsgrenzen in Standorten berücksichtigt. Dieses Modell wird nun vorgestellt.

2.3.2 Mathematisches Modell zur Planung von kapazitierten Standorten im Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen

Salema et al. (2007)[150] haben das Standortplanungsproblem eines Unternehmens im Bereich der Bürodokumente, das im spanischen Markt tätig ist, untersucht. Dabei wird angenommen, dass alle zu planenden Standorte einem Unternehmen angehören. Die entsprechende CLSC ist durch das Netzwerk in Abbildung 2.8 erfasst.

In diesem Netzwerk fließen Produkte vorwärts von Werk-Standorten über VZ zu Kunden und rückwärts von Kunden über DZ zu Werk-Standorten, von denen sie wieder vorwärts über VZ zu Kunden gelangen, oder sie werden entsorgt. Das Modell von Salema et al. (2007)[150] wird in der Notation, die in dieser Arbeit verwendet wird, präsentiert.

Alle für das Entscheidungsproblem zusätzlich zum CWLP relevanten Definitionen sind in den Tabellen 2.3 - 2.4 aufgelistet. Das mathematische Modell von Salema et al. (2007)[150] ist ein diskretes Standortplanungsmodell: Werke, VZ und DZ können aus einer entsprechenden Menge von möglichen Standorten ausgewählt werden. Die Kundenstandorte im Netzwerk sind gegeben und fix.

Tabelle 2.3: Relevante Definitionen für Modell von Salema et al. (2007)[150]³

Menge	Definition
FD	Menge der potentiellen Werke, $f \in F$ und der Entsorgungsstandort D
P	Menge der Produkte, $p \in P$
DZ	Menge der potentiellen Standorte für Demontagezentren, $dz \in DZ$
Parameter	Definition
Cap_y^O	Maximale Kapazität in Standort y , $\forall y \in F \cup DZ \cup VZ$
Cap_y^U	Minimale Kapazität in Standort y , $\forall y \in F \cup DZ \cup VZ$

³Zusätzliche Definitionen zu Tabelle 2.2

Tabelle 2.4: Relevante Definitionen für Modell von Salema et al. (2007)[150], fortführend

Parameter	Definition
$c_{f,vz,k}$	Kosten für den Transport eines Produkts von Werk f über VZ vz zu Kunde k (per km), $\forall f \in F, vz \in VZ, k \in K$
$c_{k,dz,f}$	Kosten für den Transport eines Produkts von Kunde k über DZ dz zu Werk f (per km), $\forall k \in K, dz \in DZ, f \in F$
$c_{k,dz,D}$	Kosten für den Transport eines Produkts von Kunde k über DZ dz zur Entsorgungseinheit D (per km), $\forall k \in K, dz \in DZ$
c_k^W	Strafkosten für ein nicht eingesammeltes Produkt von Kunde k , $\forall k \in K$
c_k^U	Strafkosten pro Einheit unbefriedigter Nachfrage von Kunde k , $\forall k \in K$
f_y	Kosten für die Eröffnung des Standorts y , $\forall y \in F \cup DZ \cup VZ$
md^p	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der mindestens zu entsorgen ist
RG_{kp}	Rückgabemenge von Kunde k für Produkt p , $\forall k \in K, p \in P$
N_{kp}	Nachfrage von Kunde k für Produkt p , $\forall k \in K, p \in P$
t_{ywk}	Distanz zwischen Standort y über Standort w zu Kunde k (in km), $\forall y, w, k \in FD, VZ, K, DZ : y \neq w$
t_{kwy}	Distanz zwischen Kunde k über Standort w zu Standort y (in km), $\forall y, w, k \in FD, VZ, K, DZ : y \neq w$
Variable	Definition
$\hat{U}_p^k$	Anteil an Nachfrage nach Produkt p von Kunde k , der unbefriedigt bleibt, $\forall k \in K, p \in P$
W_p^k	Anteil an Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k , der nicht eingesammelt wird, $\forall k \in K$
Variable	Definition
$X_p^{f,vz,k}$	Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert von Werk f über VZ vz zu Kunde k , $\forall p \in P, f \in F, vz \in VZ, k \in K$
$X_p^{k,dz,f}$	Anteil an der Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k transportiert über DZ dz zu Werk f oder zum Entsorgungsstandort D, $\forall p \in P, k \in K, dz \in DZ, f \in FD$,
Y^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ eröffnet wird, } \forall y \in F \cup DZ \cup VZ \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$

Während in Akinc und Khumawala (1977)[4], Marin und Pelegrin (1998)[123], Fleischmann et al. (2001)[52] und Fleischmann et al. (2004)[55] der Produktfluss homogen ist, werden hier unterschiedliche Produkte betrachtet, also ist der Produktfluss heterogen und eine Menge an Produkten muss definiert werden, siehe Tabelle 2.3.

Das mathematische Modell ist deterministisch, d.h. alle Parameter sind bekannt und ein-

deutig festgelegt. Im Unterschied zur Planung einer traditionellen SC, wie im CWLP, muss für die Planung eines CLSCN nicht nur die Produkt-Nachfrage, sondern auch die Rückgabemenge an Produkten vorgegeben werden; in Salema et al. (2007)[150] wird die Menge an zurückgegebenen Produkten als Parameter vorgegeben.

Weiterhin ist es im Gegensatz zum CWLP im Modell von Salema et al. (2007)[150] möglich, dass die Nachfrage der Kunden nicht vollständig befriedigt wird. Unbefriedigte Nachfrage kann nicht zurückgestellt werden, sondern ist verloren. Dadurch geht auch der Erlös dieser Nachfrage verloren. Dieser entgangene Erlös wird in der Planung durch sog. Strafkosten erfasst; die unbefriedigte Nachfrage geht gewichtet mit Strafkosten in die Zielfunktion ein.

Strafkosten sind fiktive Kosten, d.h. sie fallen nicht wirklich an, sondern werden bei der Planung angenommen und stehen z.B. für den Preis des nachgefragten Produkts. So können trotz des Ziels der Kostenminimierung Erlöse in der Planung berücksichtigt werden und festgestellt werden, unter welchen Preisen am Markt bzw. bei welcher Zahlungsbereitschaft von Kunden die Befriedigung von deren Nachfrage ökonomisch sinnvoll ist. Die Bedeutung der Strafkosten in der Modellierung wird im Anschluss an das Modell diskutiert.

Da nach Salema et al. (2007)[150] keine gesetzlichen Vorgaben zur Rücknahme von Produkten vorliegen, müssen nicht alle Produktrückgaben eingesammelt werden. So gehen aber auch mögliche Kosteneinsparungen durch die Befriedigung von Nachfrage durch wiederaufbereitete anstatt neu hergestellte Produkte verloren. Um diese entgangenen Erlöse bzw. Kosteneinsparungen oder auch den Wert des zurückgegebenen Produkts in der Planung zu berücksichtigen, werden in [150] auch Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben berücksichtigt.

Das Ziel der Planung ist die Minimierung der Gesamtkosten; sie lauten:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{dz \in DZ} f_{dz} \cdot Y^{dz} + \sum_{vz \in VZ} f_{vz} \cdot Y^{vz} + \sum_{f \in F} f_f \cdot Y^f \\ & + \sum_{f \in F, vz \in VZ, k \in K} c_{f,vz,k} \cdot t_{f,vz,k} \cdot \sum_{p \in P} \left(N_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k} \right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{p \in P, k \in K, dz \in DZ, f \in FD} c_{k,dz,f} \cdot t_{k,dz,f} \cdot \sum_{p \in P} \left(RG_{kp} \cdot X_p^{k,dz,f} \right) \\
& + \sum_{k \in K, p \in P} c_k^W \cdot N_{kp} \cdot W_p^k \\
& + \sum_{k \in K, p \in P} c_k^U \cdot RG_{kp} \cdot \hat{U}_p^k
\end{aligned}$$

Die Zielfunktion des Standortplanungsmodells nach Salema et al. (2007)[150] minimiert die gesamten Kosten des Netzwerks. Wie im CWLP sind die Kosten verbunden mit Standorten fix; die Eröffnungskosten für DZ, VZ und Werke stehen in der ersten Zeile. Die (mengen-)variablen Kosten stehen in Zeile 2 - 5.

Im Gegensatz zum CWLP geben die Zuordnungsvariablen nicht die Produktmengen an, sondern nur Anteile an Nachfrage und Rückgabemengen. D.h. sie nehmen nur Werte zwischen 0 und 1 an und werden erst durch die Multiplikation mit der Nachfrage bzw. Rückgabemenge zu Mengen in Produkteinheiten. Die Transportkosten der vorwärtsgerichteten Produktflüsse sind in Zeile 2 angegeben.

Im Gegensatz zum CWLP fließen nun auch Produktrückgaben im Netzwerk. Die Transportkosten für rückwärtsgerichtete Produktflüsse stehen in Zeile 3. Nicht alle Rückgaben sind wiederverwertbar, sondern manche müssen entsorgt werden; die zugehörigen Kosten für die Entsorgung werden ebenfalls durch die Kostenterme in Zeile 3 erfasst.

Erweiterungen gegenüber dem CWLP sind zudem die Kosten in Zeile 4 und 5. Nun kann Nachfrage unbefriedigt bleiben und Produktrückgaben nicht eingesammelt werden. Dadurch werden Strafkosten verursacht, die durch die Terme in Zeile 4 und 5 erfasst werden. Die Nebenbedingungen, unter denen die Minimierung der Zielfunktion stattfindet, werden im Folgenden vorgestellt.

$$\sum_{f \in F, vz \in VZ} X_p^{f,vz,k} + \hat{U}_p^k = 1 \quad \forall k \in K, p \in P \quad (2.7)$$

Produkte fließen von Werken über VZ zu Kunden, um Nachfrage zu befriedigen. Der Anteil der Nachfrage, der nicht erfüllt wird, wird $\hat{U}_p^k$ zugeordnet; die Summe aus dem Anteil der befriedigten und unbefriedigten Nachfrage muss für jeden Kunden und jedes Produkt 1 ergeben.

Die rückwärtsgerichteten Produktflüsse im Netzwerk werden durch die Nebenbedingungen (2.8) - (2.9) abgebildet.

$$\sum_{dz \in DZ} \left(\sum_{f \in F} X_p^{k,dz,f} + X_p^{k,dz,D} \right) + W_p^k = 1 \quad \forall k \in K, p \in P \quad (2.8)$$

Die Nebenbedingungen (2.8) geben vor, dass Produktrückgaben eingesammelt und entweder zu Werken oder zur Entsorgungseinheit D transportiert werden oder nicht; der Anteil nicht eingesammelter Rückgaben wird durch W_p^k erfasst.

$$\begin{aligned} md^p \cdot \sum_{f \in F} X_p^{k,dz,f} &\leq X_p^{k,dz,D} \quad \forall k \in K, dz \in DZ, p \in P \\ md^p \cdot (Y^{dz} - W_p^k) &\leq X_p^{k,dz,D} \quad \forall k \in K, dz \in DZ, p \in P \end{aligned} \quad (2.9)$$

In Salema et al. (2007)[150] wird angenommen, dass der Anteil an zurückgegebenen, gebrauchten Produkten, der mindestens entsorgt werden muss, bekannt ist, z.B. aus Erfahrungswerten oder empirischen Daten. Diese vereinfachende Annahme wird üblicherweise in Standortplanungsmodellen für SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen getroffen, wie z.B. ebenfalls in [123][52][55] und wird in den Modellen übernommen, die neu in dieser Arbeit in Kapitel 3 und 4 entwickelt werden.

Im Modell von Salema et al. (2007)[150] ist die obere Variante der Nebenbedingungen zu finden. Sie definiert den Anteil an zu entsorgenden zurückgegebenen Produkten als Anteil am Anteil der Rückgabemenge, die von Kunden über DZ zu Werken fließt. Allerdings ist der Entsorgungsanteil an der eingesammelten Rückgabemenge ein Anteil an der gesamten eingesammelten Rückgabemenge. Daher wird der Entsorgungsanteil an der eingesammelten Rückgabemenge in dieser Arbeit durch die Nebenbedingungen (2.9) bestimmt. Die Unterschiede zwischen den beiden Varianten werden nun weiter erläutert.

Falls alle Produkt-Rückgaben eingesammelt werden, also $W_p^k = 0$, und Rückführung ökonomisch sinnvoll ist, dann ist $Y^{dz} = 1$ für mindestens ein DZ und die Entsorgungsmenge nach den Nebenbedingungen (2.9) ist dann $md^p \leq X_p^{k,dz,D}$.

Nach der (oberen) Variante der Nebenbedingungen im Modell von Salema et al. (2007)[150] ist $md^p \cdot \sum_{f \in F} X_p^{k,dz,f} \leq X_p^{k,dz,D}$. Da $0 \leq X_p^{k,dz,f} \leq 1$, wie unten von den Nebenbedingun-

gen (2.17) vorgegeben wird, wird so der vorgegebene Entsorgungsanteil md^p im Modell von Salema et al. (2007)[150] durch die Multiplikation mit $\sum_{f \in F} X_p^{k,dz,f}$ verringert.

Weiterhin hängen die Flüsse an eingesammelten Produktrückgaben, die zu Werken oder zur Entsorgungseinheit D transportiert werden, durch die Nebenbedingungen (2.8) zusammen: Bei $W_p^k = 0$ geben die Nebenbedingungen (2.8) vor, dass $\sum_{dz \in DZ} \left(\sum_{f \in F} X_p^{k,dz,f} + X_p^{k,dz,D} \right) = 1$ ist. So führt der zu niedrige Entsorgungsanteil nach den Nebenbedingungen von Salema et al. (2007)[150] zu einem zu hohen Anteil an eingesammelten Produktrückgaben, der zu Werken transportiert wird.

Daher werden in dieser Arbeit die Nebenbedingungen (2.9) zur Bestimmung des Entsorgungsanteils genutzt; diese Nebenbedingungen werden nun weiter erklärt. Wenn z.B. 40% der Rückgabemenge nicht eingesammelt werden, also $W_p^k = 0,4$ und Rückführung ökonomisch sinnvoll ist, d.h. mindestens ein DZ wird eröffnet und $Y^{dz} = 1$, dann geben die Nebenbedingungen (2.9) vor, dass die Mindest-Entsorgungsmenge $md^p \cdot 0,6 \leq X_p^{k,dz,D}$ ist. Also wird der Anteil md^p von den 60% der Rückgaben entsorgt, die eingesammelt wurden.

Falls keine Rückgaben eingesammelt werden, ist $W_p^k = 1$ und kein DZ wird eröffnet, also $Y^{dz} = 0$, dann werden die Nebenbedingungen (2.9) zu $-md^p \leq X_p^{k,dz,D}$. Da die Entsorgung mit Kosten verbunden ist und das Ziel der Optimierung Kostenminimierung ist und unten von den Nebenbedingungen (2.17) vorgegeben wird, dass $0 \leq X_p^{k,dz,D} \leq 1$ ist, folgt daraus, dass die Entsorgungsmenge Null ist, wenn keine Rückgaben eingesammelt werden.

$$\sum_{k \in K, dz \in DZ} RG_{kp} \cdot X_p^{k,dz,f} \leq \sum_{k \in K, vz \in VZ} N_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k} \quad \forall f \in F, p \in P \quad (2.10)$$

Eingesammelte zurückgegebene Produkte, die von Kunden über DZ zu Werken fließen, werden genutzt, um Nachfrage zu befriedigen, d.h. sie fließen von Werken zu Kunden. Die Nebenbedingungen (2.10) geben diesen Zusammenhang wieder. Weiterhin sichern diese Nebenbedingungen, dass nie mehr eingesammelte zurückgegebene Produkte von Kunden über DZ zum Werk fließen, als von Kunden nachgefragt werden.

Dieses Standortplanungsmodell ist statisch, d.h. nur eine Planungsperiode wird betrachtet; in dieser Periode liegen sowohl Rückgaben von Produkten und Nachfrage nach Pro-

dukten vor. Diese Annahme kann sinnvoll sein, da z.B. Rückgaben von Produktverkäufen in vorherigen Perioden vorliegen. Zudem ist die Periode so lang oder die Nutzung der Produkte durch Kunden so kurz, dass in dieser Periode verkaufte Produkte auch wieder zurückgegeben werden.

Die Standort-Kapazitäten, angegeben in Produkteinheiten, begrenzen die Flussmenge durch Standorte. Diese Flussmenge ist heterogen; d.h. es werden mehrere unterschiedliche Produkte berücksichtigt. Salema et al. (2007)[150] präsentieren zwei unterschiedliche Varianten, wie im Fall von unterschiedlichen Produkten Kapazitätsbeschränkungen modelliert werden können: Entweder ist die Kapazität pro Produkttyp oder pro Standort begrenzt, d.h. die Kapazität wird gemeinschaftlich für alle Produkttypen angegeben und beschränkt die Summe über alle Produkte.

In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Kapazität unabhängig vom Produkttyp ist, also die Summe über alle Produkte kapazitiert ist; diese Kapazitätsrestriktionen werden im Folgenden aufgeführt.

$$\sum_{p \in P, k \in K, vz \in VZ} N_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k} \leq Cap_f^O \cdot Y^f \quad \forall f \in F \quad (2.11)$$

Die Menge an Produkten, die von einem offenen Werk über VZ zu Kunden fließt, wird durch die obere Kapazitätsgrenze des Werks beschränkt.

$$\sum_{p \in P, k \in K, vz \in VZ} N_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k} \geq Cap_f^U \cdot Y^f \quad \forall f \in F \quad (2.12)$$

Untere Kapazitätsgrenzen geben an, wie viel mindestens durch einen geöffneten Standort fließen muss. Die Nebenbedingungen (2.12) sichern, dass die Menge an Produkten, die von offenen Werken über VZ zu Kunden transportiert wird, nicht die untere Kapazitätsgrenze des jeweiligen Werks unterschreitet.

$$\sum_{p \in P, k \in K, f \in F} N_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k} \leq Cap_{vz}^O \cdot Y^{vz} \quad \forall vz \in VZ \quad (2.13)$$

$$\sum_{p \in P, k \in K, f \in F} N_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k} \geq Cap_{vz}^U \cdot Y^{vz} \quad \forall vz \in VZ \quad (2.14)$$

In den VZ existieren, wie in Werken, obere und untere Kapazitätsgrenzen. Die Nebenbedingungen (2.13) und (2.14) sichern, dass die Produktmengen, die durch offene VZ fließen, diese Grenzen einhalten.

$$\sum_{p \in P, k \in K, f \in FD} RG_{kp} \cdot X_p^{k,dz,f} \leq Cap_{dz}^O \cdot Y^{dz} \quad \forall dz \in DZ \quad (2.15)$$

$$\sum_{p \in P, k \in K, f \in FD} RG_{kp} \cdot X_p^{k,dz,f} \geq Cap_{dz}^U \cdot Y^{dz} \quad \forall dz \in DZ \quad (2.16)$$

Der rückwärtsgerichtete Produktfluss darf maximal bzw. muss mindestens so groß sein wie die obere bzw. untere Kapazitätsgrenze des DZ, durch das er fließt.

Die Entscheidungsvariablen werden durch die Nebenbedingungen (2.17) und (2.18) beschränkt.

$$\begin{aligned} 0 \leq X_p^{f,vz,k}, X_p^{k,dz,f}, X_p^{k,dz,D}, \hat{U}_p^k, W_p^k \leq 1 \\ \forall f \in FD, vz \in VZ, k \in K, dz \in DZ, p \in P \end{aligned} \quad (2.17)$$

Die Zuordnungsvariablen und die Variablen, die den Anteil an nicht befriedigter Nachfrage und nicht eingesammelten Rückgaben angeben, müssen zwischen 0 und 1 sein.

$$Y^f, Y^{dz}, Y^{vz} \in \{0, 1\} \quad \forall f \in F, dz \in DZ, vz \in VZ \quad (2.18)$$

Die Variablen, die eine Standorteröffnung anzeigen, sind binäre Variablen, d.h. sie nehmen entweder den Wert 0 oder 1 an.

Nun wird die Bedeutung und Wirkung von Strafkosten für entgangene Erlösen aus unbefriedigter Nachfrage im diskreten Standortplanungsmodell erläutert.

2.3.3 Strafkosten im diskreten Standortplanungsmodell

Im CWLP ist die Absatzmenge durch die Nachfrage vorgegeben; jede Nachfrage muss durch Produkttransporte vom offenen VZ befriedigt werden. Durch die Optimierung werden die Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage minimiert, also folgt der

Entscheider bei der Planung dem Minimumprinzip. Allerdings wird im CWLP die Erlösseite bei der Planung vernachlässigt.

So führt eine Planung nach dem CWLP zwar zu kosten-optimalen Standorteröffnungen und Transportmengen, die Absatzmenge, die durch die Nachfrage vorgegeben ist, kann jedoch zu Verlusten für den Entscheider führen. Dann sind natürlich auch die Standorteröffnungen und Transportmengen ökonomisch nicht sinnvoll, wie bereits in Abschnitt 2.2.2 erläutert. Also muss der Modellierungsansatz des CWLP erweitert werden, sodass durch die Optimierung ökonomisch sinnvolle Standorteröffnungen und Transportmengen bestimmt werden.

Die Bestimmung der Absatzmenge ist (traditionell) ein Entscheidungsproblem mit dem Ziel der Gewinnmaximierung anstatt der Kostenminimierung: Dem Entscheidungsträger liegen die Preise für Produkte und Kosten verbunden mit dem Absatz der Produkte vor, also der Mitteleinsatz ist bekannt, und es wird die Absatzmenge bestimmt, die den Gewinn maximiert (Maximumprinzip) [129, S.4]. Eine Kostenminimierung bei der Planung der Absatzmenge ist nur sinnvoll, wenn die Absatzmenge bekannt ist und durch die Optimierung die Minimierung des Mitteleinsatzes erreicht werden soll (wie beim CWLP).

Allerdings hängen die Transport- und Absatzmengen im diskreten Standortplanungsmodell zusammen: Wenn die Transportmenge an Produkten zu Kunden nicht der entsprechenden, vorgegebenen Nachfrage entspricht, ist dadurch die Absatzmenge verringert. Dann sinken die Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage und dem Entscheider entgehen Erlöse, die in der Planung mit dem diskreten Standortplanungsmodell ohne Strafkosten nicht erfasst werden. D.h. die Entscheidung weniger abzusetzen bzw. weniger Einheiten von offenen Standorten zu Kunden zu transportieren, führt sowohl zu niedrigeren Erlösen als auch zu sinkenden Kosten. Dieser Zusammenhang muss bei einer Planung erfasst werden.

Im Modell von Salema et al. (2007)[150] ist es möglich, dass Nachfrage unbefriedigt bleiben kann, also die Transportmenge zum Kunden nicht seiner Nachfrage entspricht. Unbefriedigte Nachfrage ist eine Variable des Entscheidungsproblems und in der Zielfunktion erfassen Strafkosten die entsprechenden entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage.

Dadurch wird „ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Aufwand [Kosten] und Ertrag [Erlöse] realisiert“ (generelles Extremumprinzip) [152, S.3]. Das generelle Extremumprinzip stellt eine Verallgemeinerung des Maximum- und Minimumprinzip dar [152].

Da Strafkosten die entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage erfassen, bleibt das Ziel die Kostenminimierung unverändert. Die Nachfrage ist weiterhin vorgegeben, allerdings muss nicht mehr jede Nachfrage befriedigt werden und in der Optimierung werden dann zusätzlich zu den Kosten für Standorteröffnungen und Produkttransporte, Strafkosten pro ME unbefriedigter Nachfrage, die den entgangenen Erlös durch die Nicht-Befriedigung von Nachfrage wiedergeben, minimiert.

Es ist kritisch anzumerken, dass Strafkosten in der Regel geschätzt werden und dadurch die Planungsergebnisse ungenau werden können. Daher kann eine Gewinnmaximierung als Planungsansatz sinnvoller sein. Allerdings sind für das Beispiel dieser Arbeit, das Planungsproblem eines Kopiergeräteherstellers, keine Preise bzw. Erlöse bekannt, sondern nur Kosten, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Also müssten für eine Gewinnmaximierung Preise unterstellt werden; so ist auch eine Gewinnmaximierung ungenau.

Daher wird das Planungsproblem dieser Arbeit durch ein diskretes Standortplanungsmodell abgebildet und die Strafkosten sorgfältig bestimmt. Falls Strafkosten in der Lösung anfallen, werden diese explizit in den Lösungen angegeben, sodass zwischen den fiktiven Kosten der Planung und den tatsächlichen Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage unterschieden werden kann.

Außerdem werden im Folgenden die Ergebnisse der Optimierung als optimal anstatt kosten-optimal bezeichnet, da nun die Planung dem generellen Extremumprinzip folgt. Im Folgenden wird die Wirkungsweise der Strafkosten im diskreten Standortplanungsmodell quantitativ betrachtet. Dafür wird das diskrete Standortplanungsmodell mit Strafkosten vereinfacht abgebildet.

Es wird angenommen, dass nur ein Standort relevant ist und dieser eröffnet wird, sobald Güter abgesetzt werden. Auch wird nur eine Art von Gut nachgefragt und es werden keine Produktrückgaben berücksichtigt. Die folgende Funktion $GK(x)$ stellt die Gesamtkosten dieses Standortplanungsmodells dar.

Die Gesamtkosten sind eine Funktion von x , wobei x für die abgesetzte ganzzahlige, positive Gütermenge steht, also die Menge an Gütern, die zu Kunden transportiert wird. Die Funktion der Gesamtkosten kann in die Terme EK, TK und SK unterteilt werden, wobei EK die Standort-Eröffnungskosten, TK die Transportkosten und SK die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse aus unbefriedigter Nachfrage erfassen.

Die nachgefragte Menge ist N , damit ergibt sich die Menge an unbefriedigter Nachfrage zu $(N - x)$ und die Gütermenge ist auf $0 \leq x \leq N$ begrenzt. Die Kapazitätsgrenze des Standorts wird durch Cap erfasst und es wird unterstellt, dass $N \leq Cap$, d.h. die Kapazität eines Standorts reicht zur Befriedigung der gesamten Nachfrage aus.

$$GK(x) = EK \cdot \mathbf{1}_{0 < x \leq Cap} + TK(x) + SK(N - x)$$

Dabei stellt $\mathbf{1}_{0 < x \leq Cap}$ eine Indikator-Funktion dar, die wahr ist und den Wert 1 annimmt, wenn $0 < x \leq Cap$ ist, sonst nimmt sie den Wert Null an. Die Summe der EK und TK gibt die tatsächlichen Kosten verbunden mit dem Absatz von Gütern an. Dagegen erfassen die SK die entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage.

Wenn $GK(x)$ monoton mit der transportierten Menge an x ansteigt, ist es optimal, dass die Nachfrage nach einem Gut unbefriedigt bleibt, sobald $GK(N) > GK(N - 1)$, also die Gesamtkosten für die Befriedigung der gesamten nachgefragten Menge N höher als die Gesamtkosten für den Absatz von $N - 1$ Gütern sind.

Da $GK(N) = EK + TK(N)$ und $GK(N - 1) = EK + TK(N - 1) + SK(1)$ ist, bleibt Nachfrage nach einer ME des Gutes unbefriedigt, sobald $TK(N) > TK(N - 1) + SK(1)$ bzw. $TK(N) - TK(N - 1) > SK(1)$. D.h. die Nachfrage nach einer ME wird nicht befriedigt, sobald die zusätzlichen Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage höher als die Erlöse aus dem Absatz des Guts sind; hier durch die Strafkosten für eine unbefriedigte Nachfrage dargestellt.

Es werden gar keine Güter abgesetzt, wenn $GK(N) > GK(N - 1) > \dots > GK(1) > GK(0)$. Dann sind $GK(0) = SK(N)$, also die Gesamtkosten bestehen aus Strafkosten für entgangene Erlöse, denn es fallen keine tatsächlichen Kosten für den Transport von Gütern an. So sichern Strafkosten für entgangene Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage,

dass das resultierende Netzwerk für den Entscheider ökonomisch sinnvoll ist, d.h. keine Verluste durch Standorteröffnungen und den Transport von Produkten zur Befriedigung von Nachfrage verursacht werden, wenn sich dies nicht lohnt.

Falls die Kapazität eines Standorts zur Befriedigung der gesamten Nachfrage nicht ausreicht, gibt es im Modell von Salema et al. (2007)[150] die Möglichkeit weitere Standorte zu eröffnen. Von einem weiteren offenen Standort können Güter zu Kunden transportiert werden, um übriggebliebene Nachfrage zu befriedigen. Dadurch fallen Eröffnungs- und Transportkosten an. Nur wenn diese Kosten geringer als die Erlöse aus dem Absatz der zusätzlichen Güter sind, ist dies ökonomisch sinnvoll.

Im Folgenden wird ein Anwendungsbeispiel für ein CLSCN mit Daten aus der Literatur vorgestellt und das Modell von Salema et al. (2007)[150] wird mit diesen Daten gelöst.

Beispiel und Ergebnisse

Das Modell von Salema et al. (2007)[150] wird genutzt, um die SC eines Kopiergeräteherstellers in Deutschland optimal zu planen. Diese SC wird durch das mehrstufige Netzwerk in Abbildung 2.8 erfasst und die Daten des Beispiels werden in Fleischmann et al. (2001)[52] vorgestellt.

Die Gleichungen (2.19) geben den Zusammenhang zwischen den Kostenparametern von Salema et al. (2007)[150] und Fleischmann et al. (2001)[52] wieder. Die Kosten- und Distanzparameter werden nun zwischen zwei anstatt drei Knoten im Netzwerk definiert, siehe Tabelle 2.5. So sind die Transportkosten pro Produkt des vorwärtsgerichteten Flusses, $c_{f,vz,k}$, die Summe aus den Transportkosten vom Werk zum VZ und vom VZ zum Kunden.

$$\begin{aligned}
 c_{f,vz,k} &= c_{f,vz} \cdot t_{f,vz} + c_{vz,k} \cdot t_{vz,k} \\
 c_{k,dz,f} &= c_{k,dz} \cdot t_{k,dz} + c_{dz,f} \cdot t_{dz,f} - c_{dz} \\
 c_{k,dz,D} &= c_{k,dz} \cdot t_{k,dz} + c^{DEnt}
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

Tabelle 2.5: Relevante zusätzliche Definitionen⁴

Parameter	Definition
c^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung eines zurückgegebenen Produkts
c_{dz}	Kostenersparnis für die Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts zur Befriedigung von Nachfrage, $\forall dz \in DZ$
c_{yw}	Kosten für den Transport eines Produkts von Standort y zu Standort w (per km), $\forall y, w \in F \cup DZ \cup VZ \cup K$
t_{yw}	Distanz zwischen Standort y und Standort w oder Kunde k (in km), $\forall y, w \in F \cup DZ \cup VZ \cup K : y \neq w$

Weiterhin unterstellen Fleischmann et al. (2001)[52] und Salema et al. (2007)[150], dass die Befriedigung einer Nachfrage mit einem zurückgegebenen anstatt neuen Produkts günstiger ist und somit eine Kostenersparnis darstellt; der Parameter $c_{dz}, \forall dz \in DZ$, erfasst diese Kostenersparnis. Aus den Gleichungen (2.19) folgt, dass die Kosten für ein zurückgegebenes Produkt, das vom Kunden zum Werk fließt, also $c_{k,dz,f}$, die Summe der Transportkosten zwischen Kunde und DZ und DZ und Werk sind und um die Kostenersparnis verringert werden. Zurückgegebene Produkte können auch entsorgt werden; die dafür anfallenden Kosten pro Produkt, $c_{k,dz,D}$, ergeben sich als Summe aus den Transportkosten zwischen Kunde und DZ und den Entsorgungskosten für ein Produkt.

In Tabelle 2.6 sind die verwendeten Daten aufgeführt; die Entfernungen zwischen den Standorten in Deutschland sind in Distanzmatrizen im Anhang A.1 dargestellt. Im Beispiel von Fleischmann et al. (2001)[52] sind die Eröffnungskosten für Standorte gegenüber den Transportkosten sehr hoch, wie bereits in Abschnitt 2.2.3 angemerkt. Da bei einer Planung mit dem Modell von Salema et al. (2007)[150] Eröffnungs- und Transportkosten die Netzwerkstruktur bestimmen, ist bei diesen Werten zu erwarten, dass das Modell von Salema et al. (2007)[150] eine zentralisierte Netzwerkstruktur vorgibt.

Dabei fehlt in Fleischmann et al. (2001)[52] eine weitere Erläuterung der Eröffnungskosten. So ist unklar, wie diese Kosten erhoben wurden und, ob die Eröffnungskosten ausschließlich für die Errichtung von Standorten anfallen oder fixe Kosten für die Miete und die Inbetriebnahme der Standorte darstellen.

Die Fixkosten verbunden mit den Standorten sind in Salema et al. (2007)[150] niedriger

⁴Zusätzliche Definitionen zu Tabelle 2.2 und 2.3

und die Transportkosten höher: Bei Salema et al. (2007)[150] liegen die fixen Kosten für Standorte zwischen 8.000 GE und 72.000 GE und die Transportkosten zwischen 2 GE und 7 GE. Da in [150] das Netzwerk eines Unternehmens im Bereich der Bürodokumente anstatt eines Kopiergeräteherstellers geplant wird, kann es durchaus zu Unterschieden zwischen den Eröffnungs- und Transportkosten der beiden Beispiele kommen. Denn es ist zu erwarten, dass Kopiergeräte größer als Produkte im Bereich der Bürodokumente sind und damit mehr Kapazitätsbedarf haben.

D.h. die unterschiedlich hohen Kosten verbunden mit Standorten können durch die Standortkapazität verursacht werden. Die Transportkosten können ebenfalls von den Produkten abhängig sein. Allerdings fehlen dazu weitere Informationen. Da in dieser Arbeit ein CL-SC untersucht wird, der beim Kopiergerätehersteller und nicht bei einem Unternehmen im Bereich der Bürodokumente beobachtet werden kann, werden die Daten von Fleischmann et al. (2001)[52] für die Lösung der Modelle genutzt.

Tabelle 2.6: Parameterwerte basierend auf Fleischmann et al. (2001)[52]

Parameter	Wert
Cap_y^O	50.000 Produkteinheiten (PE), $\forall y \in F \cup VZ$
Cap_{dz}^O	30.000 PE, $\forall dz \in DZ$
c_{dz}	10 Geldeinheiten (GE) pro Produkt, $\forall dz \in DZ$
c^{DEnt}	2,5 GE pro Produkt
$c_{vz,k}$	0,01 GE per km, $\forall vz \in VZ, k \in K$
$c_{f,vz}$	0,0045 GE per km, $\forall f \in F, vz \in VZ$
$c_{k,dz}$	0,005 GE per km, $\forall k \in K, dz \in DZ$
$c_{dz,f}$	0,003 GE per km, $\forall vz \in VZ, dz \in DZ$
f_f	5.000.000 GE, $\forall f \in F$
f_{vz}	1.500.000 GE, $\forall vz \in VZ$
f_{dz}	500.000 GE, $\forall dz \in DZ$
md^p	0,6

Es wird zunächst angenommen, dass die oberen Kapazitätsgrenzen eines jeweiligen Standorts ausreichend hoch sind, sodass die gesamte Nachfrage befriedigt werden kann und alle Produktrückgaben eingesammelt werden können. Weiterhin wird zur Vereinfachung unterstellt, dass keine unteren Kapazitätsgrenzen an Standorten existieren.

Wie in [52] wird hier unterstellt, dass für den Planungshorizont von einer Periode, die ein

Jahr darstellt, die Nachfragen der Kundenstandorte nach Produkten als 10 Einheiten per 1.000 Einwohner vorhergesagt werden können. Allerdings wird in dieser Arbeit zur Vereinfachung nur ein Netzwerk in Deutschland anstatt ein Netzwerk für Europa, wie in [52], geplant. Die deutschlandweite Nachfrage wird in 15 Kundenstandorte gebündelt. Diese Standorte sind die 15 größten Städte Deutschlands, gemessen an der Einwohneranzahl, entnommen der statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Stand (2015) [165].

Da im Modell von Salema et al. (2007)[150] im Gegensatz zum Modell von Fleischmann et al. (2001)[52] unterschiedliche Produkte berücksichtigt werden, wird hier nun zusätzlich angenommen, dass zwei unterschiedliche Kopierer bzw. Produkte, $P1$ und $P2$, von Kunden nachgefragt werden. Die Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$ des jeweiligen Produkttyps ist gleich hoch, d.h. je Produkttyp werden 5 Einheiten per 1.000 Einwohner in einem Jahr nachgefragt. Die Kundenstandorte mit Abkürzungen und ihre Produktnachfragen sind in Tabelle 2.7 aufgeführt.

Tabelle 2.7: Definition der Kunden und nachgefragten Menge pro Jahr

Kundenstandort	Nachfrage N_{kp} nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
Duisburg (Du)	800
Nürnberg (Nu)	840
Hannover (Ha)	860
Leipzig (L)	880
Dresden (Dr)	880
Bremen (Br)	920
Essen (E)	960
Dortmund (Do)	960
Düsseldorf (Due)	1.000
Stuttgart (S)	1.000
Frankfurt am Main (FM)	1.200
Köln (K)	1.740
München (M)	2.400
Hamburg (H)	3.000
Berlin (B)	5.700

In den 15 größten Städten können VZ und DZ eröffnet werden; Werke können in den 5 größten Städten Deutschlands positioniert werden. In Abbildung 2.9 sind die Kunden-

standorte und die möglichen Standorte für VZ, DZ und Werke abgebildet.

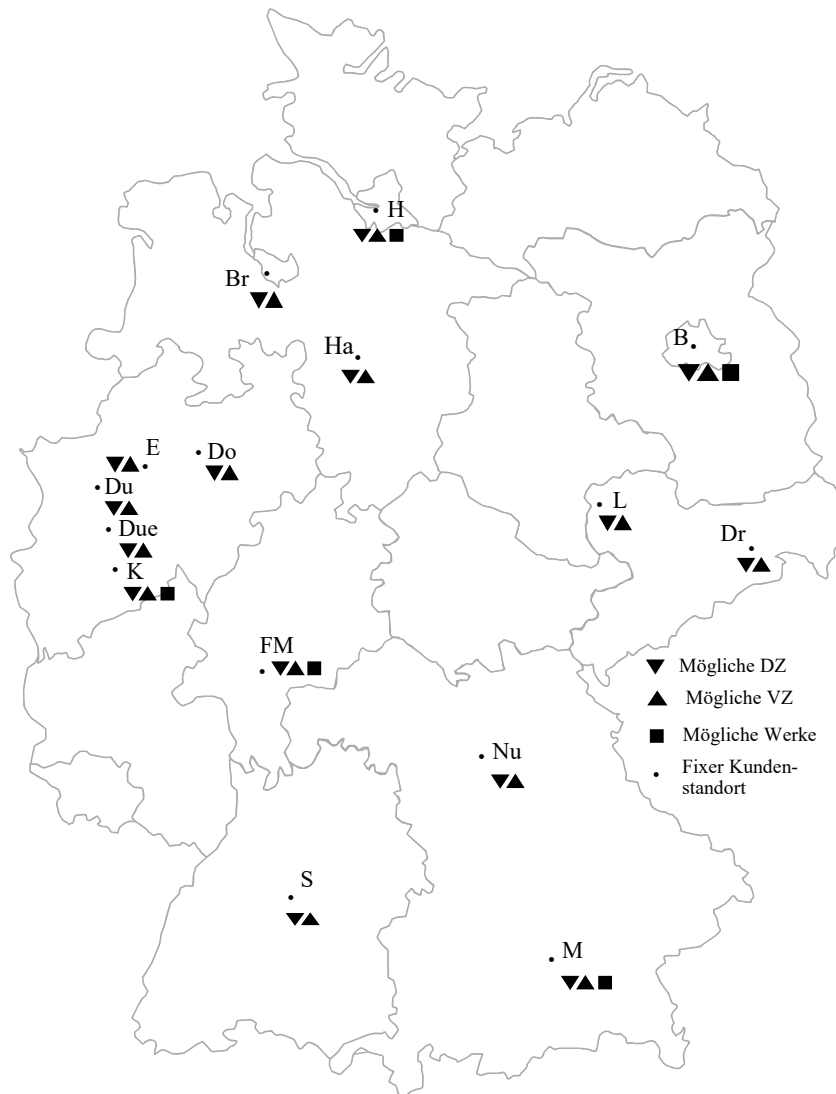


Abbildung 2.9: Kunden und mögliche Standorte für VZ, DZ und Werke (Eigene Darstellung)

Im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] mit einer vorgegebene Rückgabemenge ist die Rückgabemenge von Kunden in Fleischmann et al. (2001)[52], sowie in Marin und Pelegrin (1998)[123] und Fleischmann et al. (2004)[55], als ein vorgegebener Anteil an der Produktmenge definiert, die zu Kunden transportiert wurde. Auch die Standortplanungsmodelle dieser Arbeit, die in Kapitel 3 und 4 neu entwickelt werden, unterstellen diesen Zusammenhang zwischen vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen.

Die Annahme einer vorgegebenen unabhängigen Rückgabemenge wird im Folgenden aufgegeben, da in dieser Arbeit eine CLSC untersucht wird, die nur durch den OEM oder einen Vertragspartner und keinen Dritten geschlossen werden kann. Also ist es nicht möglich, gebrauchte Produkte von Externen zu kaufen oder, dass vom vorwärtsgerichteten Produktfluss unabhängige Produktrückgaben vorliegen. So verhindern OEM, dass Konkurrenten Wissen oder Technologie über ihre Produkte bzw. die Herstellung erlangen und in den Markt eintreten. Mit dieser Motivation hat IBM als eines der ersten Unternehmen seiner Branche Komponenten-Wiederaufbereitung eingeführt [54].

Zur Vergleichbarkeit der Lösungen des Modells von Salema et al. (2007)[150] mit den Lösungen der Standortplanungsmodelle dieser Arbeit wird die Rückgabemenge nun folgend definiert: $RG_{kp} = rg_{kp} \cdot X_p^{f,vz,k}, \forall k \in K, p \in P$, wobei rg_{kp} die Rückgaberate des Kunden k an Produkt p angibt. Im Ausgangsbeispiel wird die Rückgaberate rg_{kp} als 0,5, $\forall k \in K, p \in P$, angenommen, wie in [52] angegeben.

Die Strafkosten c_{kp}^U und $c_{kp}^W, \forall k \in K, p \in P$, sind in Fleischmann et al. (2001)[52] mit ∞ angegeben, so ist es immer ökonomisch sinnvoll, jede Nachfrage zu befriedigen und jede Rückgabe einzusammeln. Damit sind die Strafkosten in der Modellierung eigentlich überflüssig und die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Problematik, die Bestimmung eines ökonomisch sinnvollen Netzwerks, bleibt unverändert.

Die Annahme von unendlich hohen Strafkosten ist unrealistisch, da die Strafkosten c_{kp}^U den Preis des nachgefragten Produkts im Markt oder die Zahlungsbereitschaft von Kunden wiedergeben sollen. Die Strafkosten c_{kp}^W stehen für die entgangene Kosteneinsparung, die durch die Befriedigung einer Nachfrage-Einheit mit einem zurückgegebenen und wiederaufbereiteten anstatt neuen Produkts erreicht wird, oder für den Wert eines zurückgegebenen Produkts.

Also sind Strafkosten nicht frei vom Entscheider wählbar, sondern sind der Planung vorgegeben, und für eine Planung, aus der umsetzbare, sinnvolle Handlungsempfehlungen folgen sollen, ist es wichtig, dies zu bedenken (siehe vorangegangenen Abschnitt über die Bedeutung der Strafkosten). Für das Ausgangsbeispiel muss gelten, dass $c_{kp}^U = 144$ und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, sodass jede Nachfrage befriedigt und jede Rückgabe eingesammelt wird.

Die Lösung des mathematischen Modells wird mit der Optimierungssoftware Gurobi in Version 6.5.1 auf einem Computer mit zwei Intel Xeon Prozessoren E5-2687W und 128 GB RAM in 1,08 Sekunden erreicht. Alle Tests in dieser Arbeit werden mittels dieser Soft- und Hardware gelöst. Eine Optimalitätslücke von bis zu 0,01% ist für alle Tests in dieser Arbeit erlaubt (Voreinstellung von Gurobi). Sobald diese Umstände sich ändern, da z.B. eine neuere Solver-Version zur Lösung genutzt wird, wird dies angemerkt.

Der Zielfunktionswert der Ausgangslösung beträgt 7.138.327,7 GE. Er besteht aus den Kosten verbunden mit Standorteröffnungen, Produkttransporten und mit der Entsorgung von zurückgegebenen Produkten und wird um die Kostenersparnisse aus der Nutzung von Produktrückgaben verringert. (Im Folgenden, in Abschnitt 3.1.3 werden die entsprechenden Werte der einzelnen Terme des Zielfunktionswerts aufgeführt.) Die Ausgangslösung ist in Abbildung A.1 im Anhang A.2 aufgeführt.

Das optimale Netzwerk für die Daten des Ausgangsbeispiels besteht aus einem offenen Werk, VZ und DZ in Berlin und ist in Abbildung 2.10 dargestellt. Produkte fließen vom Werk über das VZ zu den Kunden; jede Nachfrage wird befriedigt. Die Rückgabemenge wird vollständig im DZ in Berlin eingesammelt. Von den zurückgegebenen Produkten wird der vorgegebene Anteil von 0,6 entsorgt; die restlichen zurückgegebenen Produkte, also 0,4 der Rückgabemenge fließen vom DZ weiter über das Werk in Berlin und von dort wieder über das VZ zu Kunden.

Im Werk und VZ liegt eine Kapazität von 50.000 Produkteinheiten (PE) vor und das DZ hat eine Kapazität von 30.000 PE, wie durch die jeweilige Kapazitätsobergrenze vorgegeben. Aber nur 46.280 Produkte fließen vom Werk über VZ zu den Kundenstandorten und nur 9.256 Produkte fließen zurück von den Kunden über das DZ zum Werk. D.h. im optimalen Netzwerk nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] liegen Überkapazitäten vor.

Nun wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die den Einfluss der Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage und von oberen Standortkapazitätsgrenzen auf die Planung untersucht. Außerdem wird der Einfluss von Parametern auf die Entscheidung zur Einsammlung und Rückführung von gebrauchten Produkten untersucht.

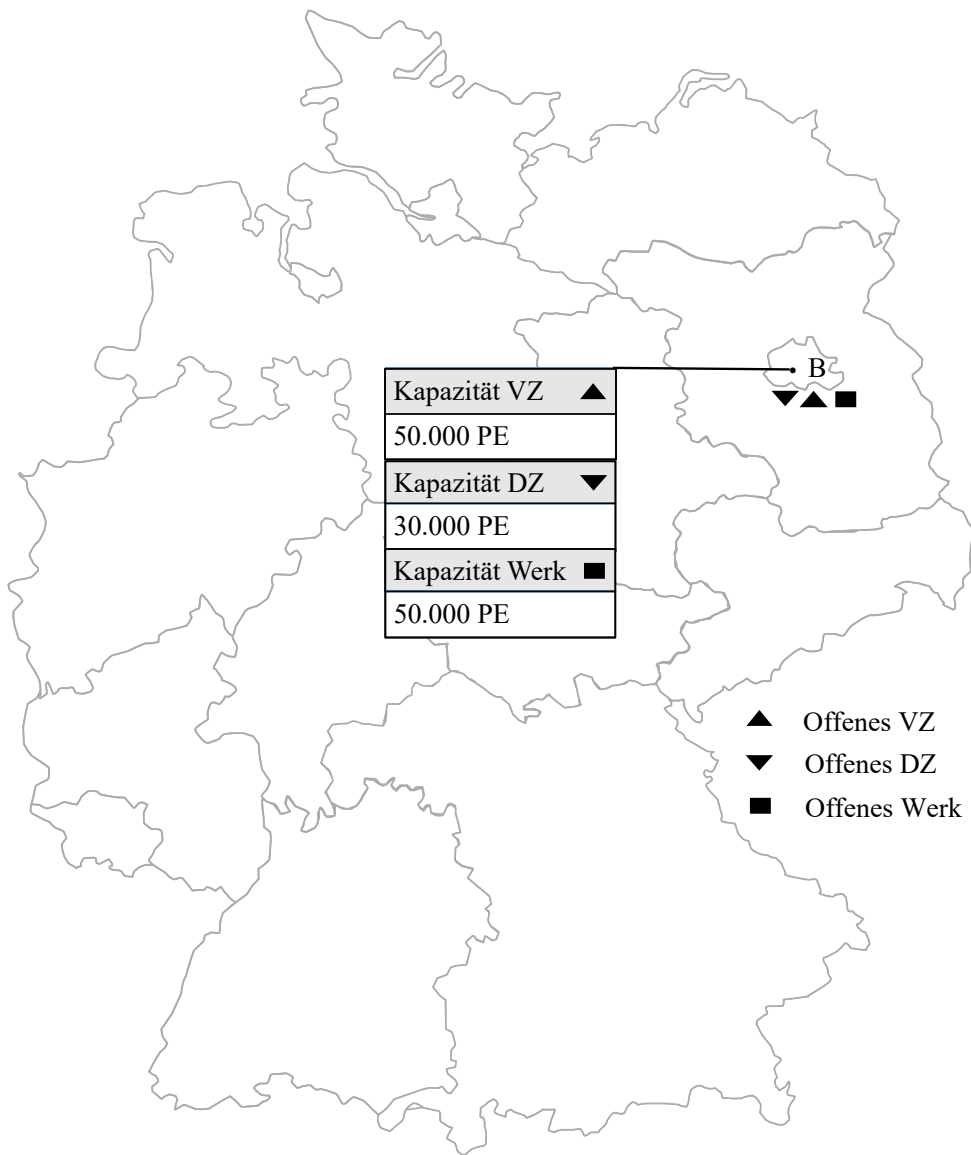


Abbildung 2.10: Ausgangslösung des Modells von Salema et al. (2007)[150] (Eigene Darstellung)

Einfluss der Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage c_{kp}^U , $\forall p \in P, k \in K$

Wenn Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage von $c_{kp}^U = 143$ GE (anstatt 144 GE, wie im Ausgangsbeispiel,) $\forall p \in P, k \in K$, vorliegen, sind die Standort-Eröffnungs- und Transportkosten höher als die Erlöse verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage. Dann gibt das Modell von Salema et al. (2007)[150] vor, dass keine Nachfrage befriedigt und keine Rückgabe eingesammelt wird. Der Zielfunktionswert besteht dann nur aus Strafkosten, die die entgangenen Erlöse aus unbefriedigter Nachfrage erfassen. (Im Anhang A.2 in Ab-

bildung A.2 ist die Lösung für $c_{kp}^U = 143$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, dokumentiert.)

Sobald die (vorgegebenen) Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage zu niedrig sind, gibt das Modell von Salema et al. (2007)[150] unter den Daten basierend auf [52] immer vor, dass überhaupt keine Produkte zu Kunden transportiert werden.

In Abschnitt 3.2.2 wird gezeigt, dass die Erweiterung der Standortplanung um Kapazitätsplanung zum FLCPR-Modell dazu führt, dass Nachfrage nur teilweise anstatt komplett unbefriedigt bleibt. Im FLCPR-Modell wird der Austausch zwischen Kapazitäten und Transporten in der Planung erfasst. Dann beeinflusst ebenfalls die Entfernung der Kundenstandorte zum offenen Standort die Entscheidung zum Aufbau von Kapazität, die benötigt wird, um die Nachfrage des Kundenstandorts zu befriedigen.

Einfluss der oberen Standortkapazitätsgrenzen $Cap_y^O, \forall y \in DZ \cup F \cup VZ$

Wenn die Standort-Kapazitätsobergrenze pro VZ, DZ oder Werk niedriger als im Ausgangsbeispiel ist, also zu niedrig für alle nachgefragten oder zurückgegebenen Produkte, müssen entsprechend weitere VZ, DZ oder Werke eröffnet werden, um alle Nachfragen zu befriedigen bzw. jede Rückgabe einzusammeln.

Allerdings ist es hier – im Gegensatz zum CWLP – möglich, Nachfrage nicht zu befriedigen und Produktrückgaben können nicht eingesammelt werden. Wenn die Kapazität eines VZ bzw. Werks für die gesamte nachgefragte Menge nicht ausreicht, wird ein weiteres VZ bzw. Werk nur eröffnet und die übriggebliebene Nachfrage befriedigt, wenn die Erlöse durch die Befriedigung der Nachfrage höher als die Kosten verbunden mit den Standort-Eröffnungen und Transporten sind.

Weiterhin beeinflusst die Kapazitätsobergrenze eines Standorttyps die anderen offenen Standorte und die Transportmengen im CLSCN. (Für die folgenden Tests wird nun $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, unterstellt, sodass jede Nachfrage befriedigt und alle Rückgaben eingesammelt werden. Dadurch können weitere Erkenntnisse über das Modell von Salema et al. (2007)[150] gewonnen werden.)

Wenn z.B. die Kapazitätsobergrenze pro Werk nur 16.667 PE beträgt, werden drei Werke eröffnet. Nun sind die Kosten für den Transport der Produkte von den offenen Werken in Berlin, Hamburg und Köln über das VZ in Hannover zu den Kunden geringer als im

Ausgangsbeispiel mit einem Werk und VZ in Berlin. In Abbildung 2.11 ist das optimale Netzwerk für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte, $\forall f \in F$, dargestellt. Da im Modell von Salema et al. (2007)[150] keine rückwärtsgerichteten Produktflüsse zwischen Kunden und DZ abgebildet werden, sind in Abbildung 2.11 nur die offenen Standorte und vorwärtsgerichteten Produktflüsse dargestellt. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.3 im Anhang A.2 zu dokumentiert.)

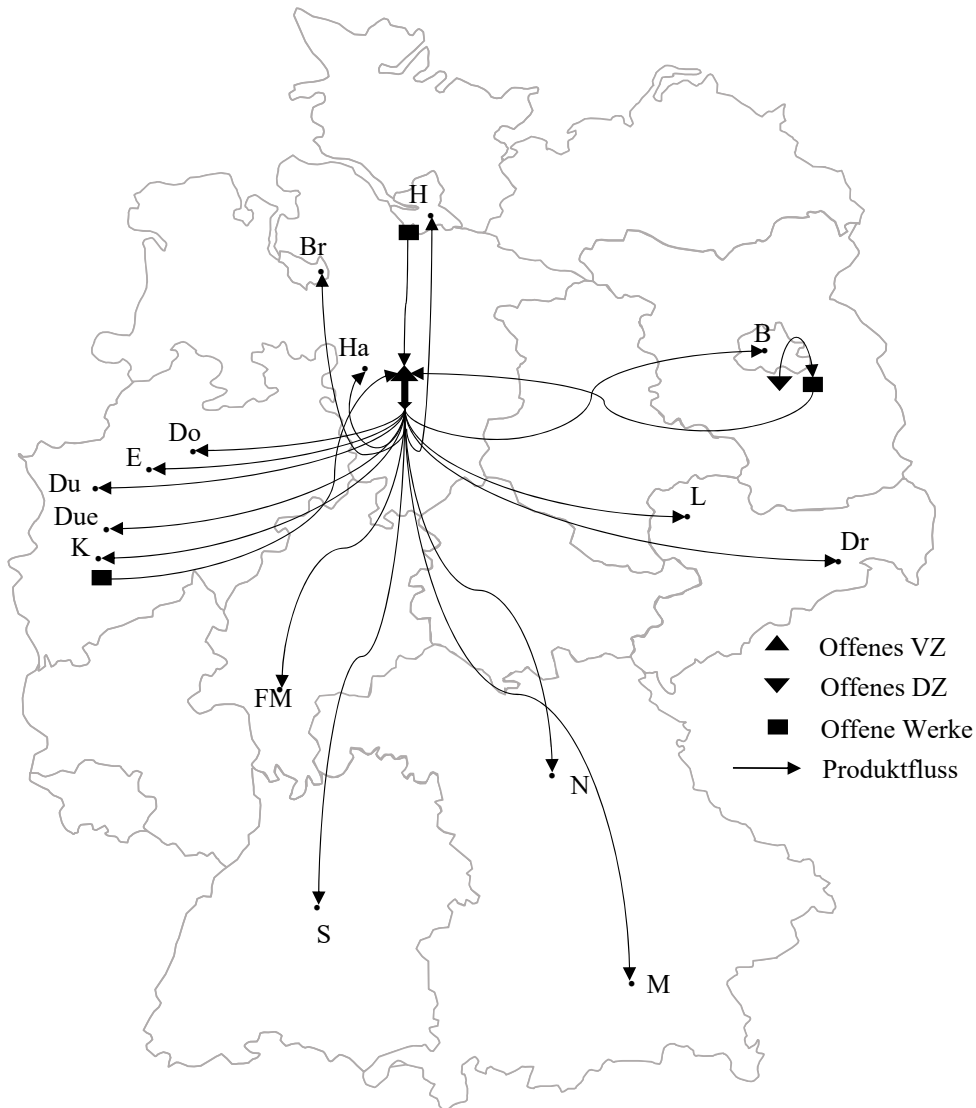


Abbildung 2.11: Netzwerk für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte, $\forall f \in F$ (Eigene Darstellung)

Zudem kann beobachtet werden, dass, obwohl Produkte durch VZ-Standorte nur vorwärts fließen, durch VZ-Kapazitäten auch Werk und DZ-Standorte beeinflusst werden. Bei einer

oberen Kapazitätsgrenze von 5.000 anstatt 50.000 Produkte pro VZ, wie im Ausgangsbeispiel, müssen 10 VZ eröffnet werden, um die gesamte Produkt-Nachfrage zu befriedigen. Dann ist es optimal, dass ein Werk und DZ in Frankfurt am Main anstatt Berlin, wie im Ausgangsbeispiel, eröffnet werden.

Die optimalen Standorte und Transportmengen zwischen VZ, Werk und DZ für $Cap_{vz}^O = 5.000$ Produkte, $\forall vz \in VZ$, sind in Abbildung 2.12 dargestellt. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.4 im Anhang A.2 dargestellt.)

Da Produkte vom Werk über VZ zu Kunden fließen, wirken VZ-Kapazitäten auf den Werk-Standort ein. Außerdem fließen wiederaufbereitete Produkte vom DZ zum Werk und der DZ-Standort wird so gewählt, dass die Transportkosten zum Werk möglichst gering sind. Also müssen die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse und die entsprechenden Standorte im CLSCN zusammen geplant werden, sodass alle Abhängigkeiten im Netzwerk erfasst werden und ein optimales CLSCN durch die Planung erreicht wird.

Im Modell von Salema et al. (2007)[150], wie im CWLP, sind die Standort-Kapazitäten vorgegeben, d.h. sie werden nicht durch das Modell optimal bestimmt. So kann es zu Überkapazitäten kommen, wie bereits in der Ausgangslösung des Modells von Salema et al. (2007)[150] festzustellen ist. Diese Überkapazitäten sind auch bei den niedrigeren Kapazitätsgrenzen zu beobachten; z.B. bei 10 offenen VZ mit 5.000 Produkten pro VZ liegt insgesamt eine Kapazität von 50.000 Produkten vor, obwohl nur 46.280 Produkte von den VZ zu Kunden transportiert werden. Diese Überkapazitäten werden durch die Erfassung von Kapazitätskosten, wie im FLCPR-Modell in Abschnitt 3.2, verhindert.

Außerdem sind im Modell von Salema et al. (2007)[150], wie im CWLP bzw. diskreten Standortplanungsmodell, Standort-Eröffnungskosten unabhängig von der Standort-Kapazität. Z.B. betragen die Gesamtkosten bei einer oberen Kapazitätsgrenze von 16.667 Produkten pro Werk 17.171.924 GE und sind 10.033.596 GE höher als in der Ausgangslösung mit 7.138.327,7 GE (siehe Abbildung A.3 bzw. Abbildung A.1). Dabei besteht diese Differenz aus Eröffnungskosten für zwei weitere Werk-Eröffnungen in Höhe von 10.000.000 GE und um 33.596 GE höheren Transportkosten.

Allerdings würde man erwarten, dass die Eröffnungskosten eines Werks mit einer Kapazität von 16.667 Produkten niedriger sind als von einem Werk mit einer Kapazität

von 50.000 Produkten. Diese Zusammenhänge werden vom Modell von Salema et al. (2007)[150] und grundsätzlich vom diskreten Standortplanungsmodell nicht erfasst. So berücksichtigt die Planung nicht die Möglichkeit, Standorte mit unterschiedlicher Größe bzw. Kapazität zu eröffnen und in der Optimierung werden keine Kosten abhängig von der Standort-Kapazität berücksichtigt. Daher wird in dieser Arbeit das diskrete Standortplanungsmodell im Abschnitt 3.2 um Kapazitätsplanung zum FLCPR-Modell erweitert.

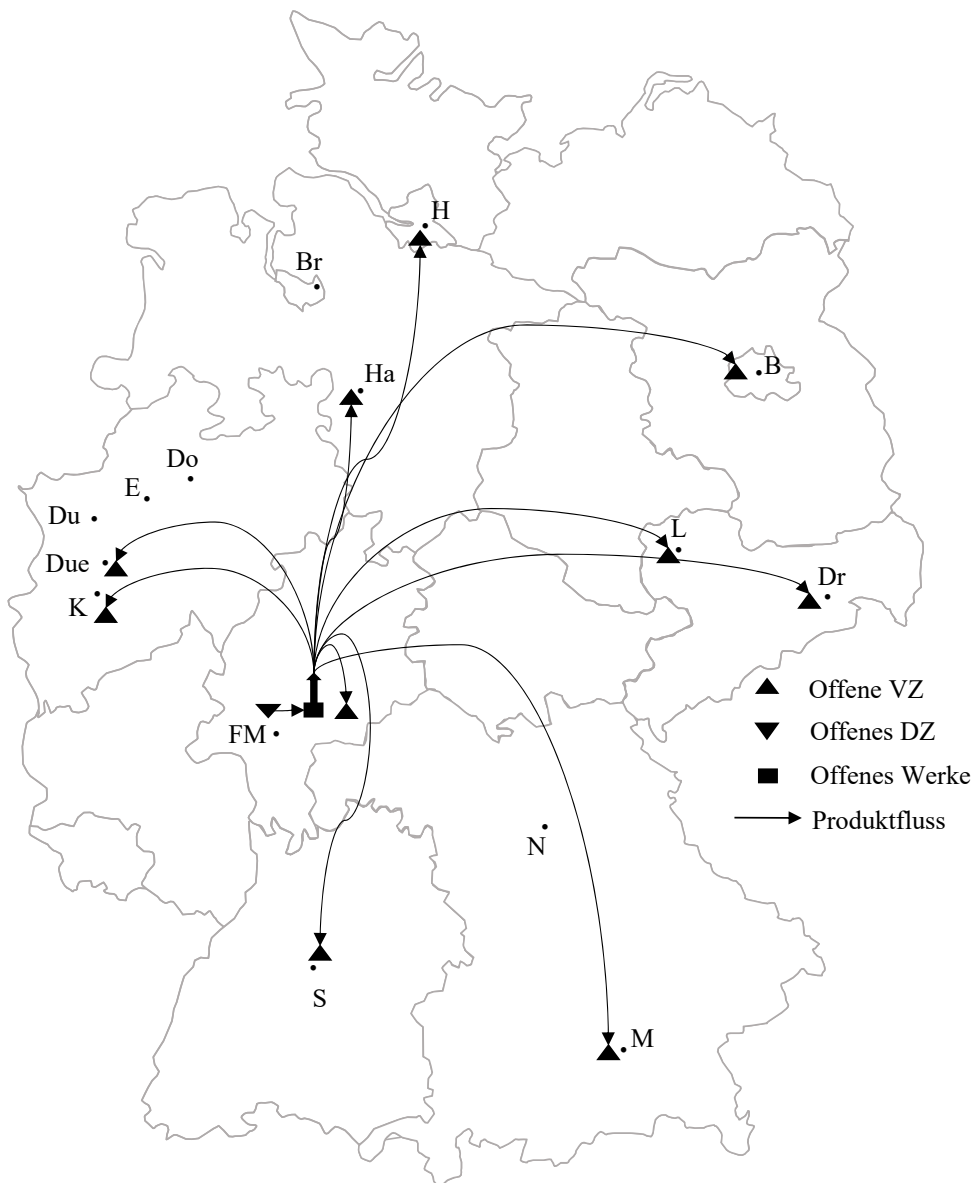


Abbildung 2.12: Optimale Standorte und Transportmengen zwischen VZ, Werk und DZ für $Cap_{vz}^O = 5.000$ Produkte, $\forall vz \in VZ$ (Eigene Darstellung)

Einfluss von Parametern auf die Entscheidung zur Einsammlung und Rückführung gebrauchter Produkte

Nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] wird die Entscheidung, ob zurückgegebene Produkte eingesammelt und zu Kunden zurückgeführt werden, von den Strafkosten pro nicht eingesamelter Rückgabe, $c_{kp}^W, \forall k \in K, p \in P$, der Kostenersparnis durch die Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts zur Befriedigung von Nachfrage, $c_{dz}, \forall dz \in DZ$, und der Rückgabemenge, $RG_{kp}, \forall k \in K, p \in P$, beeinflusst.

Im Ausgangsbeispiel beträgt $c_{kp}^W = 21$ GE, $c_{dz} = 10$ GE und $rg_{kp} = 0,5, \forall dz \in DZ, k \in K, p \in P$ und alle zurückgegebenen Produkte werden eingesammelt. Alle verwertbaren Produktrückgaben fließen über das DZ zum Werk, um von dort wieder zu Kunden transportiert zu werden.

Wenn die Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben, die Kostenersparnis durch die Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts oder die Rückgabemenge niedriger sind, sind die Kosten für die DZ-Eröffnung und die Rückführung von gebrauchten Produkten zu hoch und keine Produktrückgaben werden eingesammelt.

Wenn gegenüber dem Ausgangsbeispiel niedrigere Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben vorliegen, also $c_{kp}^W < 21$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, wird jede Nachfrage befriedigt, aber keine Produktrückgaben werden eingesammelt. Die Differenz aus Kosten verbunden mit der Einsammlung und Rückführung von Produktrückgaben und den Kostenersparnissen durch Nutzung zurückgegebener anstatt neuer Produkte zur Befriedigung von Nachfrage ist höher als die Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben. Daher enthält der Zielfunktionswert dann sowohl Standort-Eröffnungs- und Transportkosten als auch Strafkosten für nicht eingesammelte Produktrückgaben. (Die Lösung für $c_{kp}^W = 20$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, ist in Abbildung A.5 im Anhang A.2 aufgeführt.)

Bei z.B. $c_{dz} = 9$ GE (anstatt 10 GE, wie im Ausgangsbeispiel) werden ebenfalls keine Rückgaben eingesammelt. (Die Lösung ist in Abbildung A.6 im Anhang A.2 zu finden.)

Die Gesamtkosten sind dann gegenüber der Ausgangslösung um 4.540,7 GE höher, da keine Kostenersparnisse durch Nutzung wiederaufbereiteter Produkte generiert werden können und Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben anfallen. In Abbildung 2.13 sind die Gesamtkosten für $c_{dz} = 9$ GE und $c_{dz} = 10$ GE (Ausgangsbeispiel), $\forall dz \in DZ$,

gegenüber gestellt. Nach Salema et al. (2007)[150] fallen keine Entsorgungskosten für Produktrückgaben an, wenn diese nicht eingesammelt und wiederaufbereitet werden.

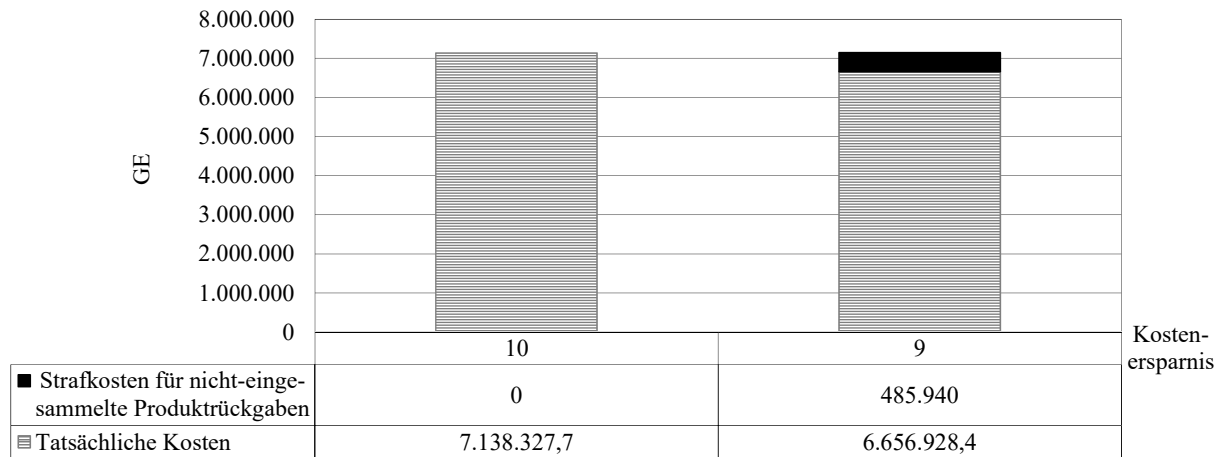


Abbildung 2.13: Gesamtkosten für Kostenersparnis von $c_{dz} = 9$ GE und $c_{dz} = 10$ GE (Ausgangsbeispiel) für die Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts zur Befriedigung einer Nachfrage, $\forall dz \in DZ$ (Eigene Darstellung)

Es liegt ein Zusammenhang zwischen den Kostenersparnissen aus der Nutzung eines zurückgegebenen anstatt neuen Produkts zur Befriedigung von Nachfrage und den Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben vor: Wenn die Strafkosten gegenüber dem Ausgangsbeispiel ansteigen, dann ist es auch bei $c_{dz} < 10$ GE weiterhin ökonomisch sinnvoll, Produkte wiederaufzubereiten.

Sogar bei keinen Kostenersparnissen, also $c_{dz} = 0$, gibt das Modell von Salema et al. (2007)[150] bei $c_{kp}^W = 1.000.000$ GE vor, dass Produkte wiederaufbereitet werden und ein DZ eröffnet wird. (Die Lösung ist in Abbildung A.7 im Anhang A.2 dokumentiert). Dieser Wert ist natürlich unverhältnismäßig hoch und kann z.B. gesetzliche Vorgaben zur Produktrücknahme wiedergeben.

Die Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben sind fiktive Kosten und müssen für eine sinnvolle Planung der Entscheidung zur Produktrücknahme und -verwertung mit dem Modell von Salema et al. (2007)[150] sorgfältig bestimmt werden. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird angenommen, dass jede Rückgabe eingesammelt werden muss. So lassen sich eindeutig die Kostenersparnisse bestimmen, ab der Refabrikation lohnenswert ist.

Damit die Einsammlung und Rückführung bei $c_{kp}^W = 21$ und $c_{dz} = 10$ GE, $\forall dz \in DZ, k \in K, p \in P$, ökonomisch sinnvoll ist, muss die Produkt-Rückgabemenge mindestens 50% der Nachfragemenge betragen, wie im Ausgangsbeispiel. Für alle niedrigeren Rückgabemengen sind die Kosten verbunden mit der Einsammlung und Rückführung der zurückgegebenen Produkte höher als die Kostenersparnisse durch die Produkt-Rückführung und Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben. Dann wird die Nachfrage weiterhin vollständig befriedigt; die Gesamtkosten enthalten sowohl Standort-Eröffnungs- und Transportkosten als auch Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben.

Die Gesamtkosten des Netzwerks fallen mit der Rückgaberate: Für $rg_{kp} = 0,4$, $\forall k \in K, p \in P$, sind sie niedriger als im Ausgangsbeispiel. Wenn keine Produkte zurückgegeben werden, also bei $rg_{kp} = 0$, $\forall k \in K, p \in P$, sind die Gesamtkosten noch niedriger, da bei keinen Produktrückgaben auch keine Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben oder Kosten für die Einsammlung und Bearbeitung anfallen. In Abbildung 2.14 sind die Gesamtkosten für die unterschiedlichen Rückgaberraten dargestellt. (Die vollständige Lösung für $rg_{kp} = 0,4$, $\forall k \in K, p \in P$, bzw. $rg_{kp} = 0, \forall k \in K, p \in P$, ist in Abbildung A.8 bzw. Abbildung A.9 im Anhang A.2 dokumentiert.)

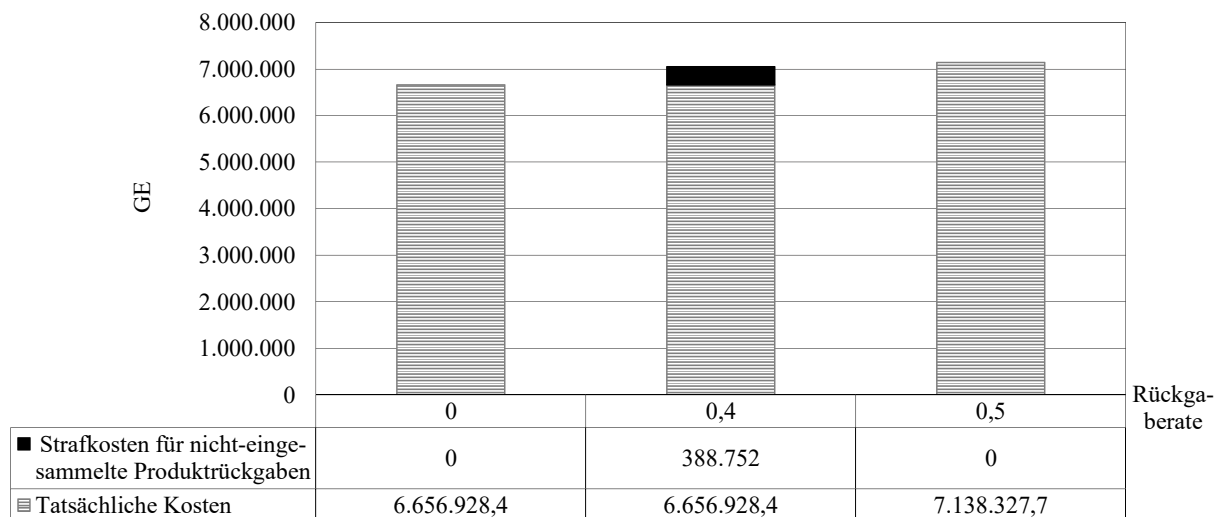


Abbildung 2.14: Gesamtkosten für unterschiedliche Rückgaberraten (Eigene Darstellung)

D.h. nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] unter den gegebenen Strafkosten für nicht eingesammelte Rückgaben und der Kostenersparnis durch Nutzung eines zurück-

gegebenen anstatt neuen Produkts zur Nachfrage-Befriedigung lohnt sich die Rückführung von zurückgegebenen Produkten nicht, obwohl sie zu Kostenersparnissen führt. Der Entscheidungsträger sollte in diesem Fall anstreben, dass keine Produkte zurückgegeben werden.

2.3.4 Fazit und Ausblick

In diesem Abschnitt wurde das diskrete Standortplanungsmodell für ein CLSCN von Salema et al. (2007)[150] in korrigierter Form vorgestellt. Dieses Modell stellt eine Erweiterung des CWLP von Akinc und Khumawala (1977)[4] dar; es berücksichtigt neben vor- auch rückwärtsgerichtete Produktflüsse. Die Sensitivitätsanalysen des Modells von Salema et al. (2007)[150] für das Kopiergerätehersteller-Beispiel aus [52] zeigen, dass die Entscheidungen bzgl. der Standorte und der vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse im CLSCN zusammenhängen und daher gemeinsam geplant werden müssen, um ein optimales Netzwerk zu erreichen.

Weiterhin werden durch das Modell von Salema et al. (2007)[150] neben den Kosten für Standorteröffnungen und Transportmengen im Netzwerk, wie im CWLP, auch Strafkosten minimiert, die die entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage und nicht eingesammelte Rückgaben erfassen.

Durch die Berücksichtigung von Strafkosten für entgangene Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage wird erreicht, dass die Planung nicht nur zu optimalen, sondern auch zu ökonomisch sinnvollen Netzwerken führt. D.h. es werden nur Standorte eröffnet und Produkte transportiert, um Nachfrage zu befriedigen, wenn die Erlöse aus der Befriedigung von Nachfrage die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage übersteigen.

Die Ausgangslösung und Sensitivitätsanalyse des Modells von Salema et al. (2007) [150] haben gezeigt, welchen Einfluss die Annahmen bzgl. Kapazität im diskreten Standortplanungsmodell haben. So liegen in der Ausgangslösung Überkapazitäten in Standorten vor, da die Kapazitäten der Standorte in diskreten Standortplanungsmodellen vorgegeben anstatt durch die Optimierung festgelegt werden.

Weiterhin wird in der Planung die Möglichkeit von unterschiedlich großen Standorten mit

entsprechenden unterschiedlichen Kosten vernachlässigt. Denn die Kosten verbunden mit Standorten sind in diskreten Standortplanungsmodellen grundsätzlich unabhängig von der Standort-Kapazität [106]; in diskreten Standortplanungsmodellen werden keine Kapazitätskosten erfasst und die Standort-Eröffnungskosten sind unabhängig von der Standort-Kapazität. Außerdem wird so der Zusammenhang zwischen Transporten zur Befriedigung von Nachfrage und Standort-Kapazitäten nicht erfasst.

D.h. Kapazitäten wirken auf die Netzwerk-Gestaltung ein und dieser Einfluss sollte in der Planung erfasst werden. Daher wird das diskrete Standortplanungsmodell in Abschnitt 3.2 um Kapazitätsplanung zum FLCPR-Modell weiterentwickelt.

Außerdem hat die Sensitivitätsanalyse des Modells von Salema et al. (2007)[150] gezeigt, dass neben der Produktrückgabemenge auch Strafkosten für nicht eingesamelte Rückgaben und die Kostenersparnisse durch Befriedigung von Nachfrage durch zurückgegebene anstatt neue Produkte die Entscheidung, Produktrückgaben einzusammeln und zu Kunden zurückzuführen, beeinflussen. In Salema et al. (2007)[150] wird angenommen, dass die Einsammlung von Produktrückgaben freiwillig ist, also keine rechtliche Vorgaben zur Produktverantwortung existieren. So werden Rückgaben nur eingesammelt, wenn die Rückführung der Rückgaben ökonomisch sinnvoll ist.

Allerdings wird in dieser Arbeit das Planungsproblem eines Kopiergeräteherstellers, also eines Herstellers in der Elektronikindustrie betrachtet, der in Europa die WEEE-Richtlinie, wie in Abschnitt 1.3 vorgestellt wurde, erfüllen muss. D.h. es existieren rechtliche Vorgaben bzgl. der Einsammlung und Verwertung von Produktrückgaben. Daher wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit angenommen, dass alle Produktrückgaben eingesammelt werden müssen und dann entweder entsorgt oder wiederaufbereitet werden können.

Weiterhin wird im Modell von Salema et al. (2007)[150] angenommen, dass neben Produktrückgaben auch neue Produkte zur Nachfrage-Befriedigung genutzt werden können. Jedoch wird die Beschaffung dieser neuen Produkte nicht erläutert oder mathematisch abgebildet, also wird das sog. „Dual Sourcing“ nicht in die Optimierung miteinbezogen. Daher wird das diskrete Standortplanungsmodell in Abschnitt 3.1 zum FLPR-Modell weiterentwickelt, das die Beschaffung von externen Zulieferern modelliert und dadurch Zulieferer-Standorte und Beschaffungskosten in die Planung miteinbezieht.

Zudem wird im Modell von Salema et al. (2007)[150], sowie in den Modellen in [123] [52] [55] unterstellt, dass Produkte zurückgegeben und die verwertbaren zurückgegebenen Produkte ohne weitere Bearbeitungsschritte als Substitut für neue Produkte wieder in den vorwärtsgerichteten Produktfluss zu Kunden integriert werden können. So planen diese Modelle auch nur Standorte und Transporte, aber keine Produktion oder Wiederaufbereitung.

Diese Modelle sind diskrete Standortplanungsmodelle; wie in diesem Kapitel bereits beschrieben, basiert das diskrete Standortplanungsmodell auf dem Transportmodell, das keine Transformation von Einheiten abbildet. Allerdings hat die Wiederaufbereitungsform Einfluss auf das Netzwerk und dessen Planungsanforderungen, wie in Abschnitt 2.1.1 und 2.1.2 erläutert wurde.

Außerdem sollen die Modelle, die in dieser Arbeit entwickelt werden, das Netzwerk eines Kopiergeräteherstellers mit Refabrikation planen; dort werden wiederaufbereitete Komponenten aus zurückgegebenen Produkten zur Montage von neuwertigen Produkten genutzt, wie in [102] und [109] beschrieben und im folgenden Kapitel in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt wird. Daher wird im folgenden Kapitel in Abschnitt 3.1.3 die Standortplanung um Produktionsplanung zum FLPR-Modell erweitert. Dadurch kann bei der Planung Refabrikation auf Komponenten- anstatt Produktebene erfasst werden.

King et al. (2006)[102] berichten weiterhin von kombinierten Verteil- und Sammelzentren (VSZ) im Netzwerk des Kopiergeräteherstellers, also von Standorten, durch die Produkte zu Kunden fließen und in denen Produktrückgaben von Kunden gesammelt werden. D.h. die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse im Netzwerk teilen sich Standorte; im Netzwerk von Salema et al. (2007)[150] gibt es keine solchen bi-direktionalen Standorte. Im nächsten Kapitel, in Abschnitt 3.1, wird ein Netzwerk mit solchen Standorten vorgestellt und vom FLPR-Modell abgebildet.

Die Sensitivitätsanalyse des Modells von Salema et al. (2007)[150] zeigt weiterhin, dass die Gesamtkosten des Netzwerks unter den gegebenen Beispieldaten am niedrigsten sind, wenn überhaupt keine Produktrückgaben existieren. Durch die statische Modellierung des Modells von Salema et al. (2007)[150], also Betrachtung von nur einer Periode anstatt des PLZ der Produkte, und der Abbildung von Refabrikation auf Produkt(anstatt

Komponenten-)ebene können mögliche ökonomische Vorteile von Refabrikation nicht erfasst werden.

Grundsätzlich ist die Planung ganzer SC mittels eines statischen bzw. einperiodigen Standortplanungsproblems, wie im Modell von Salema et al. (2007)[150], kritisch. Bei einer einperiodigen Betrachtung müssen die Kostenwerte sorgfältig bestimmt werden. Wenn die Kosten verbunden mit den Standorten nicht den gleichen Periodenbezug haben wie Transportkosten und Strafkosten durch entgangene Erlöse, kann ein ungünstiges Verhältnis zwischen diesen Kosten resultieren. Dann sind die Standort-Eröffnungskosten deutlich höher als die Transportkosten und dominieren dadurch die Planung, wie im Anwendungsbeispiel von Fleischmann et al. (2001)[52].

Daraus kann folgen, dass ein statisches diskretes Standortplanungsproblem zu ökonomisch nicht sinnvollen Handlungsempfehlungen führt. Daher wird in Abschnitt 3.2 im FLCPR-Modell die Planung auf einen mehrperiodigen Horizont erweitert; nun können einmalig eröffnete Standorte für mehrere Perioden offen sein und Transporte zwischen offenen Standorten und Kunden können in jeder Periode stattfinden. Mit dem FLCPR-Modell lassen sich dadurch auch zeitliche Effekte, wie eine Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden, abbilden.

Allerdings vernachlässigt das FLCPR-Modell, wie das diskrete Standortplanungsmodell, die taktische Kapazität, die die Bearbeitungsmengen in Standorten begrenzt. Da Refabrikation arbeits- anstatt kapitalintensiv ist, wie von King et al (2006) [102] für Xerox beschrieben, wird in Abschnitt 4.1 das FLCPR-Modell um Personalbestandsplanung zum FLCAPPR-Modell erweitert.

Das FLCAPPR-Modell basiert auf dem diskreten Standortplanungsmodell, d.h. alle Entscheidungen zur CLSC-Planung finden gemeinsam zu langfristigen Zeitpunkten statt. Allerdings werden diese Planungen im SCM unterschiedlichen Planungsebenen zugeordnet, wie bereits in Abschnitt 2.1.2 und 2.1.3 erläutert. Daher wird in Abschnitt 4.2 die gemeinsame Planung der Standorte und Transporte zu unterschiedlichen Entscheidungszeitpunkten untersucht.

3 Standort-, Produktions- und Kapazitätsplanung im Closed-Loop Supply Chain

In diesem Kapitel wird in Abschnitt 3.1 die diskrete Standortplanung um Produktionsplanung erweitert, um ein Optimierungsmodell zur Planung des CLSCN mit VSZ und Refabrikation auf Komponentenebene als Alternative zur externen Beschaffung von neuen Komponenten zu realisieren. Zunächst werden in Abschnitt 3.1.1 quantitative Ansätze aus der Literatur zur kombinierten Standort- und Produktionsplanung präsentiert. Diese Ansätze sind für die Planung der CLSC, die in dieser Arbeit untersucht wird, ungeeignet. Daher wird ein neuer Ansatz zur Abbildung von Produktion und Refabrikation entwickelt.

Dafür wird in Abschnitt 3.1.2 die Produktionsplanung zur taktischen SC-Planung allgemein definiert. Danach werden unterschiedliche quantitative Ansätze zur Produktionsplanung präsentiert und schließlich werden ausgewählte Ansätze zur Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement bei vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen aus der Literatur vorgestellt. Da diese Ansätze nicht zur Erweiterung des Standortplanungsmodells geeignet sind oder die Produktionsplanung mit Refabrikation nicht der in dieser Arbeit untersuchten entspricht, wird ein eigenes Modell ausgearbeitet.

Dazu wird die Refabrikation vom Kopiergerätehersteller Xerox vorgestellt, da es das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit darstellt. Darauf basierend wird das Modell zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation, das APPR-Modell, erstellt. Das Netzwerk des

Kopiergerätehersteller Xerox, also des in dieser Arbeit untersuchten CLSC wird in Abschnitt 3.1.3 vorgestellt. Die Produktionsplanung des APPR-Modells wird in das diskrete Standortplanungsmodells dieses CLSCN aufgenommen. Das „Facility Location Planning with Remanufacturing“ (FLPR)-Modell resultiert und wird mit den Beispieldaten des Kopiergeräteherstellers gelöst, wie das Modell von Salema et al. (2007)[150] im vorherigen Kapitel.

In Abschnitt 3.2 wird der Planungshorizont des FLPR-Modells dann auf mehrere Perioden und um Lagerhaltung und Kapazitätsplanung zum „Facility Location and Capacity Planning with Remanufacturing“ (FLCPR)-Modell erweitert. Die Bedeutung von Lagerhaltung und die Umsetzung in der quantitativen Modellierung wird in Abschnitt 3.2.1 diskutiert. Danach wird in Abschnitt 3.2.2 das FLCPR-Modell vorgestellt.

Mit dem FLCPR-Modell können Standorte und ihre Kapazitäten, aber auch die Lager-, Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmengen in der CLSC optimal über mehrere Perioden hinweg geplant werden, die z.B. die Produktlebensdauer im Markt erfassen. Das FLCPR-Modell wird ebenfalls mit den Beispieldaten des Kopiergeräteherstellers gelöst und durch eine Sensitivitätsanalyse wird gezeigt, welche neuen Erkenntnisse über das Entscheidungsproblem durch den erweiterten Modellierungsansatz erreicht werden.

3.1 Standort- und Produktionsplanung im Closed-Loop Supply Chain

In dieser Arbeit wird ein CLSCN untersucht, das bei produzierenden Unternehmen in Massenmärkten beobachten werden kann, die modulare Produkte herstellen, Refabrikation als Alternative zur externen Beschaffung nutzen und gesetzlich zur Produktrücknahme verpflichtet sind, wie z.B. in der Kopiergeräteindustrie [109] [102]. Zur Planung eines solchen CLSCN wird im Folgenden ein Optimierungsmodell entwickelt; dazu wird ein diskretes Standortplanungsmodell um Produktionsplanung erweitert. Danach wird dieses Modell mit den Beispieldaten des Kopiergeräteherstellers von Fleischmann et al. (2001)[52] gelöst.

3.1.1 Quantitative Ansätze zur kombinierten Standort- und Produktionsplanung

In der Literatur gibt es bereits Ansätze, Produktion im diskreten Standortplanungsmodell zu berücksichtigen. In Akinc (1985)[3] wird ein Netzwerk mit Standorten geplant, in denen unterschiedliche Tätigkeiten ausgeführt werden können. Das mathematische Modell von Akinc (1985)[3] bestimmt kosten-optimal, welche Standorte eröffnet und welche Tätigkeiten dort ausgeübt werden sollen.

Allerdings wird von Akinc (1985)[3] angenommen, dass in allen Standorten alle Tätigkeiten ausgeführt werden können. Dagegen sind die Tätigkeiten im Netzwerk, das in dieser Arbeit untersucht wird, standort-spezifisch, d.h. sie können ausschließlich an den dafür bestimmten Standorten ausgeführt werden. Außerdem wird in Akinc (1985)[3] eine Nachfrage nach Tätigkeit unterstellt und keine Produkt-Nachfrage, wie in dieser Arbeit. Weiterhin wird im Modell von Akinc (1985)[3] weder die Produktion noch Rückführung und Wiederaufbereitung von gebrauchten Produkten berücksichtigt. Daher kann dieser Ansatz nicht zur Abbildung des Entscheidungsproblems dieser Arbeit genutzt werden.

Die Herstellung von Produkten aus Rohmaterialien und die für die Produktion benötigte Technologie haben Paquet et al. (2004)[135] in einem diskreten Standortplanungsmodell berücksichtigt und die Notwendigkeit der Betrachtung dieser Aspekte diskutiert. Das Modell von Paquet et al. (2004)[135] ist aber bereits für ein Netzwerk mit wenigen Stufen und nur vorwärtsgerichteten Flüssen an Einheiten sehr komplex und analytisch nicht lösbar. Daher kann es nicht zur Abbildung der CLSC genutzt werden, die in dieser Arbeit untersucht wird. In dieser Arbeit wird zur Vereinfachung die Herstellung der Komponenten aus Rohmaterial vernachlässigt. Die Produktion und Refabrikation, die in dieser Arbeit untersucht wird, wird im folgenden Abschnitt 3.1.2 detailliert beschrieben.

Weiterhin gibt es multikriterielle Entscheidungsmodelle, die Standorte gemeinsam mit der Produktion planen, wie z.B. in Krikke et al. (2003)[108]. Krikke et al. (2003)[108] haben für einen Kühlschrank-Hersteller ein multikriterielles Entscheidungsmodell mit den Zielen der Minimierung der Kosten durch Standorteröffnungen, Produktion, Refabrikation und Transport, der Minimierung des Energieverbrauchs durch Produktion, Refabrikation und

Transport und der Minimierung des Restmülls, also der Produkte, die nicht wiederaufbereitet werden können, aufgestellt.

Die Standortplanung in Krikke et al. (2003)[108] unterscheidet sich vom diskreten Standortplanungsmodell, das in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt wurde; es gibt nur einen Standorttyp und bei der Entscheidung zur Standorteröffnung wird auch der Prozess bestimmt, der im Standort ausgeübt wird. Im Gegensatz zu Krikke et al. (2003)[108] gibt es im Netzwerk dieser Arbeit unterschiedliche Standorte, und die Tätigkeiten sind standort-spezifisch.

Weiterhin ist im Modell von Krikke et al. (2003)[108] unbefriedigte Nachfrage nicht erlaubt und die Standorte sind nicht kapazitätsbeschränkt. In Abschnitt 2.3.2 wurde bereits erläutert, wie sinnvoll das Konzept der Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse für unbefriedigte Nachfrage ist. Zudem ist in Abschnitt 2.3.2 der Einfluss der Standort-Kapazitäten auf die CLSCN-Planung deutlich geworden, der in dieser Arbeit in Abschnitt 3.2 weiter untersucht wird.

Die Schwerpunkte der Planung in Krikke et al. (2003)[108] unterscheiden sich also von dieser Arbeit. So wird mittels des Modells von Krikke et al. (2003)[108] ebenfalls das Produkt-Design aus einer vorgegebenen Menge ausgewählt, dabei wird neben der Produkterstellung sogar die Herstellung der Komponenten aus Rohmaterial berücksichtigt. Daraus resultiert ein sehr umfangreiches Modell für einen einperiodigen Planungshorizont, welches aber wichtige Aspekte für den Erfolg von Refabrikation, wie z.B. Standort-Kapazitäten oder zeitliche Effekte, vernachlässigt. Der Einfluss dieser Aspekte auf ein CLSCN sollen in dieser Arbeit jedoch untersucht werden.

Das Modell von Krikke et al. (2003)[108] ist zu umfangreich für die in dieser Arbeit geplanten Erweiterungen, wie um Kapazitätsplanung und einen mehrperiodigen Planungshorizont, sodass sie für das Entscheidungsproblem dieser Arbeit ungeeignet ist. Daher muss in dieser Arbeit ein neuer Ansatz zur Integration von Produktionsplanung in die Standortplanung entwickelt werden; im Folgenden wird dieser vorgestellt.

3.1.2 Aggregierte Produktionsplanung mit Refabrikation

Die termin-, kapazitäts- und mengenbezogene Planung und Steuerung einer Produktion wird durch die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) auf der taktischen bzw. operativen SC-Planungsebene erreicht [119]. Die Produktionsplanung wird weiter in die Produktionsprogrammplanung, -bereitstellungsplanung und -prozessplanung unterteilt [103] und unter der Produktionssteuerung sind die Produktionsveranlassung, -überwachung und -sicherung zusammengefasst [180]. Durch die Produktionsplanung wird der prozessorientierte Ablauf der Produktion abgebildet, während durch die Produktionssteuerung die (einzelnen) Aufträge der Produktion geplant werden [119].

In dieser Arbeit wird keine Produktionssteuerung über einen kurzfristigen bzw. operationalen Planungshorizont durchgeführt, sondern die Produktion soll auf der taktischen und strategischen SC-Ebene geplant werden. Dafür wird in diesem Abschnitt ein mathematisches Modell zur aggregierten Produktionsplanung (APP) im CLSCN entwickelt.

Die APP wird der mittelfristigen Produktionsplanung zugeordnet; ihr Planungshorizont ist aber nicht eindeutig definiert: Nach Silver (1967)[158] umfasst er 6 bis 18 Monate. Nach Axsäter (1979)[9] soll der Planungshorizont der APP möglichst einen gesamten saisonalen Zyklus, wie z.B. ein Jahr, abdecken.

Es gibt allerdings auch Modelle zur Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement, die Unsicherheiten in der Planung berücksichtigen und einen unendlichen Planungshorizont unterstellen. Dadurch können mathematisch Lösungen erreicht werden und Handlungsempfehlungen erlangt werden. In Abschnitt 2.1.3 sind solche Modelle bereits diskutiert worden; in diesem Abschnitt werden nur deterministische Ansätze berücksichtigt.

Die APP wird vor einer wöchentlichen, täglichen oder stündlichen, also kurzfristigen bzw. operativen Planung durchgeführt. Sie gibt dieser Planung Rahmenbedingungen vor, wie z.B. die Bestell-, Produktions- und Lagermengen oder die verfügbare taktische Kapazität, wie Maschinen- oder Arbeitsstunden. Die Lösung der APP muss wieder „disaggregiert“ werden [9], damit sie für eine detaillierte kurzfristige Planung, wie z.B. Produktionsabläufe und Maschinenbelegungspläne, genutzt werden kann.

Im Bereich der mathematischen Modellierung ist der Begriff Aggregation nicht eindeutig

mit einem Modellierungsansatz verbunden: Entweder wird etwas Abstraktes, wie die Zeilen oder Spalten eines mathematischen Modells aggregiert oder es wird etwas Konkretes, wie z.B. Produkte, Zeitperioden oder Kapazitäten, aggregiert mathematisch abgebildet [192]. In der APP wird der Term in der letzteren Bedeutung verwendet: Es findet keine Planung für ein Produkt bzw. einen Auftrag statt, sondern die Summe der prognostizierten nachgefragten Produkte einer Periode soll durch die APP in einen kosten-effizienten Plan für Bestell-, Produktions- und Lagermengen unter Einhaltung der taktischen Kapazität für einen gewissen Planungshorizont umgewandelt werden.

Die Entscheidungsalternativen einer APP bestehen aus der Anpassung von Bearbeitungs- oder Lagermengen oder der (taktischen) Kapazität eines Produktionsstandorts als Reaktion auf veränderte Kosten oder Nachfrage über den Planungshorizont [158] [155] [130]. Die (taktische) Kapazität kann als gegeben und fix oder als bestimmbar und veränderbar über den Planungshorizont angenommen werden. Sie beschränkt die Bearbeitungsmenge und kann in Maschinen- oder Arbeitsstunden gemessen werden.

Kapazitätskosten in der APP sind z.B. Lohnkosten des Personalbestands oder Anschaffungskosten für eine Maschine. Weiterhin entstehen Kosten durch die Herstellung von Produkten und ihrer Bauteile bzw. Komponenten, durch externe Beschaffung und Lagerhaltung von Komponenten und Produkten.

Es gibt unterschiedliche Methoden, eine APP umzusetzen. Intuitive Lösungsverfahren zur APP sind z.B. grafische und tabellarische Methoden und heuristische Entscheidungsverfahren sind z.B. die „Search Decision Rule“ durch Simulation nach Taubert (1968)[170]. Diese Ansätze liefern zulässige Lösungen und mit einer Simulation kann eine Produktion möglichst realistisch abgebildet werden, aber beide Ansätze vernachlässigen die Optimierung.

Optimierungsmodelle führen zu einer exakten optimalen Lösung, d.h. zu einem optimalen Produktionsplan im Sinne der Zielsetzung, und können den Einfluss von Parametern, wie z.B. Kosten, auf den Produktionsplan quantitativ bestimmen. Für mathematische Optimierungsmodelle werden allerdings im Vergleich zur Simulation oft restriktive Annahmen getroffen. Z.B. wird von den meisten Optimierungsmodellen zur APP angenommen, dass die Bearbeitungszeit linear mit der Bearbeitungsmenge wächst. Dadurch werden Lern-

effekte in der Bestimmung von Bearbeitungszeiten vernachlässigt, allerdings bleibt das Modell mathematisch exakt lösbar. Ein detaillierter Überblick über die heuristischen Methoden zur APP findet sich in [130].

Die Optimierungsmodelle zur APP können weiter unterteilt werden: Es gibt die sog. lineare Entscheidungsregel nach Holt et al. (1955)[89], ein lineares Modell von Bowman (1956)[19] und die lineare Programmierung (LP), die in Hanssman und Hess (1960)[82] hergeleitet wird [155]. Weiterhin gibt es die Losgrößenmodelle, die die „Economic Order Quantity“(EOQ)-Formel nach Harris (1913)[83] nutzen, um die Produktion kostenoptimal zu planen. Außerdem kann die APP im Kontext mit weiteren Management-Zielen in einem multikriteriellen Entscheidungsmodell erfasst werden, wie von Lee und Moore (1974)[116] vorgestellt.

Es gibt noch weitere Modelle zur APP, die weniger restriktive Annahmen als die vorher genannten Ansätze in der Modellierung machen, um eine realistischere Abbildung der Produktion zu erreichen. Diese Ansätze nutzen z.B. das Prinzip der dynamischen Programmierung (DP) und Kontrolltheorie, um eine Lösung zu erreichen. Nun wird untersucht, welcher dieser Ansätze zur Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells und zur Planung des Entscheidungsproblems dieser Arbeit geeignet ist.

Die Modelle basierend auf der DP und Kontrolltheorie nach Feichtinger und Hartl (1986)[44] zur Planung von Produktionssystemen mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse, wie z.B. in Minner und Kleber (2001)[125], sind ungeeignet, da sie kein einzelnes Produkt mit unterschiedlichem Bedarf an Produktionsinput abbilden. Minner und Kleber (2001)[125] bestimmen die Produktions- und Refabrikationsrate, um die Kosten der Produktion und Lagerhaltung unter Befriedigung der Nachfrage zu minimieren. In dieser Arbeit soll allerdings die Montage von Komponenten zu unterschiedlichen Produkten und die Demontage von Produktrückgaben zu Komponenten mit anschließender Wiederaufbereitung abgebildet werden.

Außerdem sind Losgrößenmodelle für Produktionssysteme mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen, wie z.B. in Schrady (1967)[154], Richter und Sombrutzki (2000)[144], Zhang et al. (2011)[190] und Hsueh (2011)[90], zur Planung der Produktion mit Refabrikation, die in dieser Arbeit untersucht wird, ungeeignet. Losgrößenmodelle werden zur

Planung einer Batchproduktion genutzt [130]; in einer solchen Produktion werden Chargen nacheinander bearbeitet. Es fallen Rüstkosten an, sobald eine Charge beendet und eine neue angefangen wird. Losgrößenmodelle bestimmen mit Hilfe der EOQ-Formel die Losgrößen der Produktion, die die Summe aus Rüst- und Lagerkosten über den Planungshorizont minimieren. Die Produktion mit Refabrikation dieser Arbeit ist jedoch kontinuierlich, da keine Unterbrechung stattfinden muss, um die unterschiedlichen Produkte herzustellen.

Weiterhin sind multikriterielle Entscheidungsmodelle für CLSC, wie z.B. von Krikke et al. (2003)[108], nicht sinnvoll, da sie sehr umfangreich sind. Dadurch ist mit diesen Modellen eine optimale CLSC-Planung über einen mehrperiodigen Planungshorizont nur mit sehr hohem Rechenaufwand oder sogar in keiner vertretbaren Zeit zu erreichen; in Abschnitt 3.1.1 wurde dies bereits diskutiert. Daher wird in dieser Arbeit ein anderer Ansatz zur kombinierten Standort- und Produktionsplanung genutzt.

In Holt et al. (1955)[89] werden Vorhersagen über die Produkt-Nachfrage berücksichtigt und die erwarteten Kosten über den Planungshorizont mittels Differentialrechnung bestimmt. Daher ist dieser Ansatz für die Integration in ein diskretes Standortplanungsmodell ungeeignet. In den mathematischen Modellen nach Bowman (1956)[19] und Hanssman und Hess (1960)[82] wird die Nachfrage als deterministisch angenommen. Das Modell nach Bowman (1956)[19] basiert auf dem klassischen Transportmodell, wie schon das Standortplanungsmodell von Baumol (1957)[12]. Allerdings ist es mit diesem Ansatz nicht möglich, eine Transformation von Produktionsinput zu Produkten abzubilden.

In Hanssman und Hess (1960)[82] wird aus dem Ansatz nach Holt et al. (1955)[89] ein Modell der linearen Programmierung entwickelt. Dieses Modell ist die Grundlage für das „Remanufacturing Aggregate Production Planning“ (RAPP)-Modell von Jayaraman (2006)[96], das die Handy-Refabrikation eines Drittanbieters abbildet. In diesem Modell ist die Refabrikation als Prozess abgebildet, der aus der Demontage des gebrauchten Produkts in seine Komponenten und der Wiederaufbereitung dieser besteht; diese Abbildung der Refabrikation wird in dieser Arbeit übernommen.

Allerdings wird hier die CLSC eines produzierenden Unternehmens anstatt die Refabrikation eines Drittanbieters betrachtet. D.h. zusätzlich zur Refabrikation soll die Herstellung

von (neuwertigen) Produkten aus Produktionsinput geplant werden. Dafür wird im Folgenden das mathematische Modell zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation, das APPR-Modell, entwickelt. Zunächst wird aber die Produktion und Refabrikation vorgestellt, die vom APPR-Modell aggregiert abgebildet werden soll.

Mathematisches Modell zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation

In dieser Arbeit wird eine CLSC mit Refabrikation auf Komponentenebene und Refabrikation als Alternative zur Beschaffung von neuen Komponenten von externen Zulieferern untersucht; diese CLSC kann z.B. beim Kopiergerätehersteller Océ [107] und Xerox [102] festgestellt werden. King et al. (2006)[102] beschreiben die Prozesse, die mit der Produktion und Refabrikation bei Xerox verbunden sind.

Von Xerox werden zwei unterschiedliche Kopiergeräte, das Hodaka und Silverstone Modell, wiederaufbereitet; die Refabrikation besteht aus 7 Stufen. In der ersten Stufe werden die zurückgegebenen Geräte gesammelt, getestet und sortiert, bevor sie weiter zum Standort für die Refabrikation transportiert werden. In der zweiten Stufe werden die Kopiergeräte in drei Haupt-Bauteile bzw. Komponenten, DADF/IIT, IOT/TTM und HCF/CAB/FIN, demontiert. Diese Komponenten werden dann weiter zerlegt, sodass alle Einzelteile in der dritten Stufe gesäubert und lackiert werden können.

In der vierten und fünften Stufe findet die Zusammensetzung der Einzelteile zu Komponenten und weiter zu Kopiergeräten statt. D.h. gebrauchte und gesäuberte Einzelteile zu Komponenten wiederaufbereitet und diese werden gemeinsam mit oder anstelle von extern beschafften Einzelteilen und Komponenten zu Kopiergeräten montiert. Die fertigen Kopiergeräte unterscheiden sich, da auf Kundenforderungen eingegangen wird. In der sechsten Stufe werden die fertigen Kopiergeräte getestet, bevor sie in der siebten Stufe verpackt und zu Kunden verschickt werden.

In diesem Abschnitt wird das APPR-Modell entwickelt, das die Produktion und Refabrikation basierend auf King et al. (2006)[102] mathematisch abbildet. Diese Produktion und Refabrikation ist vereinfacht in Abbildung 3.1 dargestellt; dabei steht P1 und P2 für das Hodaka bzw. Silverstone Modell und M1, M2 und M3 für die Bauteile bzw. Komponenten

DADF/IIT, IOT/TTM bzw. HCF/CAB/FIN.

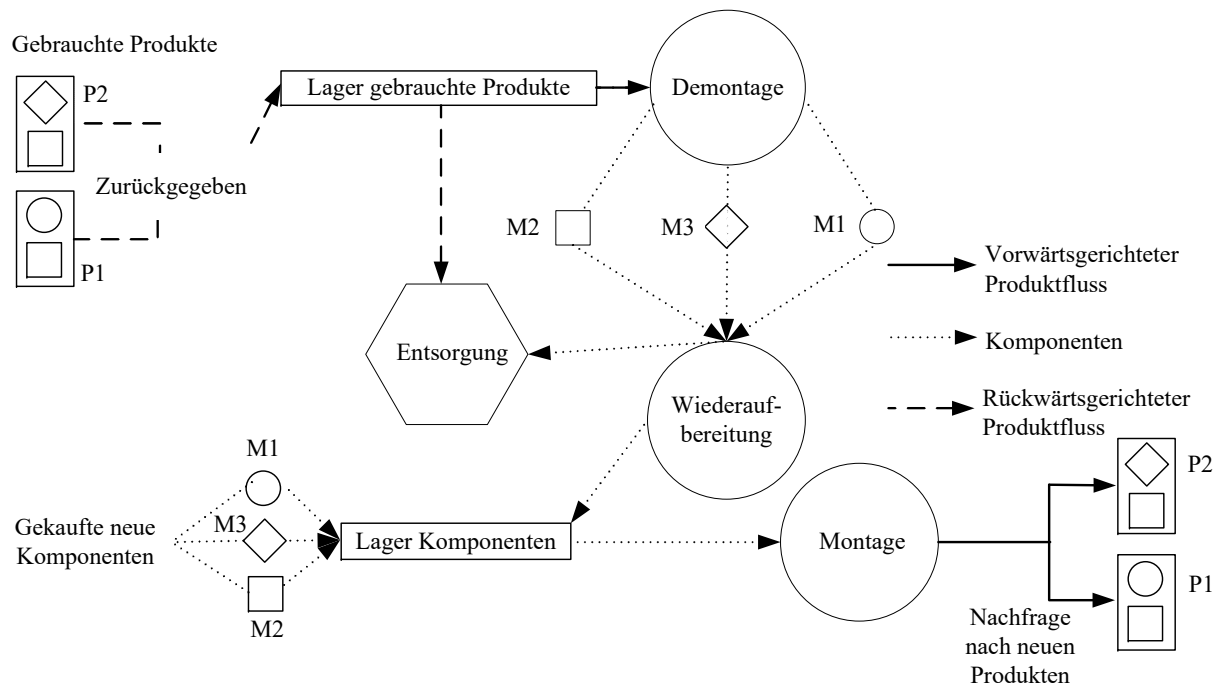


Abbildung 3.1: Produktion und Refabrikation mit Lagerhaltung im APPR-Modell (Eigene Darstellung)

Die Transporte vom bzw. zum Kunden, also Stufe 1 und 7, werden nicht vom APPR-Modell erfasst. Im Folgenden, in Abschnitt 3.1.3, werden die Transporte mit den Standorten im CLSCN durch das diskrete Standortplanungsmodell geplant; hier soll zunächst nur die Produktion und Refabrikation mathematisch abgebildet werden.

Die Refabrikation im APPR-Modell beginnt mit Stufe 2 des Refabrikationsprogramms von Xerox: Gebrauchte, zurückgegebene Produkte können entsorgt, gelagert oder zu Komponenten demontiert werden. Kein Dritter ist an der Produkt-Rückführung beteiligt, d.h. Produktrückgaben sind abhängig von der abgesetzten Menge und können nicht extern beschafft werden. Es wird unterstellt, dass ein Kopiergerät entweder nach einer vertraglich festgelegten Leasingdauer zurückgegeben wird, oder überhaupt nicht, und dann weiter beim Kunden verweilt. Der Anteil an Rückgaben, der für die Refabrikation zur Verfügung steht, wird mit der Rückgaberate angegeben.

Nach der Demontage werden die Komponenten wiederaufbereitet und erreichen dadurch

einen neuwertigen Zustand, oder sie werden entsorgt. Die Refabrikation besteht aus den Prozessen der Demontage und Wiederaufbereitung. Die wiederaufbereiteten neuwertigen Komponenten können gelagert werden oder zur Herstellung von Produkten genutzt werden, die in jeder Periode nachgefragt werden; die Stufen 4 und 5 von Xerox werden zur Vereinfachung zusammengefasst.

Die einzelnen Schritte der Wiederaufbereitung, wie Reinigung und Lackierung (Stufe 3), werden ebenfalls nicht durch das APPR-Modell abgebildet, da keine Ablaufplanung, sondern nur eine grobe Produktionsplanung mit dem APPR-Modell erreicht werden soll. (Der Unterschied zwischen einer Ablaufplanung und der aggregierten Produktionsplanung ist im vorangegangenen Abschnitt bereits erläutert worden.)

Komponenten zur Produkterstellung können auch extern neu beschafft werden. Fertige Produkte werden nicht gelagert, da die hier betrachtete Produktion auftragsbezogen ist, wie in [102] für Xerox beschrieben. Die Stufe 6, also das Testen und Verpacken, wird im APPR-Modell vernachlässigt; da in Stufe 6 keine Einheiten transformiert werden, ist diese Stufe für die aggregierte Produktionsplanung nicht relevant.

Das APPR-Modell bildet die Produktion und Refabrikation über mehrere Perioden hinweg ab. Da das APPR-Modell zur Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells genutzt werden soll und diese Planung einen endlichen Planungshorizont hat, wird angenommen, dass der Planungshorizont des APPR-Modells ebenfalls endlich ist. Der Planungshorizont erfasst die gesamte Lebensdauer der hergestellten Produkte, also den Zeitraum, in dem Nachfrage nach Produkten vorliegt. Daher existiert keine Nachfrage vor dem Anfang oder nach dem Ende des Planungshorizonts. In den Tabellen 3.1 – 3.3 sind alle notwendigen Mengen, Variablen und Parameter aufgeführt.

Tabelle 3.1: Relevante Definitionen für APPR-Modell⁵

Menge	Definition
C	Menge der Komponenten, aus denen die Produkte bestehen, $c \in C$
OP	Menge der Tätigkeiten des rückwärtsgerichteten Produktflusses, $op \in OP$, $OP = D, E, R$

⁵Zusätzliche und veränderte Definitionen zu den Tabellen in Kapitel 2

Tabelle 3.2: Relevante Definitionen für APPR-Modell, fortführend

Menge	Definition
P	Menge der Produkte, $p \in P$
Θ	Menge an mittelfristigen Planungsperioden, $\theta \in \Theta$
Variable	Definition
EI_c	Menge an Komponente c im Lager am Ende des Planungshorizonts, $\forall c \in C$
EI_p	Menge an gebrauchtem Produkt p im Lager am Ende des Planungshorizonts, $\forall p \in P$
$I_{c\theta}$	Menge an Komponente c im Lager am Ende von Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$I_{p\theta}^R$	Menge an gebrauchtem Produkt p im Lager am Ende von Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^{Bes}$	Menge an Komponente c , beschafft von Zulieferern in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$X_{p\theta}^{DemR}$	Menge an zurückgegebenem Produkt p , demontiert in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^{EntR}$	Menge an Komponente c , entsorgt nach der Wiederaufbereitung in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$X_{p\theta}^{EntR}$	Menge an gebrauchtem Produkt p , entsorgt in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$X_{p\theta}^F$	Menge an Produkt p , hergestellt in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^F$	Menge an Komponente c , montiert in Periode θ , $\forall \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^{RemR}$	Menge an Komponente c , wiederaufbereitet in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
$X_{c\theta}^R$	Menge an (neuwertiger) wiederaufbereiteter Komponente c in Periode θ , $\forall c \in C, \theta \in \Theta$
Parameter	Definition
a_{cp}	Menge an Komponente c erreicht durch die Demontage eines Produkts p , $\forall p \in P, c \in C$
b_{cp}	Menge an Komponente c , die in Produkt p enthalten ist, $\forall p \in P, c \in C$
c_c	Kosten für die Beschaffung einer Komponente c , $\forall c \in C$
c_c^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung einer Komponente c , $\forall c \in C$
c_p^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung eines zurückgegebenen Produkts p , $\forall p \in P$
c_p^{Dem}	Kosten für die Demontage eines Produkts p , $\forall p \in P$
c_p^{Mon}	Kosten für die Montage eines Produkts p , $\forall p \in P$
c_c^{Rem}	Kosten für die Refabrikation einer Komponente c , $\forall c \in C$
d_p^{Dem}	Benötigte Zeit für die Demontage eines Produkts p , $\forall p \in P$
d_p^{Ent}	Benötigte Zeit für die Entsorgung eines Produkts p , $\forall p \in P$
d_p^{Mon}	Benötigte Zeit für die Montage eines Produkts p , $\forall p \in P$

Tabelle 3.3: Relevante Definitionen für APPR-Modell, fortführend

Parameter	Definition
d_c^{Rem}	Benötigte Zeit für die Refabrikation einer Komponente c , $\forall c \in C$
h^c	Kosten pro Periode für die Lagerung einer Komponente c , $\forall c \in C$
h_R^p	Kosten pro Periode für die Lagerung eines gebrauchten Produkts p , $\forall p \in P$
$LabCap_{op\theta}^O$	Maximale Arbeitsstunden verfügbar für Tätigkeit op in Periode θ , $\forall op \in OP, \theta \in \Theta$
$LabCap_{Mon\theta}^O$	Maximale Arbeitsstunden verfügbar für die Montage in Periode θ , $\forall \theta \in \Theta$
l	Leasingdauer
$L\Theta$	Letzte Planungsperiode
md^{cDem}	Anteil an Menge von Komponente c , der nach der Demontage mindestens entsorgt werden muss, $\forall c \in C$
$N_{p\theta}$	Nachfrage für Produkt p in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
$rg_{p\theta}$	Rückgaberate für Produkt p in Periode θ , $\forall p \in P, \theta \in \Theta$
sh^c	Kosten für die Entsorgung einer gelagerten Komponente c am Ende des Planungshorizonts, $\forall c \in C$
sh^p	Kosten für die Entsorgung eines gelagerten Produkts p am Ende des Planungshorizonts, $\forall p \in P$

Die Zielfunktion des Modells zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation wird nun vorgestellt und erklärt.

$$\begin{aligned}
 \min \sum_{\theta \in \Theta} & \left(\sum_{p \in P} h_R^p \cdot I_{p\theta}^R + \sum_{c \in C} h^c \cdot I_{c\theta} \right. \\
 & + \sum_{p \in P} c_p^{Mon} \cdot X_{p\theta}^F + \sum_{c \in C} \left(c_c \cdot X_{c\theta}^{Bes} + c_c^{Rem} \cdot X_{c\theta}^{RemR} + c_c^{DEnt} \cdot X_{c\theta}^{EntR} \right) \\
 & + \sum_{p \in P} \left(c_p^{Dem} \cdot X_{p\theta}^{DemR} + c_p^{DEnt} \cdot X_{p\theta}^{EntR} \right) \Big) \\
 & + \sum_{p \in P} sh^p \cdot EI_p + \sum_{c \in C} sh^c \cdot EI_c
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

In der Zielfunktion dieses Modells stehen alle Kosten der Produktion und Refabrikation, die über den Planungshorizont anfallen. Die Lagerkosten ergeben sich aus der Lagerhaltung von gebrauchten Produkten und Komponenten und stehen in Zeile 1. Die Kosten für

die Montage von Komponenten zu Produkten sind in Zeile 2 aufgeführt. Ebenfalls in Zeile 2 sind die Beschaffungs-, Wiederaufbereitungs- und Entsorgungskosten für Komponenten angegeben. In Zeile 3 stehen die Demontage- und Entsorgungskosten für gebrauchte Produkte.

In der letzten Zeile der Zielfunktion stehen die Entsorgungskosten für die Produkte und Komponenten, die am Ende des Planungshorizonts im jeweiligen Lager verbleiben. (Wenn Nachfrage nach dem Ende des Planungshorizonts vorliegt und rollierend geplant wird, dann wird der Lagerendbestand nicht entsorgt und keine entsprechenden Entsorgungskosten fallen an.)

Im Gegensatz zum diskreten Standortplanungsmodell von Salema et al. (2007)[150] gibt es keine Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage. Im APPR-Modell wird unterstellt, dass jede Nachfrage befriedigt werden muss.

Die Zielfunktion des APPR-Modells wird unter Einhaltung der folgenden Nebenbedingungen minimiert.

$$I_{pl+1}^R = rg_{pl+1} \cdot N_{pl+1-l} - X_{pl+1}^{DemR} - X_{pl+1}^{EntR} \quad \forall p \in P \quad (3.2)$$

$$I_{p\theta}^R = I_{p\theta-1}^R + rg_{p\theta} \cdot N_{p\theta-l} - X_{p\theta}^{DemR} - X_{p\theta}^{EntR} \quad \forall p \in P, \theta \in \Theta : \theta > l + 1 \quad (3.3)$$

Produkte werden nach einer Leasingdauer l zurückgegeben; da jede Nachfrage befriedigt werden muss, ist die Rückgabemenge hier ein Anteil an der Nachfrage. Produktrückgaben werden in der Periode $l + 1$ entweder demontiert oder entsorgt oder bleiben am Ende der Periode übrig und werden gelagert.

Die Nebenbedingungen (3.2) geben den Lagerbestand an gebrauchtem Produkt p in Periode θ an, wobei $\theta = l + 1$. Der Lagerbestand in den folgenden Perioden wird durch die Nebenbedingungen (3.3) erfasst. Dieser Lagerbestand ergibt sich aus dem Endbestand der vorherigen Periode und wächst um die zurückgegebenen gebrauchten Produkte der aktuellen Periode. Durch Entsorgung und Entnahme von gebrauchten Produkten zur Demontage wird der Lagerbestand an gebrauchten Produkten verringert.

$$I_{c\theta} = I_{c\theta-1} + X_{c\theta}^{Bes} + X_{c\theta}^R - X_{c\theta}^F \quad \forall c \in C, \theta \in \Theta : \theta > 1 \quad (3.4)$$

Neben gebrauchten Produkten können auch Komponenten für die Produkt-Fertigung gelagert werden. Der Lagerbestand an Komponenten setzt sich zusammen aus den am Ende der vorherigen Periode übrig gebliebenen Komponenten und den beschafften und wieder-aufbereiteten Komponenten der aktuellen Periode. Verringert wird der Bestand durch die Entnahme von Komponenten zur Produkt-Montage.

$$I_{c1} = 0 \quad \forall c \in C \quad (3.5)$$

$$I_{p\theta}^R = 0 \quad \forall p \in P, \theta \in \Theta : \theta \leq l \quad (3.6)$$

Am Anfang des Planungshorizonts, also in $\theta = 1$, ist das Lager an Komponenten und vor Ende der Leasingdauer l ist das Lager an Produktrückgaben leer, wie von den Nebenbedingungen (3.5) bzw. (3.6) vorgegeben. (Wenn der Planungshorizont nicht die Lebensdauer des Produkts, sondern z.B. nur eine Saison umfasst und diese rollierend geplant wird, können positive Lageranfangsbestände vorliegen.)

$$I_{cL\Theta} = EI_c \quad \forall c \in C \quad (3.7)$$

$$I_{pL\Theta}^R = EI_p \quad \forall p \in P \quad (3.8)$$

Die Menge an Komponenten und gebrauchten Produkten, die am Ende des Planungshorizonts, d.h. in Periode $L\Theta$, im jeweiligen Lager verbleiben, werden durch die Nebenbedingungen (3.7) und (3.8) den entsprechenden Variablen EI_c bzw. EI_p zugeordnet.

$$X_{c\theta}^F = \sum_{p \in P} b_{cp} \cdot X_{p\theta}^F \quad \forall c \in C, \theta \in \Theta \quad (3.9)$$

Die Nebenbedingungen (3.9) geben die Menge der Komponente c an, die in Periode θ für das Zusammensetzen von Produkt p im Werk benötigt wird.

$$\sum_{p \in P} a_{cp} \cdot X_{p\theta}^{DemR} = X_{c\theta}^{RemR} \quad \forall c \in C, \theta \in \Theta \quad (3.10)$$

Die Nebenbedingungen (3.10) bestimmen die Menge an Komponente c , die durch die

Demontage von gebrauchtem Produkt p gewonnen werden kann.

$$X_{c\theta}^{RemR} \cdot md^{cDem} = X_{c\theta}^{EntR} \quad \forall c \in C, \theta \in \Theta \quad (3.11)$$

Aus historischen Werten, lässt sich der Parameter md^{cDem} schätzen, der angibt, wie viele Komponenten nicht durch Wiederaufbereitung in einen neuwertigen Zustand überführt werden kann und entsorgt werden muss; die Entsorgungsmenge an Komponenten für jede Periode ist durch die Nebenbedingungen (3.11) definiert.

$$X_{c\theta}^R = X_{c\theta}^{RemR} - X_{c\theta}^{EntR} \quad \forall c \in C, \theta \in \Theta \quad (3.12)$$

Die Nebenbedingungen (3.12) geben die Menge der Komponente c an, die durch die Wiederaufbereitung in einen neuwertigen Zustand erreicht und daher für die Montage von (neuwertigen) Produkten genutzt werden können.

$$N_{p\theta} = X_{p\theta}^F \quad \forall p \in P, \theta \in \Theta \quad (3.13)$$

Die Nachfrage nach Produkt p der Periode θ muss in Periode θ durch die Produktionsmenge befriedigt werden.

$$\sum_{p \in P} d_p^{Mon} \cdot X_{p\theta}^F \leq LabCap_{Mon\theta}^O \quad \forall \theta \in \Theta \quad (3.14)$$

Die Anzahl an montierten Produkten pro Periode ist durch die verfügbaren Arbeitsstunden des Personalbestands für diese Tätigkeit limitiert: Es können nicht mehr Arbeitsstunden für die Produkt-Montage in einer Periode eingesetzt werden, als dafür verfügbar sind.

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \left(d_p^{Dem} \cdot X_{p\theta}^{DemR} + d_{p\theta}^{Ent} \cdot X_{p\theta}^{Entr} \right) \\ & + \sum_{c \in C} \left(d_c^{Rem} \cdot X_{c\theta}^{Rem} + d_{c\theta}^{Ent} \cdot X_{c\theta}^{Entr} \right) \leq \sum_{op \in OP} LabCap_{op\theta}^O \quad \forall \theta \in \Theta \end{aligned} \quad (3.15)$$

Die in einer Periode für die Demontage, Refabrikation und Entsorgung verfügbaren Ar-

beitsstunden sind begrenzt.

$$\begin{aligned} I_{c\theta}, I_{p\theta}^R, X_{c\theta}^{Bes}, X_{p\theta}^{DemR}, X_{c\theta}^{EntR}, X_{p\theta}^{EntR}, X_{p\theta}^F, \\ X_{c\theta}^F, X_{c\theta}^{RemR}, X_{c\theta}^R \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall c \in C, p \in P, \theta \in \Theta \end{aligned} \quad (3.16)$$

Die Entscheidungsvariablen, die die Lagerbestände und Bearbeitungs-, Beschaffungs- und Entsorgungsmengen beschreiben, sind ganzzahlige und positive Variablen. Da alle Variablen ganzzahlig und die Nebenbedingungen und Zielfunktion linear sind, eignet sich das APPR-Modell für die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodell.

Im nächsten Abschnitt wird erläutert, wie die Produktionsplanung des APPR-Modells in das diskrete Standortplanungsmodell integriert wird.

Integration der APPR-Modellierung in das diskrete Standortplanungsmodell

Das APPR-Modell bildet die aggregierte Produktionsplanung mit Refabrikation an einem Standort mathematisch ab. Dagegen soll in dieser Arbeit die gesamte CLSC, also ein Netzwerk von unterschiedlichen Standorten und Kundenstandorten, die miteinander verbunden sind, geplant werden.

In diesem Netzwerk findet die Montage von Produkten in Werken und die Demontage und Wiederaufbereitung von gebrauchten Produkten bzw. deren Komponenten in Wiederaufbereitungszentren (WZ) statt. D.h. die Produktion und Refabrikation wird in unterschiedlichen anstatt einem Standort durchgeführt. In Abbildung 3.2 ist dieses Produktionssystem für ein Werk und WZ dargestellt. Allerdings werden bei der Standortplanung im Netzwerk mehrere potentielle Werke und WZ berücksichtigt.

So müssen auch Transporte zwischen Standorten geplant werden, die im APPR-Modell mit nur einem Standort für Produktion und Refabrikation natürlich nicht notwendig sind. Außerdem besteht das in dieser Arbeit untersuchte CLSCN nicht nur aus Werken und WZ, sondern auch aus Verteil- und Sammelzentren (VSZ), von denen Produkte zu Kunden umgeschlagen und zurückgegebene Produkte eingesammelt werden. Desweiteren kommen gegebene Standorte, wie Zulieferer und Kunden dazu; im folgenden Abschnitt 3.1.3 wird dieses Netzwerk detaillierter beschrieben.

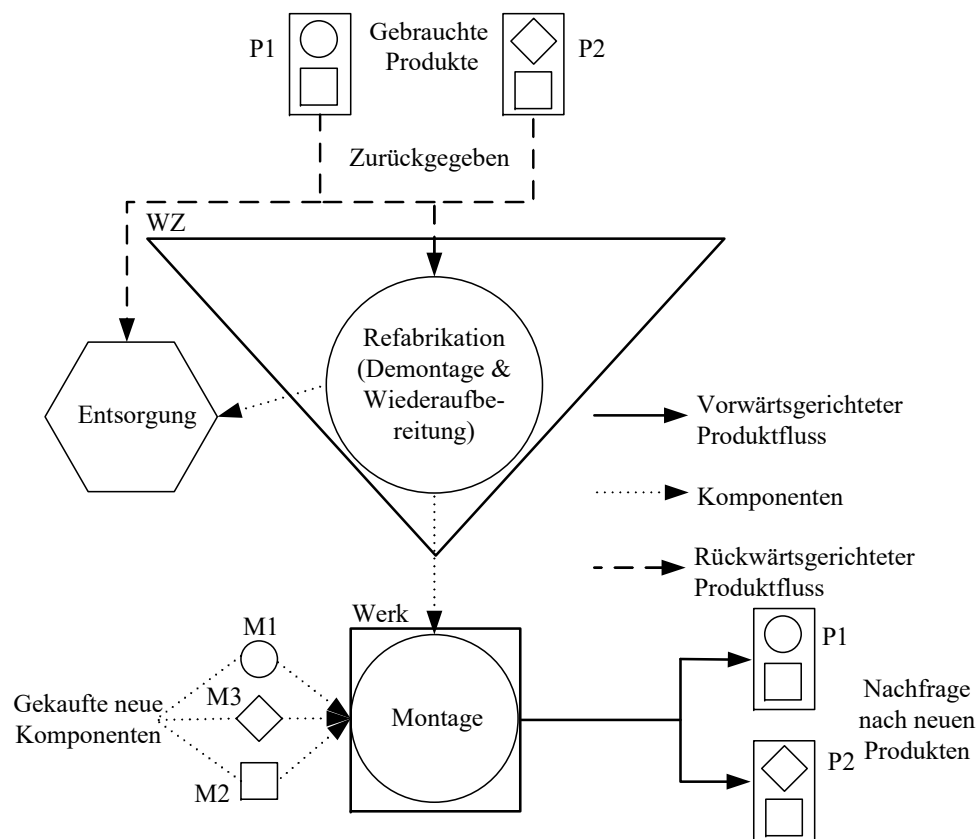


Abbildung 3.2: Produktion und Refabrikation im FLPR-Modell für ein Werk und WZ (Eigene Darstellung)

Im Gegensatz zum APPR-Modell wird die Entsorgung und Beschaffung im diskreten Standortplanungsmodell als Transport zur Entsorgungseinheit bzw. Transportmenge vom Zulieferer abgebildet. Die Befriedigung von Nachfrage wird ebenfalls abweichend vom APPR-Modell als Produkttransport zu Kundenstandorten abgebildet. Im APPR-Modell muss jede Nachfrage befriedigt werden, wie im CWLP in Abschnitt 2.2.1.

Allerdings berücksichtigt diese Modellierung nur die Kosten des Entscheidungsproblems und vernachlässigt die Erlöse aus der Befriedigung von Nachfrage, wie bereits in Abschnitt 2.2.1 diskutiert. Ein erweitertes diskretes Standortplanungsmodell, das unbefriedigte Nachfrage zulässt und diese gewichtet mit sog. Strafkosten in der Zielfunktion minimiert, wurde in Abschnitt 2.3.2 präsentiert. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird diesem Ansatz gefolgt und unbefriedigte Nachfrage erlaubt. So werden neben Kosten auch Erlöse mit in die Planung einbezogen und im Gegensatz zum APPR-Modell werden ökonomisch sinnvolle Lösungen für den Entscheider erreicht, wie bereits in Abschnitt 2.2.2 erläutert.

Die Demontage und Wiederaufbereitung werden im APPR-Modell als separate Tätigkeiten abgebildet. Im Folgenden werden diese zur Vereinfachung zu einer Tätigkeit, der Refabrikation, zusammengefasst, siehe Abbildung 3.2.

Im Folgenden wird zunächst ein einperiodiges diskretes Standortplanungsmodell um die Nebenbedingungen des APPR-Modells, die die Produktion und Refabrikation abbilden, zum „Facility Location Planning with Remanufacturing“ (FLPR)-Modell erweitert. So werden optimale Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen gemeinsam mit Standorteröffnungen und Transportmengen zu einem Entscheidungszeitpunkt bestimmt. Dafür wird angenommen, dass die Nachfrage und Rückgabe eines Produkts in der gleichen Periode stattfindet, wie im Modell von Salema et al. (2007)[150], das bereits in Abschnitt 2.3 vorgestellt wurde. Wenn die Planungsperiode ausreichend lang ist, kann die Nachfrage und Rückgabe eines Produkts in der gleichen Periode vorkommen.

Allerdings wird so der Einfluss einer Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden und der PLZ auf die CLSC-Planung vernachlässigt; dieser Effekt wurde bereits in Abschnitt 2.1.2 diskutiert. Daher wird das FLPR-Modell im weiteren Verlauf dieser Arbeit, in Abschnitt 3.2, zu einem dynamischen bzw. mehrperiodigen Standortplanungsmodell mit Lagerhaltung weiterentwickelt, sodass die Produktion und Refabrikation mit Lagerhaltung basierend auf dem (mehrperiodigen) APPR-Modell in das Entscheidungsproblem aufgenommen wird.

Im Anschluss daran, in Kapitel 4, wird das FLCPR-Modell um Personalbestandsplanung zum FLCAPPR-Modell erweitert. Im FLCAPPR-Modell wird der Personalbestand als veränderbar anstatt fix, wie im APPR-Modell, angenommen. Danach wird untersucht, ob die Planung weiter verbessert werden kann, in dem unterschiedliche Entscheidungszeitpunkte für die Planungen berücksichtigt werden.

3.1.3 Mathematisches Modell zur Planung von kapazitierten Standorten, Produktion und Refabrikation

In diesem Abschnitt wird das FLPR-Modell vorgestellt, das das CLSCN mit der oben vorgestellten Produktion und Refabrikation optimal plant. In Abbildung 3.3 ist das Netz-

werk mit den potentiellen Standorten und Transportwegen dargestellt. Die Standorte von Zulieferern und Kunden sind gegeben, die Standorte der VSZ, Werke und WZ, sowie die Transport-, Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen im Netzwerk müssen optimal bestimmt werden.

In diesem Netzwerk fließen vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse durch einen gemeinsamen Standort, durch das VSZ: Produkte werden von VSZ zu Kunden transportiert und die zurückgegebenen Produkte werden in VSZ gesammelt. Dabei muss das VSZ, von dem das Produkt zum Kunden fließt, nicht mit dem VSZ-Standort übereinstimmen, in dem das Produkt zurückgegeben wird. Solche bi-direktionalen Standorte können zu Einsparungen von Fixkosten und zu zunehmenden Skalenerträgen führen [55].

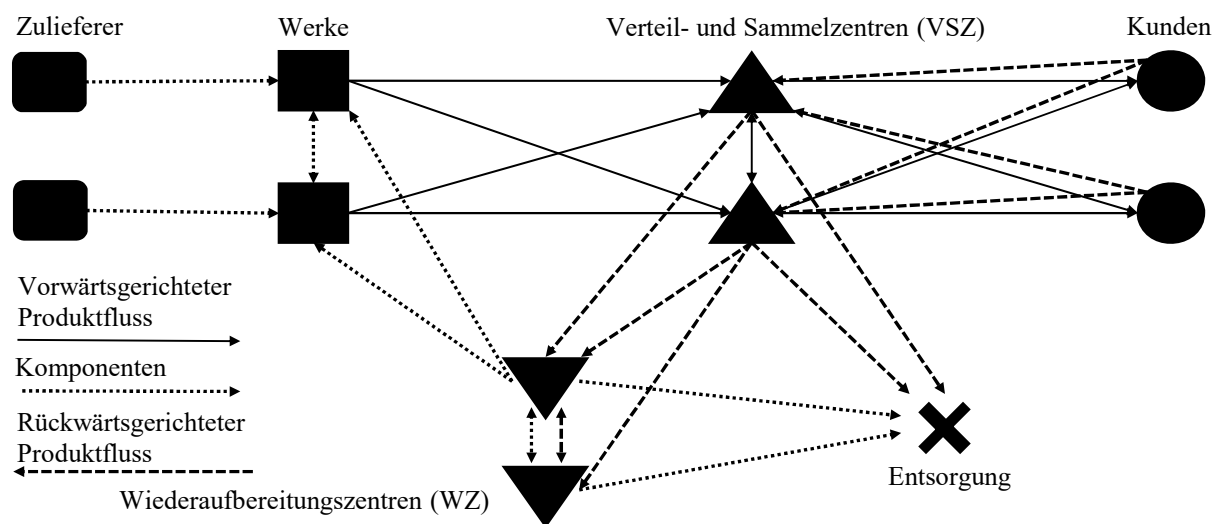


Abbildung 3.3: Mehr-Güter-Netzwerk mit kombinierten VSZ (Eigene Darstellung)

Im VSZ werden zurückgegebene Produkte einer ersten Sichtprüfung unterzogen. Wenn zurückgegebene Produkte diese Prüfung nicht bestehen, werden sie entsorgt, da eine Refabrikation nicht möglich oder zu teuer ist. Durch diese Prüfung am Sammelstandort können Transportkosten für nicht wiederaufbereitbare zurückgegebene Produkte eingespart werden, die sonst direkt vom Kunden zum Standort der Wiederaufbereitung gebracht worden wären. Beim Kopiergerätehersteller Xerox ist dieser Vorgang die erste Stufe des Refabrikationsprogramms, wie in Abschnitt 3.1.2 nach [102] beschrieben.

Außerdem wird hier angenommen, dass der Entscheidungsträger, also das produzierende

de Unternehmen, gesetzlich zur Rücknahme von gebrauchten Produkten verpflichtet ist (anstatt freiwilliger Rücknahme). Durch die WEEE-Richtlinien [41] [42] haben u.a. auch Kopiergerätehersteller gesetzliche Rücknahme- und Verwertungsvorgaben zu erfüllen. Also muss jedes zurückgegebene Produkt eingesammelt werden; diese Produkte werden aber nur wiederaufbereitet (anstatt entsorgt), wenn es ökonomisch vorteilhaft ist.

Dann werden die zurückgegebenen Produkte, die die Sichtprüfung im VSZ bestanden haben, weiter zum WZ transportiert. Im WZ werden diese Produkte zu Komponenten demontiert, die dann wiederaufbereitet werden. (Die Refabrikation wurde bereits in Abbildung 3.2 in Abschnitt 3.1.2 dargestellt.) Die Komponenten, die nach der Refabrikation keinen neuwertigen Zustand erreichen, müssen entsorgt werden; die anderen wiederaufbereiteten, neuwertigen Komponenten können vom WZ zum Werk transportiert werden. Es ist auch möglich, Komponenten neu von externen Zulieferern zu beschaffen.

In Werken werden die Komponenten zur Fertigung von unterschiedlichen Produkten benötigt; die Produktion wurde ebenfalls bereits in Abbildung 3.2 in Abschnitt 3.1.2 erläutert. Die Zusammensetzung von unterschiedlichen Produkten aus Komponenten unterscheidet sich mindestens hinsichtlich einer Komponente voneinander. Komponenten können produktspezifisch sein oder Komponenten werden für die Montage von unterschiedlichen Produkten genutzt. D.h. mit dem FLPR-Modell ist es möglich, im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2, das Produkt-Design mathematisch abzubilden. Fertige Produkte fließen von Werken über VSZ zu Kunden.

Außerdem ist es in diesem Netzwerk möglich, Produkte bzw. Komponenten auf einer Netzwerkebene, also zwischen gleichen Standorttypen, zu transportieren: Zwischen VSZ können Produkte, zwischen Werken können Komponenten und zwischen DZ können zurückgegebene Produkte und Komponenten fließen.

Die Demontage kann der reverse Vorgang der Montage sein, muss es aber nicht, wie in [168] diskutiert. Es können unterschiedliche Bearbeitungsschritte für die Demontage bzw. Montage notwendig sein oder bestimmte Komponenten können nicht als neuwertig wiederaufbereitet werden. Z.B. muss in der Montage von neuwertigen Kopiergeräten bei Xerox die Steuerungseinheit aus gebrauchten Kopiergeräten neu programmiert, aktualisiert oder sogar komplett gegen eine technisch neue Variante ausgewechselt werden [102].

Dann unterscheidet sich die Demontage von der Montage. Allerdings überschreitet diese detaillierte Abbildung der Montage bzw. Demontage den Rahmen der aggregierten Produktionsplanung und diese Bearbeitungsschritte werden daher vernachlässigt.

Die Tabellen 3.4 und 3.5 enthalten die für das FLPR-Modell relevanten zusätzlichen Definitionen. Im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 sind hier, wie auch schon in Abschnitt 3.1.2, alle Variablen in Produkt- oder Komponenteneinheiten angegeben. So kann die Transformation von Produkten aus bzw. zu Komponenten dargestellt werden.

Komponenten fließen in Werke hinein und nach der Montage verlassen Produkte die Werke. In das WZ fließen (gebrauchte) Produkte hinein und nach der Refabrikation fließen aus dem WZ Komponenten heraus. Diese Durchflussmengen werden durch die Standort-Kapazität begrenzt. Durch die Transformation und, da Komponenten und Produkte unterschiedlichen Kapazitätsbedarf haben, kann die Standort-Kapazität im Gegensatz zum CWLP und zum Modell von Salema et al. (2007)[150] aus Abschnitt 2.2.1 bzw. 2.3.2 nicht mehr in Produkteinheiten angegeben werden. In dieser Arbeit wird daher das Volumen der Komponenten bzw. Produkte als gemeinsame Einheit zur Erfassung der Standort-Kapazität festgelegt.

Tabelle 3.4: Relevante Definitionen für FLPR-Modell⁶

Menge	Definition
FD	Menge der potentiellen Werke und der Entsorgungsstandort D , $f \in FD$
RD	Menge der potentiellen WZ und der Entsorgungsstandort D , $r \in RD$
V	Menge der potentiellen VSZ, $v \in V$
Z	Menge der fixen Zulieferstandorte für Komponenten, $z \in Z$
Variable	Definition
EXI_x^{yw}	Menge an x transportiert von Standort y zu Standort w auf der gleichen Netzwerkebene, $\forall y, w \in F \cup V \cup R : y \neq w, x \in C \cup P$
U_p^k	Menge an unbefriedigter Nachfrage nach Produkt p von Kunde k , $\forall k \in K, p \in P$
X_x^y	Menge an x bearbeitet in Standort y , $\forall y \in F \cup R, x \in C \cup P$

⁶Zusätzliche und veränderte Definitionen zu den Tabellen in Kapitel 2 und zu Tabelle 3.1 – 3.3

Tabelle 3.5: Relevante Definitionen für FLPR-Modell, fortführend

Variable	Definition
X_x^{yw}	Menge an x transportiert von Standort y zu Standort w , $\forall y, w \in FD, V, RD, Z, K : y \neq w, x \in C \cup P$
Y^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ eröffnet wird, } \forall y \in F \cup V \cup R \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
Parameter	Definition
Cap_y^O	Maximale Kapazität in Standort y (in m^3), $\forall y \in F \cup V \cup R$
Cap_y^U	Minimale Kapazität in Standort y (in m^3), $\forall y \in F \cup V \cup R$
c_z^c	Kosten für die Beschaffung von Komponente c von Zulieferer z , $\forall z \in Z, c \in C$
c^{DEnt}	Kosten für die Entsorgung einer Einheit
c_{yw}^x	Kosten für den Transport einer Einheit x von Standort y zu Standort w (per km), $\forall y, w \in Z, F, V, R, K : y \neq w, x \in C \cup P$
c_y	Kosten für die Bearbeitung einer Einheit an Standort y , $\forall y \in F \cup R$
g_x	Volumen, das für eine Einheit x benötigt wird (in m^3), $\forall x \in C \cup P$
md	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der nach der Sichtprüfung im VSZ mindestens zu entsorgen ist
md^c	Anteil an Menge von Komponente c , der nach der Refabrikation mindestens entsorgt werden muss, $\forall c \in C$
t_{yw}	Distanz zwischen Standort y zu einem anderen Standort w (in km), $\forall y, w \in Z, F, V, K : y \neq w$

Nun wird die Zielfunktion des FLPR-Modells aufgestellt und im Folgenden erklärt.

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{r \in R} f_r \cdot Y^r + \sum_{v \in V} f_v \cdot Y^v + \sum_{f \in F} f_f \cdot Y^f \\
 & + \sum_{k \in K, p \in P} c_{kp}^U \cdot U_p^k \\
 & + \sum_{z \in Z, c \in C, f \in F} (c_{zf}^c \cdot t_{zf}^c + c_z^c) \cdot X_c^{zf} + \sum_{r \in R, c \in C, f \in F} c_{rf}^c \cdot t_{rf}^c \cdot X_c^{rf} \\
 & + \sum_{r \in R, c \in C} c_r \cdot X_c^r + \sum_{f \in F, p \in P} c_f \cdot X_p^f \\
 & + \sum_{f \in F, v \in V, p \in P} c_{fv}^p \cdot t_{fv} \cdot X_p^{fv} + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{vk}^p \cdot t_{vk} \cdot X_p^{vk} \\
 & + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{kv}^p \cdot t_{kv} \cdot X_p^{kv} + \sum_{v \in V, r \in R, p \in P} c_{vr}^p \cdot t_{vr} \cdot X_p^{vr} \\
 & + c^{DEnt} \cdot \left(\sum_{v \in V, p \in P} X_p^{vD} + \sum_{r \in R, c \in C} X_c^{rD} \right)
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{c \in C, r, s \in R: r \neq s} c_{rs}^c \cdot t_{rs} \cdot EXI_c^{rs} + \sum_{p \in P, r, s \in R: r \neq s} c_{rs}^p \cdot t_{rs} \cdot EXI_p^{rs} \\
 & + \sum_{c \in C, f, i \in F: f \neq i} c_{fi}^c \cdot t_{fi} \cdot EXI_c^{fi} + \sum_{p \in P, v, j \in V: v \neq j} c_{vj}^p \cdot t_{vj} \cdot EXI_p^{vj}
 \end{aligned}$$

Die Zielfunktion des FLPR-Modells minimiert die Gesamtkosten des CLSCN. Diese Kosten setzen sich zusammen aus den Eröffnungskosten für WZ, VSZ und Werke in Zeile 1, Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage in Zeile 2 und Transportkosten für die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse von Werken über VSZ zu Kunden in Zeile 5 bzw. von Kunden über VSZ zu WZ in Zeile 6. Die Entsorgungskosten für nicht wiederverwertbare Produktrückgaben und Komponenten stehen in Zeile 7.

Die Kosten für die Beschaffung und den Transport von Komponenten von Zulieferern zu Werken in Zeile 3 kommen gegenüber dem Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 neu hinzu. Desweiteren stehen in Zeile 3 die Kosten, die durch den Transport von Komponenten von WZ zu Werken entstehen.

Die Bearbeitungskosten in WZ und Werken in Zeile 4 sind ebenfalls Erweiterungen gegenüber dem Modell von Salema et al. (2007)[150]. Zudem kommen die Kosten in Zeile 8 und 9 neu hinzu, die durch den Transport von Komponenten und Produkten zwischen gleichen Standorttypen verursacht werden.

Nun werden die Nebenbedingungen des FLPR-Modells vorgestellt und erläutert.

$$\sum_{v \in V} X_p^{vk} + U_p^k = N_{kp} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (3.18)$$

Produkte werden von VSZ zu Kunden transportiert, um deren Nachfrage zu befriedigen, oder Nachfrage bleibt unbefriedigt; unbefriedigte Nachfrage wird durch U_p^k erfasst.

$$\sum_{v \in V} X_p^{kv} = rg_{kp} \cdot \sum_{v \in V} X_p^{vk} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (3.19)$$

Die Nebenbedingungen (3.19) geben den rückwärtsgerichteten Produktfluss zwischen VSZ und Kunden an. Die Rückgabemenge ist das Produkt aus der Rückgaberate mit der Menge an Produkten, die vorwärts zu Kunden fließt. Jedes von Kunden zurückgegebene Produkt wird im VSZ eingesammelt, da der Hersteller zur Produktrücknahme verpflichtet ist.

$$\sum_{f \in F} X_p^{fv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_p^{jv} = \sum_{k \in K} X_p^{vk} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_p^{vj} \quad \forall v \in V, p \in P \quad (3.20)$$

Die Nebenbedingungen (3.20) sichern, dass die Produkte, die von Werken und anderen VSZ in ein VSZ hineinfließen, wieder zu anderen VSZ-Standorten oder zu Kunden herausfließen. (In einem VSZ geht also nichts verloren.)

Das FLPR-Modell plant zusätzlich zu Transportmengen zwischen Standorten, wie im CWLP in Abschnitt 2.2.1 bzw. im Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2, auch die Beschaffungsmenge von Zulieferern und Bearbeitungsmengen in Werken und WZ. Die Nebenbedingungen (3.21) - (3.24) definieren die Demontage und Montage und den Zusammenhang zwischen Transport-, Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen.

$$\sum_{v \in V} X_p^{fv} = X_p^f \quad \forall f \in F, p \in P \quad (3.21)$$

Die Nebenbedingungen (3.21) geben vor, dass alle Produkte, die in Werken montiert werden, zu VSZ transportiert werden.

$$X_c^f = \sum_{p \in P} b_{cp} \cdot X_p^f \quad \forall f \in F, c \in C \quad (3.22)$$

Die Nebenbedingungen (3.22) geben an, wie viele Komponenten für die Produkt-Montage in einem Werk benötigt werden; sie basieren auf dem APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2. Allerdings kann Montage nun in jedem potentiellen Werk anstatt einem Standort stattfinden.

$$\sum_{z \in Z} X_c^{zf} + \sum_{r \in R} X_c^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_c^{if} = \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_c^{fi} + X_c^f \quad \forall f \in F, c \in C \quad (3.23)$$

Komponenten können von Zulieferern, WZ und anderen Werken in ein Werk fließen. Sie werden zu anderen Werken weiter transportiert oder zur Produktmontage genutzt; es findet keine Lagerhaltung statt.

$$X_c^r = \sum_{p \in P} a_{cp} \cdot X_p^r \quad \forall r \in R, c \in C \quad (3.24)$$

Die Menge an Komponente c im WZ, die durch die Refabrikation von gebrauchten Produkten gewonnen werden kann, wird durch die Nebenbedingungen (3.24) bestimmt; diese Abbildung der Refabrikation basiert auf dem APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2. Nun gibt es allerdings mehrere potentielle WZ, so müssen diese Nebenbedingungen für jedes potentielle WZ gelten.

Die rückwärtsgerichteten Flüsse an Produkten und Komponenten im Netzwerk werden durch die folgenden Nebenbedingungen (3.25) - (3.29) definiert.

$$\sum_{k \in K} X_p^{kv} = \sum_{r \in RD} X_p^{vr} \quad \forall v \in V, p \in P \quad (3.25)$$

Die von Kunden in VSZ zurückgegebenen Produkte werden zu WZ transportiert oder entsorgt.

$$X_p^{vD} \geq md \cdot \sum_{k \in K} X_p^{kv} \quad \forall v \in V, p \in P \quad (3.26)$$

Aus Erfahrungswerten bzw. historischen Daten lässt sich der Ausschuss-Anteil an zurückgegebenen Produkten ableiten, der vorgibt, wie viele zurückgegebene Produkte mindestens entsorgt werden müssen, da sie die Sichtprüfung im VSZ nicht bestehen.

$$md^c \cdot X_c^r \leq X_c^{rD} \quad \forall r \in R, c \in C \quad (3.27)$$

Ein Anteil an wiederaufbereiteten Komponenten erfüllt die Vorgaben für neuwertige Komponenten nicht – bekannt wiederum aus Erfahrungswerten bzw. historischen Daten. Die Nebenbedingungen (3.27) geben vor, dass dieser Anteil an wiederaufbereiteten Komponenten mindestens entsorgt werden muss.

$$\sum_{v \in V} X_p^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_p^{sr} = \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_p^{rs} + X_p^r \quad \forall r \in R, p \in P \quad (3.28)$$

In ein WZ können zurückgegebene Produkte von VSZ und von anderen WZ hineinfließen. Diese Produkte werden zu anderen WZ transportiert oder im WZ wiederaufbereitet.

$$X_c^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_c^{sr} = \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_c^{rs} + \sum_{f \in F} X_c^{rf} \quad \forall r \in R, c \in C \quad (3.29)$$

Die Nebenbedingungen (3.29) sichern, dass Komponenten, die in einem WZ wiederaufbereitet werden oder von anderen WZ ins WZ transportiert werden, das WZ zu anderen WZ oder Werken verlassen.

Durch die Erweiterung um die Abbildung der Transformation von Komponenten zu Produkten in Werken und vice versa in WZ unterscheidet sich der Kapazitätsbedarf der ein- und ausgehenden Flüsse von Werken und WZ. Daher muss im Gegensatz zum CWLP in Abschnitt 2.2.1 und zum Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 die Kapazität der ein- und ausgehenden Flüsse von Werken und WZ begrenzt werden.

Die folgenden Nebenbedingungen (3.30) - (3.34) sorgen dafür, dass die Durchflussmenge der Standorte die untere und obere Kapazitätsgrenze des jeweiligen Standorts einhält. (In der Abbildung 3.2 im Abschnitt 3.1.2 wird die Transformation der Einheiten in einem WZ und Werk dargestellt.)

$$Cap_f^U \cdot Y^f \leq \sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{z \in Z} X_c^{zf} + \sum_{r \in R} X_c^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_c^{if} \right) \leq Cap_f^O \cdot Y^f \quad \forall f \in F \quad (3.30)$$

Die Nebenbedingungen (3.30) begrenzen das Volumen der Komponenten, die in offene Werke fließen, mit der unteren und oberen Kapazitätsgrenze des jeweiligen Werks.

$$Cap_f^U \cdot Y^f \leq \sum_{p \in P} g_p \cdot X_p^{fv} + \sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_c^{fi} \leq Cap_f^O \cdot Y^f \quad \forall f \in F \quad (3.31)$$

Die Nebenbedingungen (3.31) beschränken das Volumen des Flusses an Produkten und Komponenten, der ein Werk verlässt, durch die untere und obere Kapazitätsgrenze des jeweiligen Werks.

$$Cap_v^U \cdot Y^v \leq \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{f \in F} X_p^{fv} + \sum_{k \in K} X_p^{kv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_p^{jv} \right) \leq Cap_v^O \cdot Y^v \quad \forall v \in V \quad (3.32)$$

Das Volumen der Produkte, die in ein VSZ hineinfließen, ist durch die untere und obere Kapazitätsgrenze des VSZ begrenzt. Da in VSZ keine Transformation von Einheiten stattfindet, müssen nur die Nebenbedingungen (3.32) gelten, sodass die Produktflüsse die jeweilige VSZ-Kapazitätsgrenze einhalten.

$$\begin{aligned} Cap_r^U \cdot Y^r &\leq \sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{r \in R: s \neq r} EXI_c^{rs} + \sum_{p \in P} g_p \cdot \\ &\left(\sum_{v \in V} X_p^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_p^{sr} \right) \leq Cap_r^O \cdot Y^r \quad \forall r \in R \end{aligned} \quad (3.33)$$

Die Summe aus dem Volumen der Komponenten, die von anderen WZ in das WZ hineinfließen, und dem Volumen der Produkte, die von VSZ und anderen WZ zum WZ transportiert werden, muss die untere und obere Kapazitätsgrenze des jeweiligen WZ einhalten.

$$\begin{aligned} Cap_r^U \cdot Y^r &\leq \sum_{c \in C} g_c \cdot \left(X_c^{rf} + \sum_{r \in R: s \neq r} EXI_c^{rs} \right) \\ &+ g_p \cdot \sum_{r \in R: s \neq r} EXI_p^{rs} \leq Cap_r^O \cdot Y^r \quad \forall r \in R \end{aligned} \quad (3.34)$$

Die Nebenbedingungen (3.34) sichern, dass das Volumen der Komponenten, die aus dem WZ zu Werken und anderen WZ fließen, und das Volumen der Produkte, die vom WZ zu anderen WZ transportiert werden, die untere und obere Kapazitätsgrenze des jeweiligen WZ erfüllen.

Die Variablen-Eigenschaften des FLPR-Modells werden im Folgenden definiert; das FLPR-Modell ist ein gemischt ganzzahliges Optimierungsmodell.

$$\begin{aligned} U_p^k, X_p^{kv}, X_c^r, X_p^r, X_p^f, X_c^f, X_p^{vk}, X_p^{vr}, X_p^{fv}, X_c^{zf}, X_c^{rf}, \\ EXI_c^{rs}, EXI_p^{rs}, EXI_c^{fi}, EXI_p^{vj} \in \mathbb{Z}^+ \\ \forall p \in P, c \in C, k \in K, z \in Z, r \in RD, s \in R : s \neq r, \\ (v, j) \in V : v \neq j, f \in FD, i \in F : i \neq f \end{aligned} \quad (3.35)$$

Unbefriedigte Nachfrage, die Bearbeitungs-, Beschaffungs- und Transportmengen im CL-SCN werden durch positive und ganzzahlige Variablen erfasst.

$$Y^y \in \{0, 1\} \quad \forall y \in R \cup V \cup F \quad (3.36)$$

Die Eröffnung von Standorten wird durch binäre Variablen modelliert.

Beispiel und Ergebnisse

Nun wird das FLPR-Modell mit den Daten des Kopiergeräteherstellers gelöst, die in Abschnitt 2.3.2 eingeführt worden sind. Zusätzlich werden Zulieferstandorte berücksichtigt; die Zulieferer befinden sich in den fünf größten deutschen Städten. In Abbildung 3.4 ist das CLSCN mit den fixen Zuliefer- und Kunden-Standorten und potentiellen Standorten für WZ, Werke und VSZ dargestellt.

Die nachgefragten Produktmengen der Kunden bleiben gegenüber Tabelle 2.7 in Abschnitt 2.3.2 unverändert. Ebenfalls gibt es weiterhin zwei unterschiedliche Produkte, $P1$ und $P2$. Basierend auf dem Refabrikationsprogramm des Kopiergeräteherstellers Xerox, das in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt wurde, werden diese beiden Produkte in den Werken aus drei Komponenten, $M1$, $M2$ und $M3$, hergestellt und (nach der Nutzung und Rückgabe) wieder in ihre jeweiligen Komponenten demontiert. Dabei werden $P1$ und $P2$ jeweils aus einer produktspezifischen Komponente $M1$ bzw. $M3$ und einer gemeinsamen Komponente $M2$ zusammengesetzt.

In den Tabellen 3.6 und 3.7 sind die weiteren Parameterwerte zur Lösung des FLPR-Modells aufgelistet. Die Parameter g_p bzw. g_c geben das Volumen an, das für die Handhabung eines Produkts bzw. einer Komponente benötigt wird. Die Kapazitätsobergrenze eines jeweiligen Standorts ist zunächst so festgelegt, dass ein offener Standort jedes Typs ausreicht, um jede Nachfrage zu befriedigen bzw. jede Produktrückgabe einzusammeln.

Die Transport- und Entsorgungskosten und die Rückgaberate werden wieder aus Fleischmann et al. (2001)[52] übernommen, siehe Tabelle 2.6 in Abschnitt 2.3.2. Zusätzlich zum Transport zwischen den unterschiedlichen Standorten ist im FLPR-Modell ein Transport zwischen gleichen Standorttypen bzw. auf einer Standortebene erlaubt. Es wird unterstellt, dass dieser Transport je km genauso viel kostet, wie der Transport zwischen unterschiedlichen Standorttypen.

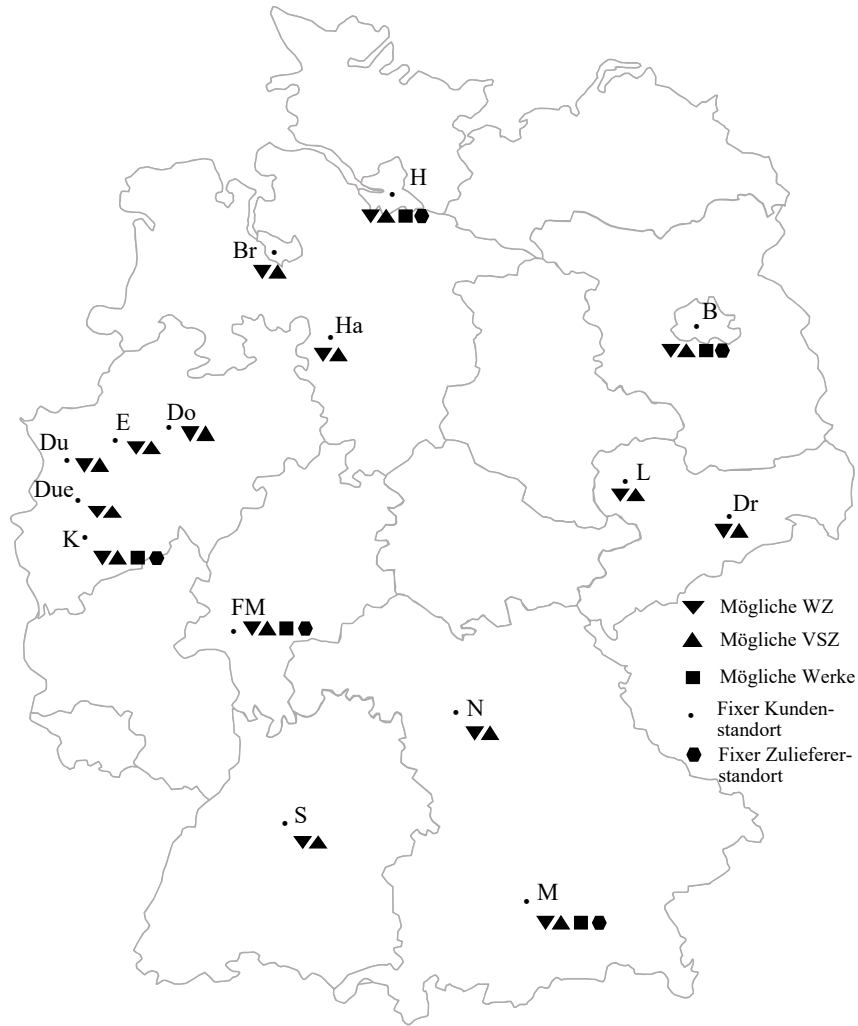


Abbildung 3.4: Gegebene und potentielle Standorte (Eigene Darstellung)

Tabelle 3.6: Relevante zusätzliche Parameterwerte⁷

Parameter	Wert
Cap_f^O	$500.000m^3, \forall f \in F$
Cap_r^O	$300.000m^3, \forall r \in R$
Cap_v^O	$800.000m^3, \forall v \in V$
c_f	0 GE pro Einheit, $\forall f \in F$
c_r	0 GE pro Einheit, $\forall r \in R$
c_{vk}^p	0,01 GE pro Einheit pro km, $\forall p \in P, v \in V, k \in K$

⁷Zusätzliche Parameterwerte zu Abschnitt 2.3.2

Tabelle 3.7: Relevante zusätzliche Parameterwerte, fortführend

Parameter	Wert
c_{kv}^p	0,005 GE pro Einheit pro km, $\forall p \in P, v \in V, k \in K$
c_{vr}^p	0,003 GE pro Einheit pro km, $\forall p \in P, v \in V, r \in R$
c_{fv}^p	0,0045 GE pro Einheit pro km, $\forall p \in P, v \in V, f \in F$
c_{yw}^c	0,003 GE pro Einheit pro km, $\forall c \in C, y \in Z \cup R, w \in F$
c_{fi}^c	0,0045 GE pro Einheit pro km, $\forall c \in C, f, i \in F : f \neq i$
c_{vj}^p	0,01 GE pro Einheit pro km, $\forall p \in P, v, j \in V : v \neq j$
c_{rs}^x	0,003 GE pro Einheit pro km, $\forall x \in C \cup P, r, s \in R : r \neq s$
c_{kp}^U	166 GE pro nicht befriedigter Produktnachfrage, $\forall k \in K, p \in P$
c_z^c	10 GE pro Komponente, $\forall c \in C, z \in Z$
md	0,3
md^c	0,3, $\forall c \in C$
g_p	$10m^3$, $\forall p \in P$
g_c	$2m^3$, $\forall c \in C$

Da die Transportkosten nach Fleischmann et al. (2001)[52] schon Bearbeitungskosten enthalten, werden die Bearbeitungskosten in Werken und WZ zunächst mit Null vorgegeben. In einer folgenden Sensitivitätsanalyse werden die Bearbeitungskosten verändert und ihr Einfluss auf das CLSCN untersucht.

Im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 werden nun Beschaffungs- und Transportkosten für Komponenten von den Zulieferern bzw. zwischen Zulieferern und Werken unterstellt. Die Beschaffungskosten betragen 10 GE pro Komponente, sodass die Differenz zwischen den Kosten für die Refabrikation eines zurückgegebenen Produkts, um eine neuwertige Komponente zu erlangen, und dem Preis einer neuen Komponente vom Zulieferer 10 GE beträgt. Also, da $c_z^c = 10$ GE, $\forall c \in C, z \in Z$, und $c_r = 0$ GE, $\forall r \in R$, pro Komponente, wird so weiterhin eine Kostenersparnis von 10 GE für die Montage einer wiederaufbereiteten anstatt neuen Komponente abgebildet, wie in Abschnitt 2.3.2 vorgestellt.

Die Entfernungen zwischen Zulieferern und Werken und zwischen Standorten auf der gleichen Netzwerkebene müssen nun auch berücksichtigt werden; die entsprechenden Distanzmatrizen sind im Anhang A.1 angegeben. Durch die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um die Produktionsplanung wird Refabrikation als Demontage von zurückgegebenen Produkten zu Komponenten und Wiederaufbereitung dieser Komponenten-

ten abgebildet anstatt als Transport von zurückgegebenen Produkten, wie im Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2.

Es gibt nun anstatt einer Entsorgungsmenge zwei Entsorgungsmengen: Im VSZ können zurückgegebene Produkte nach der Sichtprüfung entsorgt werden und im WZ müssen Komponenten entsorgt werden, die nach der Refabrikation keinen neuwertigen Zustand erreichen. Der Mindestanteil an zu entsorgenden zurückgegebenen Produkten von 0,6 aus [52] wird für eine Lösung mit dem FLPR-Modell unterteilt: Es wird hier angenommen, dass jeweils ein vorgegebener Mindestanteil von 0,3 an zurückgegebenen Produkten bzw. Komponenten gemäß Erfahrungswerten entsorgt werden muss, da sie nicht die Sichtprüfung im VSZ bestehen bzw. keinen neuwertigen Zustand nach der Refabrikation erreichen. (Dadurch ist die Entsorgungsmenge im Vergleich zum Modell von Salema et al. (2007)[150] etwas geringer.)

Wenn Strafkosten bzw. entgangene Erlöse von $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, pro unbefriedigter Produktnachfrage vorliegen, wird jede Nachfrage befriedigt. Die Lösung für das FLPR-Modell wird mit der gleichen Hard- und Software, wie das Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2, gelöst. Dafür werden 0,47 Sekunden benötigt; diese Lösungszeit ist vergleichbar mit den 1,08 Sekunden, die für die Lösung des Modells von Salema et al. (2007)[150] benötigt wird.

Die Nachfrage wird vom offenen VSZ in Berlin aus befriedigt. Die nachgefragten Produkte werden im Werk in Berlin hergestellt; die für die Herstellung der nachgefragten Produkte benötigten Komponenten werden neu vom Zulieferer in Berlin beschafft. D.h. es wird kein WZ eröffnet. Jedes zurückgegebene Produkt wird im VSZ in Berlin gesammelt und danach entsorgt. Das optimale Netzwerk des Ausgangsbeispiels ist in Abbildung 3.5 dargestellt. (Die vollständige Lösung des Ausgangsbeispiels ist in Abbildung A.10 im Anhang A.3 dargestellt.)

Die Gesamtkosten der Ausgangslösung des FLPR-Modells betragen 7.679.610,5 GE und sind höher als die Gesamtkosten des Modells von Salema et al. (2007)[150] aus Abschnitt 2.3.2 mit 7.138.327,7 GE (siehe Abbildung A.10 im Vergleich zu Abbildung A.1 im Anhang). Im Gegensatz zum FLPR-Modell ist nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] die Rückführung von zurückgegebenen Produkten und damit die Eröffnung eines DZ

ökonomisch sinnvoll. Daher sind die Eröffnungskosten nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] sogar um 500.000 GE höher als nach dem FLPR-Modell: Sie betragen 7.000.000 GE anstatt 6.500.000 GE (Eröffnungskosten für ein Werk und VSZ).

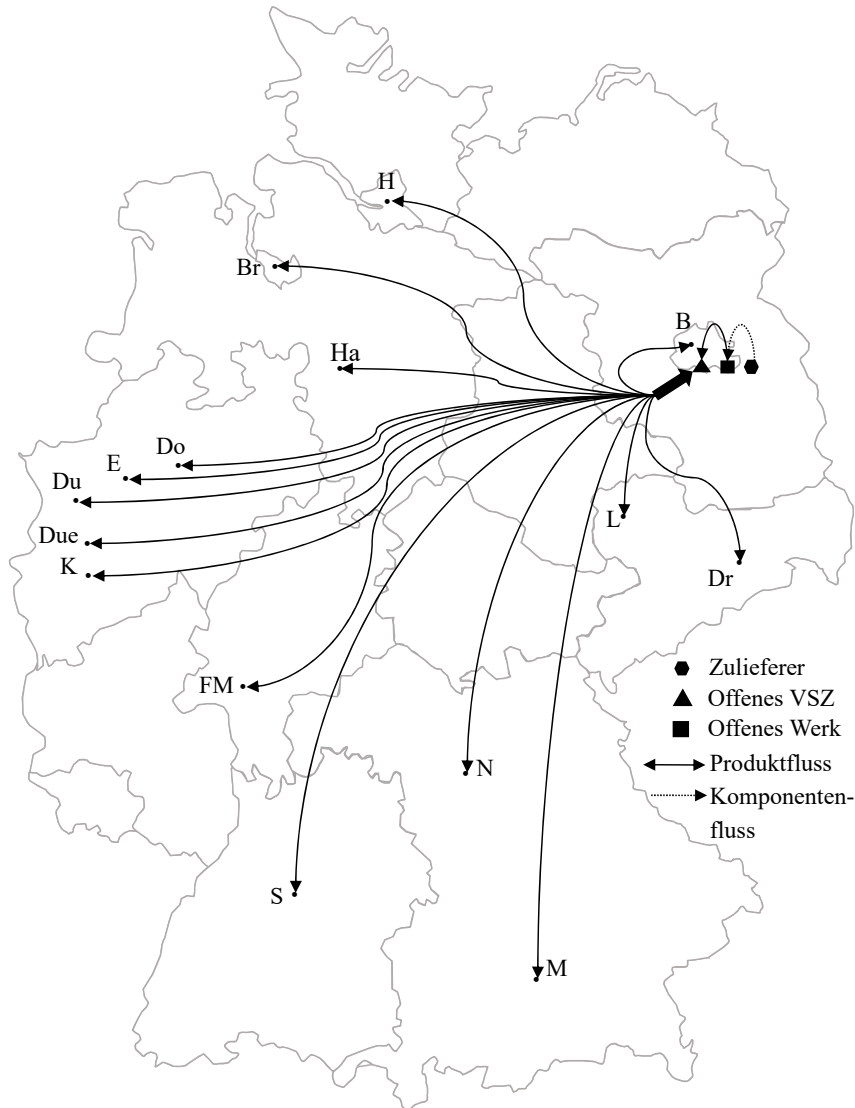


Abbildung 3.5: Optimales Netzwerk der Ausgangslösung des FLPR-Modells (Eigene Darstellung)

In Abbildung 3.6 sind alle weiteren Kosten und ggf. Erlöse der Ausgangslösungen dargestellt. Die Transportkosten sind in beiden Lösungen gleich hoch. Da das FLPR-Modell die Entsorgung aller Produktrückgaben vorgibt anstatt nur der vorgegebenen Mindestmenge, wie beim Modell von Salema et al. (2007)[150], sind die Entsorgungskosten nach dem

FLPR-Modell höher als in der Lösung nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150]. In der Lösung des FLPR-Modells bzw. des Modells von Salema et al. (2007)[150] betragen die Entsorgungskosten $57.850 \text{ GE} = 23.140 \text{ (Produktrückgabemenge)} \cdot 2,5 \text{ GE (Entsorgungskosten pro Einheit)}$ bzw. $34.710 \text{ GE} = 23.140 \text{ (Produktrückgabemenge)} \cdot 0,6 \text{ (Entsorgungsanteil)} \cdot 2,5 \text{ GE (Entsorgungskosten pro Einheit)}$.

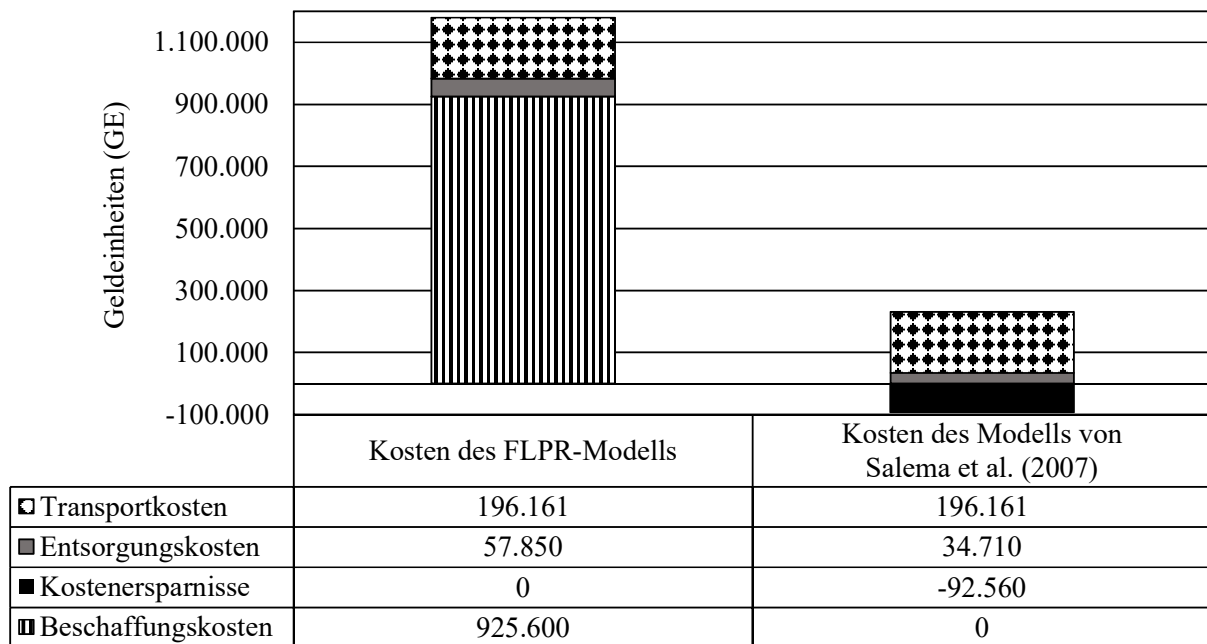


Abbildung 3.6: Vergleich der Kosten (ohne Standort-Eröffnungskosten) für das Ausgangsbeispiel nach dem FLPR-Modell und dem Modell von Salema et al. (2007)[150] (Eigene Darstellung)

In der Lösung des Modells von Salema et al. (2007)[150] führt die Rückführung von zurückgegebenen und zu Kunden zurückgeführten Produkten zu Kostenersparnissen in Höhe von $92.560 \text{ GE} = 23.140 \text{ (Rückgabemenge)} \cdot 0,4 \text{ (Anteil an Rückgabemenge, der wieder zu Kunden fließt)} \cdot 10 \text{ GE (Kostenersparnis pro zurückgegebenem und zu Kunden zurückgeführten Produkt)}$. In der Lösung des FLPR-Modells fallen diese Ersparnisse nicht an, da alle zurückgegebenen Produkte entsorgt werden.

Nach dem FLPR-Modell sollen alle nachgefragten Produkte aus beschafften Komponenten von Zulieferern hergestellt werden. Dafür fallen beim FLPR-Modell Beschaffungskosten in Höhe von $925.600 \text{ GE} = 46.280 \text{ (Nachgefragte Produkte)} \cdot 2 \text{ (Anzahl Komponenten)}$,

die für die Herstellung eines Produkts benötigt werden) $\cdot 10$ GE (Beschaffungskosten pro Komponente) an.

Im Modell von Salema et al. (2007)[150] wird keine Beschaffung modelliert und daher auch keine Beschaffungskosten berücksichtigt, wie bereits im vorangegangenen Kapitel in Abschnitt 2.3.2 kritisch angemerkt wurde. Wenn die Beschaffungskosten von den Gesamtkosten des FLPR-Modells abgezogen werden, betragen die Kosten des FLPR-Modells 6.754.011 GE und sind damit niedriger als die Gesamtkosten des Modells von Salema et al. (2007)[150].

Im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] gibt es nun eine gesetzliche Verpflichtung zur Produktrücknahme und Beschaffungskosten werden berücksichtigt, daher sind die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage nach dem FLPR-Modell höher als im Modell von Salema et al. (2007)[150]. Daraus folgt, dass höhere Erlöse aus der Befriedigung von Nachfrage beim FLPR-Modell als im Modell von Salema et al. (2007)[150] vorliegen müssen, sodass die Befriedigung der Nachfrage ökonomisch sinnvoll ist.

Für die Daten des Ausgangsbeispiel muss beim FLPR-Modell $c_{kp}^U \geq 166$ GE anstatt $c_{kp}^U \geq 144$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (wie beim Modell von Salema et al. (2007)[150]) gelten, sodass die Befriedigung der gesamten Nachfrage ökonomisch sinnvoll ist. (Falls $c_{kp}^U = 165$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, vorliegt, bleibt nach dem FLPR-Modell die gesamte Nachfrage unbefriedigt, siehe Abbildung A.11 im Anhang A.3.)

Allerdings können im Modell von Salema et al. (2007)[150] zusätzlich zu den Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage ebenfalls Strafkosten für nicht eingesammelte Produktrückgaben anfallen. (Im Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 geben die Nebenbedingungen 2.10 vor, dass der rückwärtsgerichtete Produktfluss den vorwärtsgerichteten Produktfluss im Netzwerk nicht übersteigen darf.) Dadurch fallen dann bei einer unbefriedigten Nachfrage nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] insgesamt Strafkosten von $c_{kp}^U + c_{kp}^W = 144 + 21 = 165$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, an.

Dabei ist wiederum darauf hinzuweisen, dass die Erlöse aus Befriedigung der Nachfrage bzw. Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage der Planung vorgegeben sind und nicht frei wählbar sind. Da diese für das Anwendungsbeispiel nicht vorliegen, wie bereits in Ab-

schnitt 2.3.2 diskutiert, müssen sie in dieser Arbeit angenommen werden. Nur so können weitere Erkenntnisse über die Weiterentwicklung des Modells von Salema et al. (2007)[150] gewonnen werden.

Das FLRP-Modell stellt eine verbesserte Planung gegenüber dem Modell von Salema et al. (2007)[150] dar, da es die Beschaffungsentscheidung mit den relevanten Kosten in die Planung miteinbezieht. Das Modell von Salema et al. (2007)[150] vernachlässigt Beschaffungskosten und gibt damit die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der Produkte als zu niedrig an.

Im FLPR-Modell, wie im Modell von Salema et al. (2007)[150], sind die Eröffnungskosten eines Standorts unabhängig von dessen Kapazität und Kapazität verursacht keine Kosten; die Kapazität wird dem diskreten Standortplanungsmodell als Parameter vorgegeben.

So liegt in der Ausgangslösung des FLPR-Modells Überkapazität vor, wie in der Lösung des Modells von Salema et al. (2007)[150]: Die obere Kapazitätsgrenze für das offene Werk und VSZ beträgt $500.000m^3$ bzw. $800.000m^3$, dabei beträgt das Volumen der Produktflüsse durch das Werk nur $462.800m^3 = 46.280$ (erstellte Produkte) $\cdot 10m^3$ (maximaler Kapazitätsbedarf für die Handhabung eines Produkts) und durch das VSZ nur $694.200m^3 = (46.280 + 23.140)$ (zu Kunden transportierte + zurückgegebene Produkte) $\cdot 10m^3$ (maximaler Kapazitätsbedarf für die Handhabung eines Produkts).

Eine Sensitivitätsanalyse wird im Folgenden präsentiert, die die Wirkung der Erweiterungen im FLPR-Modell auf die Entscheidungen bzgl. der Netzwerkgestaltung untersucht.

Einfluss oberer Standortkapazitätsgrenzen $Cap_y^O, \forall y \in R \cup F \cup V$

Mit dem Modell von Salema et al. (2007)[150] konnte in der Sensitivitätsanalyse in Abschnitt 2.3.2 die Abhängigkeit der Standorte im CLSCN voneinander beobachtet werden. Im FLPR-Modell wird nun zusätzlich die Beschaffungsentscheidung mit berücksichtigt. So wird der Einfluss der Standorte, ihrer Kapazitätsobergrenzen und der Transportwege auf die Auswahl des Zulieferers abgebildet.

Z.B. bei einer Kapazitätsobergrenze pro VSZ von $87.000m^3$ ist es optimal, 8 VSZ und ein Werk in Köln zu eröffnen und Komponenten vom Zulieferer in Köln zu beschaffen anstatt in Berlin, wie in der Ausgangslösung. (Für diesen Test wird $c_{kp}^U = 1.000$ GE,

$\forall k \in K, p \in P$, unterstellt, sodass es ökonomisch sinnvoll bleibt, jede Nachfrage zu befriedigen und Erkenntnisse über die Zusammenhänge der Beschaffungsentscheidung und der Standort- und Transportplanung gewonnen werden können.) In Abbildung 3.7 sind die entsprechenden optimalen Standorte und Flussmengen zwischen Zulieferer, VSZ und Werk dargestellt. (Zur Übersichtlichkeit sind die Flussmengen zu den Kunden nicht abgebildet. Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.12 im Anhang A.3 dargestellt.)

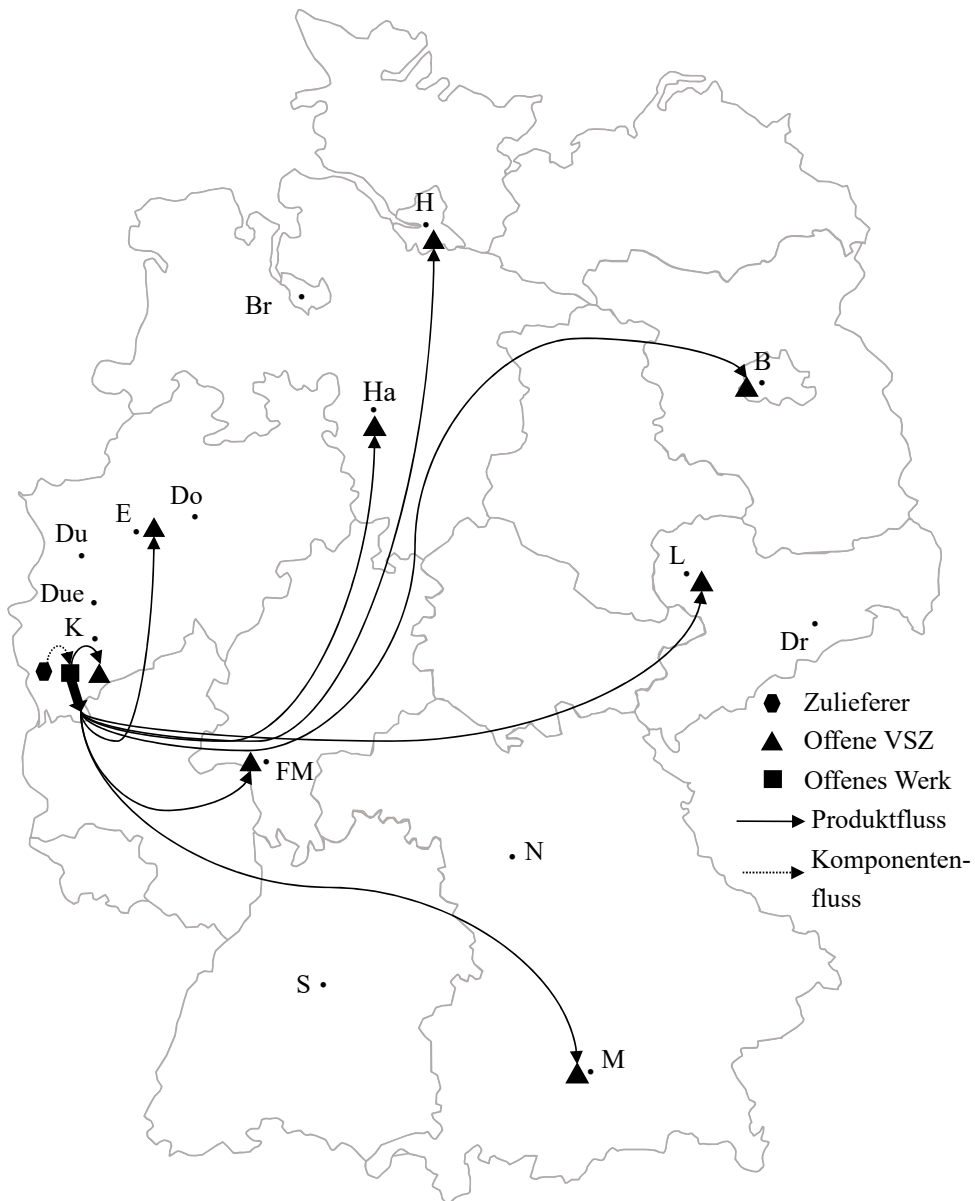


Abbildung 3.7: Optimale Standorte und Flussmengen zwischen Zulieferer, VSZ und Werk für $Cap_v^O = 87.000m^3, \forall v \in V$ (Eigene Darstellung)

D.h. die Standort- und Transportplanung müssen zusammen mit der Beschaffung geplant werden, um ein ökonomisch sinnvolles SC-Netzwerk zu erreichen.

Einfluss kombinierter VSZ und Pflicht zur Produkt-Rücknahme

Im Gegensatz zum Netzwerk, das durch das Modell von Salema et al. (2007)[150] geplant wird und in Abbildung 2.8 in Abschnitt 2.3.2 dargestellt ist, gibt es hier bi-direktionale Standorte für das Verteilen und Einsammeln von Produkten bzw. Rückgaben. Durch ein VSZ fließen vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse, dadurch beeinflusst die VSZ-Kapazität beide Produktflüsse. Außerdem wird im FLPR-Modell eine gesetzliche Pflicht zur Produktrücknahme unterstellt. Daher wirkt die Menge an zurückgegebenen Produkten bzw. die Rückgaberate auf das Netzwerk ein, selbst wenn alle Produktrückgaben nach der Einsammlung entsorgt anstatt wiederaufbereitet werden sollen.

Wenn die Rückgaberate 0,8 anstatt 0,5 (wie im Ausgangsbeispiel) beträgt, also 80% der zu Kunden transportierten Produkte von Kunden zurückgegeben werden, reicht die Kapazität eines VSZ für die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse nicht mehr aus und ein zweites VSZ müsste eröffnet werden. Aber die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse für unbefriedigte Nachfrage sind geringer als die Kosten für die Erstellung und den Absatz der nachgefragten Produkte. Daher wird bei $rg_{kp} \geq 0,8$ überhaupt kein Netzwerk mehr aufgebaut und jede Nachfrage bleibt unbefriedigt. (Die vollständige Lösung für $rg_{kp} = 0,8, \forall k \in K, p \in P$, ist in Abbildung A.13 im Anhang A.3 dargestellt.)

D.h. die Verpflichtung zum Einsammeln aller Produktrückgaben führt bei zu niedrigen VSZ-Kapazitäten dazu, dass es ökonomisch nicht mehr sinnvoll ist, überhaupt Produkte herzustellen und Nachfrage zu befriedigen. Durch die Verpflichtung zur Einsammlung aller Produktrückgaben müssen bei der Entscheidung des produzierenden Unternehmens ein Netzwerk aufzubauen, um Nachfrage zu befriedigen, auch die Kosten verbunden mit der Verwertung der gebrauchten Produkte mit eingeplant werden. Diese Kosten können dazu führen, dass Unternehmen keine Standorte eröffnen und Produkt herstellen, um Nachfrage zu befriedigen, also gar nicht in den Markt eintreten bzw. diesen verlassen.

Einfluss von Parametern auf die Entscheidung zur Refabrikation von gebrauchten Produkten

Da in der Ausgangslösung des FLPR-Modells bei $c_r = 0, \forall r \in R$, Refabrikation nicht optimal ist, wird jetzt angenommen, dass die Refabrikation subventioniert wird. D.h. für jede wiederaufbereitete Komponente bekommt das Unternehmen Geld, also $c_r < 0$. Erst wenn $c_r = -5, \forall r \in R$, beträgt, ist es ökonomisch sinnvoll, ein WZ in Berlin zu eröffnen. Das optimale Netzwerk ist in Abbildung 3.8 dargestellt.

Es ist optimal, dass ein Werk und VSZ in Berlin eröffnet werden, wie in der Ausgangslösung. Im Gegensatz zur Ausgangslösung wird nur der vorgegebene Mindestanteil an nicht verwertbaren zurückgegebenen Produkten und Komponenten, die nach der Refabrikation keinen neuwertigen Zustand erreichen, entsorgt; alle verwertbaren zurückgegebenen Produkte werden im offenen WZ in Berlin bearbeitet. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.14 im Anhang A.3 dokumentiert.) Die wiederaufbereiteten Komponenten reichen aber nicht aus, um die gesamte nachgefragte Produktmenge im Werk in Berlin herzustellen. Daher werden noch Komponenten vom Berliner Zulieferer beschafft.

Weiterhin beeinflusst die Menge an zurückgegebenen Produkten bzw. die Rückgaberate, ob Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Wie schon in Abschnitt 2.3.2 beim Modell von Salema et al. (2007)[150] muss die Rückgaberate auch beim FLPR-Modell mit $c_r = -5, \forall r \in R$, mindestens 0,5 betragen, damit Refabrikation lohnenswert ist. (In Abbildung A.15 im Anhang A.3 ist die vollständige Lösung aufgeführt.)

Ebenfalls muss nach dem FLPR-Modell mit $c_r = -5, \forall r \in R$ und $rg_{kp} = 0,5, \forall k \in K, p \in P$, die Kapazität eines WZ für die gesamte verwertbare Rückgabemenge ausreichen, sonst lohnt sich Refabrikation nicht. (Die Lösung für $c_r = -5$ und zu geringer WZ-Kapazität, also $Cap_r^O < 162.000m^3, \forall r \in R$, entspricht der Ausgangslösung, d.h. keine Produktrückgaben werden wiederaufbereitet, siehe Abbildung A.10 im Anhang A.3.)

Einfluss der Beschaffungskosten

Durch die Einbeziehung externer Zulieferer im FLPR-Modell ist ein Vergleich zwischen den Beschaffungskosten einer Komponente von externen Zulieferern und den Bearbeitungskosten einer Komponente, die SC-intern für die Refabrikation von Komponenten in

WZ anfallen, möglich. Wie bereits oben festgestellt, ist Refabrikation ökonomisch sinnvoll, wenn $c_z^c = 10$ GE, $\forall c \in C, z \in Z$, und $c_r = -5$ GE, $\forall r \in R$, betragen. D.h. eine wiederaufbereitete anstatt neu beschaffte Komponente wird für die Produkt-Montage genutzt, wenn sie 15 GE weniger als diese kostet. Dann ist es optimal ein WZ in Berlin zu eröffnen und dort die verwertbaren Produktrückgaben zu bearbeiten.

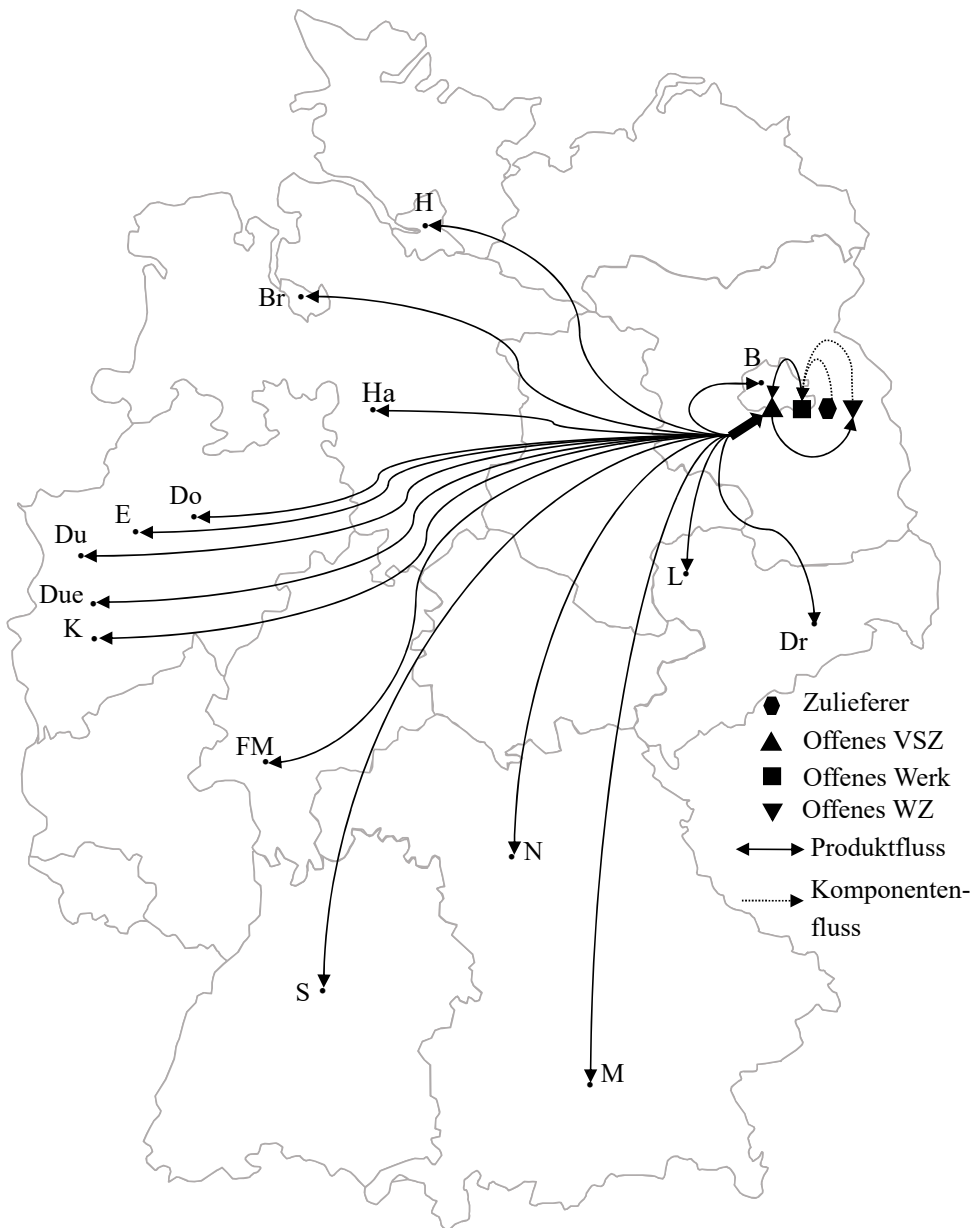


Abbildung 3.8: Netzwerk nach FLPR-Modell mit Refabrikation bei $c_r = -5, \forall r \in R$ (Eigene Darstellung)

Die Beschaffungskosten der Zulieferer beeinflussen ebenfalls die Entscheidung, welches Werk und VSZ eröffnet werden soll. Wenn z.B. der Zulieferer in Hamburg jede Komponente um eine GE günstiger als alle anderen Zulieferer anbietet, also $c_H^c = 9$ GE (anstatt $c_H^c = 10$ GE wie im Ausgangsbeispiel), $\forall c \in C$, dann ist es optimal, das Werk in Hamburg und das VSZ in Hannover anstatt in Berlin, wie in der Ausgangslösung, zu eröffnen. (Die vollständige Lösung für $c_H^c = 9$ GE, $\forall c \in C$, ist in Abbildung A.16 im Anhang A.3 dargestellt.)

D.h. Beschaffungskosten beeinflussen nicht nur die Entscheidung zur Refabrikation, sondern das gesamte SC-Netzwerk. Mit dem erweiterten Planungsansatz des FLPR-Modells werden sie nun in die Planung mit einbezogen.

Fazit und Ausblick

Im Gegensatz zu diskreten Standortplanungsmodellen mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen, wie z.B. dem Modell von Salema et al. (2007)[150] aus Abschnitt 2.3.2, wird im FLPR-Modell die Produktion und Refabrikation abgebildet. Die Refabrikation ist im FLPR-Modell als die Demontage von zurückgegebenen Produkten zu Komponenten und die Wiederaufbereitung dieser Komponenten dargestellt. Die neuwertigen wiederaufbereiteten Komponenten werden dann zur Montage von Produkten genutzt; die für die Produkterstellung benötigten Komponenten können auch von externen Zulieferern beschafft werden.

D.h. die Beschaffungsentscheidung bzw. das „Dual Sourcing“ im CLSC wird durch das FLPR-Modell erfasst. Das FLPR-Modell bestimmt neben Standorten und Transportmengen auch Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen im CLSCN optimal. Durch diese Erweiterung werden im FLPR-Modell entscheidungsrelevante Kosten, wie Beschaffungs- und Bearbeitungskosten, in der Planung berücksichtigt, die im Modell von Salema et al. (2007)[150] vernachlässigt werden.

Der Vergleich der Ausgangslösungen dieser beiden Modelle zeigt, dass dadurch ein ökonomisch sinnvolles SC-Netzwerk nach dem FLPR-Modell erreicht wird. Weiterhin können so mit dem FLPR-Modell die Beschaffungs- und Bearbeitungskosten determiniert werden,

unter denen Refabrikation anstatt externe Beschaffung ökonomisch sinnvoll ist.

Die Sensitivitätsanalysen des FLPR-Modells für die Daten des Kopiergeräteherstellers (basierend auf Fleischmann et al. (2001)[52]) zeigen, wie wichtig die gemeinsame Betrachtung von Kapazitätsgrenzen, Kosten und Beschaffungskosten bei der Entscheidung über Refabrikation ist. Refabrikation findet nur statt, wenn die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch Montage wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten die Kosten verbunden mit Refabrikation übersteigen.

Falls Refabrikation nicht optimal ist, kann eine Subventionierung der Refabrikation dazu führen, dass die Kosten verbunden mit Refabrikation gedeckt werden und zurückgegebene Produkte bearbeitet anstatt entsorgt werden. Diese Zusammenhänge können mit diskreten Standortplanungsmodellen ohne Produktionsplanung nicht festgestellt werden.

Außerdem wird im FLPR-Modell im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007) [150] aus Abschnitt 2.3.2 angenommen, dass der Entscheidungsträger gesetzlich verpflichtet ist, alle zurückgegebenen Produkte einzusammeln, und die Rückgaben werden in bidirektionalen VSZ gesammelt, also in Standorten, in denen auch Produkte zu Kunden umgeschlagen werden. So wird mit dem FLPR-Modell das CLSCN mit kombinierten VSZ und Refabrikation auf Komponentenebene erfasst, das die CLSC eines Kopiergeräteherstellers nach [102] darstellt, der durch die WEEE-Richtlinien [41] [42] zur Rücknahme und Verwertung von gebrauchten Produkten verpflichtet ist.

Die Rücknahme-Verpflichtung führt dazu, dass das produzierende Unternehmen bei der Entscheidung Nachfrage zu befriedigen zusätzlich zu den Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der Produkte auch die Kosten verbunden mit der Einsammlung und Entsorgung oder ggf. Refabrikation mit einbezieht. Die Sensitivitätsanalysen des FLPR-Modells zeigen, dass dadurch das Netzwerk bzw. die Entscheidung zum Netzwerk-Aufbau beeinflusst wird. Die (vorgegebenen) Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage müssen höher als die Kosten verbunden mit den vor- und rückwärtsgerichteten Güterflüssen sein, sodass es für ein Unternehmen ökonomisch sinnvoll ist, in den Markt einzutreten.

Zudem beeinflussen VSZ-Kapazitäten nun zusätzlich zu WZ-Kapazitäten die Entscheidung zur Refabrikation: Es müssen so viele Produktrückgaben im VSZ eingesammelt und

im WZ bearbeitet und dadurch (neuwertige) wiederaufbereitete Komponenten erreicht werden, dass die Kosten verbunden mit Refabrikation durch die Kostenersparnisse in der Beschaffung von Produktionsinput gedeckt werden.

Weiterhin konnte durch die Sensitivitätsanalysen des FLPR-Modells festgestellt werden, dass die Auswahl des Zulieferers von sowohl Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportkosten, als auch von Standort-Kapazitäten abhängt. Wenn es ökonomisch sinnvoll ist, Komponenten für die Produkterstellung von Zulieferern zu beschaffen, wird möglichst der Zulieferer ausgewählt, der Komponenten zu den niedrigsten Beschaffungskosten anbietet. Außerdem wird zur Minimierung der Transportkosten das Werk vor Ort des günstigsten Zulieferers eröffnet. Diese Wahl beeinflusst wiederum die Standortwahl von VSZ und WZ; wobei das VSZ möglichst nah zu den Kunden eröffnet wird.

Allerdings wirken auch Standort-Kapazitäten auf diese Entscheidungen ein: Falls die Kapazitäten von einzelnen Standorten nicht ausreichen, müssen mehrere Standorte eröffnet werden, um die gesamte Nachfrage zu befriedigen. Die Auswahl des Zulieferers hängt dann von diesen Standorten ab. Also hängen die Standortwahl und die Planung der Transport-, Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen zusammen und müssen gemeinsam optimal geplant werden, wie durch das FLPR-Modell.

Standort-Kapazitäten sind folglich entscheidungsrelevant für das Planungsproblem und müssen bei der Optimierung des CLSCN mit berücksichtigt werden. Aber in diskreten Standortplanungsmodellen, wie dem CWLP, dem Modell von Salema et al. (2007)[150] und dem FLPR-Modell werden Standort-Kapazitäten vorgegeben. Zudem sind die Eröffnungskosten der Standorte unabhängig von deren Größe.

Also werden bei der Planung keine Kapazitätskosten erfasst und in den optimalen Netzwerken nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 und dem FLPR-Modell liegt Überkapazität vor. Außerdem wird der Zusammenhang zwischen Standort-Kapazitäten und Transportmengen im Netzwerk nicht erfasst. Daher wird das FLPR-Modell im folgenden Abschnitt 3.2 um Kapazitätsplanung erweitert.

Weiterhin hat das FLPR-Modell nur einen einperiodigen Planungshorizont, dadurch wird unterstellt, dass die Nachfrage nach einem Produkt und die Rückgabe dieses Produkts in der gleichen Periode stattfindet. Diese Annahme kann zutreffen, wenn die betrachtete Pe-

riode ausreichend lang ist oder die Rückgaben aus Käufen früherer Perioden resultieren. Allerdings soll in dieser Arbeit ein mathematisches Modell entwickelt werden, das die CL-SC über den gesamten PLZ, also vom Markteintritt bzw. der Einführung der Produkte im Markt bis zum Rückgang der Produkt-Nachfrage plant. Dann treten nicht sofort bei Planungsbeginn Produktrückgaben auf, sondern erst in den folgenden Planungsperioden werden Produkte von Kunden nach der Nutzung zurückgegeben.

Daher wird im Folgenden in Abschnitt 3.2 der Planungshorizont des FLPR-Modells auf mehrere Perioden erweitert. So können mögliche Auswirkungen einer gegebenen Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden, Komponentengemeinschaft, dem PLZ und eine begrenzte Verfügbarkeit von Komponenten, die von externen Zulieferern beschafft werden, auf die CLSC untersucht werden.

3.2 Mehrperiodige Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung im Closed-Loop Supply Chain

In diesem Abschnitt wird das FLPR-Modell, das statische Standortplanungsmodell für das CLSCN, zum dynamischen Standort- und Kapazitätsplanungsmodell, dem „Facility Location Capacity Planning with Remanufacturing“ (FLCPR)-Modell, erweitert. In dynamischen Standortplanungsmodellen können Standorte in einer Periode eröffnet und in den folgenden Perioden geschlossen und andere Standorte eröffnet werden. Die Verlegung eines Standorts in einem Netzwerk kann sinnvoll sein, wenn sich die Nachfrage in den Kundenstandorten oder die relevanten Kosten über den Planungszeitraum hinweg verändern.

Kosten für die Eröffnung, Inbetriebnahme und die Schließung eines Standorts können in der dynamischen Planung berücksichtigt werden. Das Ziel eines dynamischen Standortplanungsmodells ist die Minimierung der diskontierten Gesamtkosten des Entscheidungsproblems über mehrere Zeitperioden hinweg [117].

Van Roy und Erlenkotter (1982)[179] haben den Zusammenhang zwischen Eröffnungs- und Transportkosten bei dynamischer Standortplanung für ein Netzwerk mit vorwärtsgerichteten Produktflüssen untersucht. In dieser Arbeit wird ein CLSCN geplant und neben Standorteröffnungen und Transportmengen werden Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen optimal bestimmt.

Dabei ist es sinnvoll die Planung über mehrere Perioden hinweg durchzuführen. Dadurch können die Kosten verbunden mit Refabrikation, wie die fixen Eröffnungskosten für WZ, den Kostenersparnissen in der Beschaffung durch wiederaufbereitete Komponenten über den Planungshorizont gegenüber gestellt werden. So kann der Einfluss der Lebensdauer der Produkte im Markt, d.h. die Dauer in der Produkt-Nachfrage vorliegt, der PLZ und der Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden auf die Entscheidung zur Refabrikation bestimmt werden.

Außerdem werden die Standort-Kapazitäten im CLSCN mit dem FLCPR-Modell optimal geplant. Desweiteren wird die Planung um die Entscheidungsalternative der Lagerhaltung erweitert. Es ist sinnvoll, Standorte, Kapazitäten, Produktion und Transporte gemeinsam mit Lagerhaltung zu planen. Denn durch die Lagerung von Einheiten in Standorten anstatt der sofortigen Bearbeitung oder des Transports dieser Einheiten wird Kapazität gebunden. Im Folgenden wird die Bedeutung von Lagerhaltung im SCM und die quantitative Modellierung dieser diskutiert. Danach wird das FLCPR-Modell eingeführt und für das Beispiel des Kopiergeräteherstellers gelöst.

3.2.1 Lagerhaltung im Supply Chain Management und in der quantitativen Modellierung

Lagerhaltungsentscheidungen werden der Logistik und Produktionsplanung zugeordnet, wie in Abschnitt 2.1.2 bereits vorgestellt. D.h. Lagerhaltung ist die Alternative zur Bearbeitung oder zum Transport von Einheiten. Daher wird Lagerhaltung sowohl in quantitativen Modellen zur Standortplanung als auch zur Produktionsplanung berücksichtigt. Im APPR-Modell, wie in allen Modellen zur Produktionsplanung in Abschnitt 3.1.2, wurde die Lagerhaltung zusammen mit der Produktion und Refabrikation geplant. Dabei

stellt die Lagerung von Produkten oder Komponenten im APPR-Modell eine Verschiebung der Bearbeitung des Produkts bzw. der Komponenten in eine folgende Periode dar. Wenn sich Nachfrage, Rückgabemengen oder Bearbeitungs- und Lagerhaltungskosten über den Planungshorizont verändern, kann es optimal sein, Einheiten zu lagern und später zu bearbeiten, anstatt sie sofort zu bearbeiten.

In einem einperiodigen diskreten Standortplanungsmodell für ein Netzwerk mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen erlauben Jayaraman et al. (1999)[95] die Lagerhaltung von Produkten. Sie folgen dem Ansatz von Perl und Sirisoponsilp (1988)[136] und bilden die Entscheidung zur Lagerhaltung als Alternative zum Transport ab: Durch die Lagerung bleiben Produkte im Standort, anstatt zu anderen Standorten oder zu Kunden transportiert zu werden. Eine ausführliche Diskussion und weitere Ansätze zur Berücksichtigung von Lagerhaltung in der Standortplanung findet sich in Shen (2007)[157]. Da Lagerhaltung Standort-Kapazität bindet, muss sie bei der Planung von Standorten und Kapazitäten mit berücksichtigt werden.

Das statische FLPR-Modell umfasst bereits neben der Standort- und Transportplanung auch die Produktionsplanung. Durch die Erweiterung des FLPR-Modells im folgenden Abschnitt zu einem mehrperiodigen Modell mit Lagerhaltung und um Kapazitätsplanung zum FLCPR-Modell kann die Lagerhaltung im Zusammenhang mit Entscheidungen zur Logistik und Produktionsplanung geplant werden. Im FLCPR-Modell werden Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Lagermengen zusammen mit Standorten, Kapazitäten und Transportmengen bestimmt.

In dieser Arbeit wird eine lineare mathematische Formulierung zur Abbildung der Lagerhaltung gewählt, da das FLPR-Modell bereits durch die mathematische Darstellung des „Dual Sourcing“ und der Herstellung bzw. Refabrikation im CLSCN umfangreich ist. Dadurch werden Lagerhaltungsstrategien, wie das Bestellpunktverfahren, vernachlässigt; in Shen (2007)[157] wird eine Variante mit Bestellpunktverfahren präsentiert, die zu einem nicht linearen Modell führt.

Die mathematische Modellierung der Lagerhaltung im FLCPR-Modell folgt dem APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2: Lineare Nebenbedingungen definieren die jeweiligen Lagerbestände pro Periode und lineare Lagerkosten für eine Einheit pro Periode werden in der

Zielfunktion erfasst. Allerdings findet die Lagerung nun in einem Netzwerk von Standorten anstatt in nur einem Standort statt, wie im APPR-Modell. In Abbildung 3.9 ist die Produktion und Refabrikation mit Lagerhaltung in der CLSC dargestellt, die durch das FLCPR-Modell abgebildet wird.

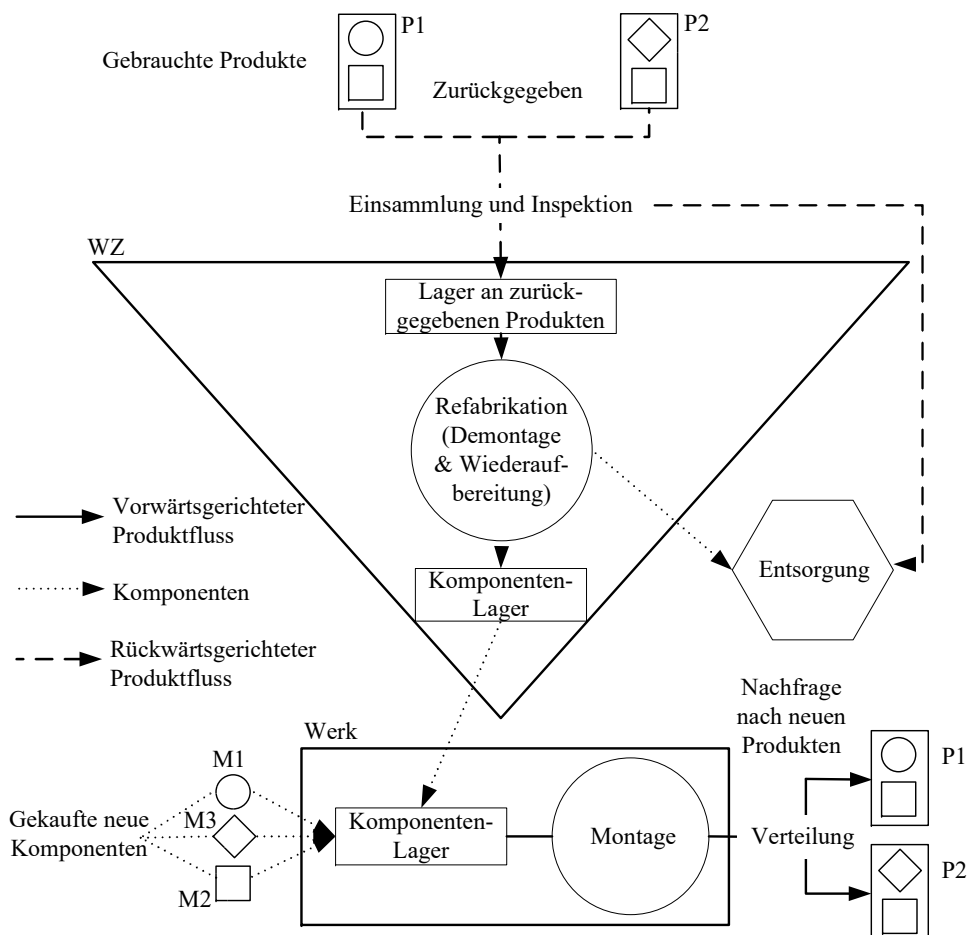


Abbildung 3.9: Produktion und Refabrikation mit Lagerhaltung im FLCPR-Modell (Eigene Darstellung)

In WZ kann durch Lagerhaltung die Bearbeitung von zurückgegebenen Produkten und der Transport von wiederaufbereiteten Komponenten zu Werken in eine folgende Periode verschoben werden. In Werken können Komponenten gelagert werden, bevor sie in einer folgenden Periode zu Produkten zusammengesetzt werden. Weder im Werk noch im VSZ können fertige Produkte gelagert werden, da die Produktion auftragsbezogen ist. (Eine auftragsbezogene Fertigung ist charakteristisch für flexible Massenproduktion, wie in Ab-

schnitt 1.1 vorgestellt.)

Das FLCPR-Modell hat einen langfristigen Planungshorizont und bestimmt das Netzwerk für jede Periode $t \in ST$ bis zur letzten Periode, LST , optimal. Hierbei steht eine Periode z.B. für ein Jahr. Dagegen hat das APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 einen mittelfristigen Planungshorizont von Θ , wobei eine Periode θ , $\forall \theta \in \Theta$, z.B. für einen Monat steht. In Abbildung 3.10 werden diese unterschiedlichen Planungshorizonte dargestellt.

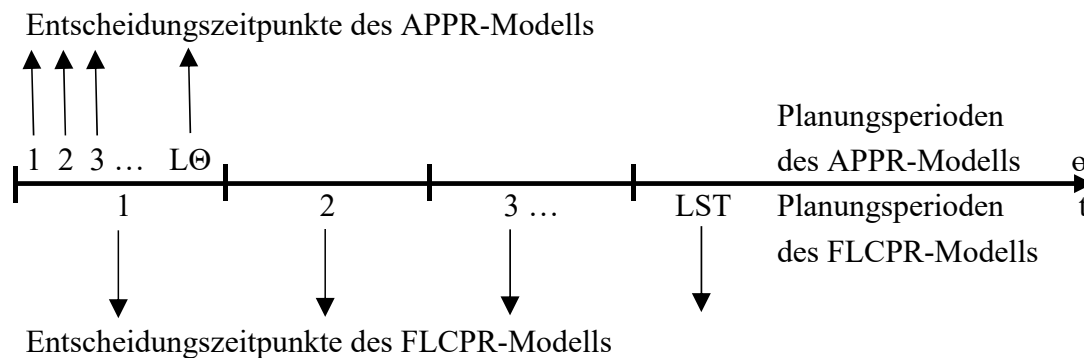


Abbildung 3.10: Planungshorizonte und Entscheidungszeitpunkte des FLCPR- und APPR-Modells (Eigene Darstellung)

Durch den langfristigen Planungshorizont müssen die Gesamtkosten im FLCPR-Modell diskontiert werden, während für einen mittelfristigen Planungshorizont, wie im APPR-Modell, Diskontierung nicht relevant ist. Im FLCPR-Modell, wie im APPR-Modell, werden Einheiten eine Periode lang gelagert. Diese Periode ist im FLCPR-Modell mit dem langfristigen Planungshorizont nun deutlich länger als im APPR-Modell mit einem mittelfristigen Planungshorizont. Da die Produkte und Komponenten keine verderblichen Güter sind, können sie über diese lange Dauer gelagert werden.

Grundsätzlich kann es bei Produktrückgaben und ihren Bestandteilen zu langen Lagerzeiten kommen, bevor diese wiederaufbereitet werden. Denn Wiederaufbereitung verursacht Kosten, die nur durch den Absatz des wiederaufbereiteten Guts oder seiner Bestandteile gedeckt werden. Also findet sie nur statt, sobald die entsprechende Nachfrage vorhanden ist. Allerdings können so hohe Lagerbestände entstehen, die hohe Lagerkosten verursachen, und daher vermieden werden sollten.

Ferrer (1997)[46] beschreibt die Lagerhaltungsstrategie bei DST Logistica, dem Logistik-

unternehmen von IBM in Italien, das wiederaufbereitete Leiterplatten aus Computern für IBM-Maschinen mittlerer Größe liefert. Zurückgegebene Computer werden möglichst schnell zu Komponenten demontiert, da sie sonst zu viel Lagerplatz in Anspruch nehmen. Dafür liegt DST Logistica die Prognose der Nachfrage von einem Jahr vor und es werden so viele Computer demontiert, dass die dadurch erreichte Menge an Leiterplatten dieser prognostizierten Nachfrage entspricht. Diese gebrauchten Leiterplatten werden dann gelagert anstatt wiederaufbereitet. Erst wenn die Nachfrage bzw. ein Auftrag eingegangen ist, wird mit der Wiederaufbereitung der Leiterplatten angefangen.

Also kann die Lagerung über ein Jahr bzw. eine Periode im langfristigen Planungshorizont hinweg, wie im FLCPR-Modell, sinnvoll sein. Allerdings können Güter durch die Lagerung an Wert verlieren, da sich ihr Zustand verschlechtert oder sie, insbesondere bei einer Lagerung über einen längeren Zeitraum, veraltet sind und nicht mehr für die Herstellung von neuwertigen Produkten genutzt werden können.

Z.B. stellen Ferrer (1997)[46] für Computer fest, dass der Wert der Rückgaben schon bei einer Lagerung von Wochen zurückgeht. Der technologische Wandel bei Computern ist allerdings schneller als bei Kopiergeräten, dem Anwendungsbeispiel dieser Arbeit. Da der Technologiewandel in der Kopiergeräteindustrie nicht schnell ist, ist die Annahme der Lagerung über eine Periode im langfristigen Planungshorizont für die Kopiergeräteindustrie sinnvoll.

Im FLCPR-Modell soll der Planungshorizont die Lebensdauer der Produkte erfassen, also die Zeit, die das Produkt im Markt nachgefragt wird und damit nicht durch technologischen Fortschritt veraltet ist. Also liegt in jeder Periode des Planungshorizonts Nachfrage vor, die durch die Einsammlung und Bearbeitung von Produktrückgaben über den gesamten Planungshorizont befriedigt werden kann.

In Kapitel 4 wird untersucht, welchen Einfluss die Berücksichtigung von unterschiedlichen Entscheidungszeitpunkten auf die CLSC-Planung haben. Dafür wird ein mathematisches Modell entwickelt, dass zusätzlich zur langfristigen auch die mittelfristige Planungsebene und damit eine Lagerung über mittelfristige Perioden, wie im APPR-Modell, erlaubt.

Doch zunächst wird das FLCPR-Modell mit gemeinsamen Entscheidungszeitpunkten für die Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung auf der strategischen Pla-

nungsebene vorgestellt, um die Vorteile einer mehrperiodigen Betrachtung des Problems und der Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um Kapazitätsplanung aufzuzeigen.

3.2.2 Mathematisches Modell zur mehrperiodigen Planung von Standorten, Kapazitäten, Transporten, Produktion und Refabrikation

Das FLCPR-Modell bildet die Standort-, Transport-, Kapazitäts- und Produktionsplanung im CLSCN über mehrere Perioden ab. Dafür sind weitere Definitionen notwendig, sowie bestehende Definitionen müssen verändert werden; diese Definitionen sind in den Tabellen 3.8 – 3.10 aufgeführt.

Tabelle 3.8: Relevante Definitionen für das FLCPR-Modell⁸

Parameter	Definition
α	Diskontierungszinssatz
e	Kapazitätseinheit in m^3 , um die die Kapazität eines Standort in einer Periode verändert werden kann
$fcap_y^{Cost}$	Kosten pro Kapazitätseinheit für die Erweiterung der Kapazität des Standorts y , $\forall y \in F \cup V \cup R$
$fcap_y^{Rev}$	Erlös pro Kapazitätseinheit für den Abbau der Kapazität des Standorts y , $\forall y \in F \cup V \cup R$
f_t^y	Kosten des offenen Standorts y in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
h_f^c	Kosten pro Periode für die Lagerung einer Komponente c im Werk f , $\forall f \in F, c \in C$
h_r^x	Kosten pro Periode für die Lagerung einer Einheit von x im WZ r , $\forall r \in R, x \in C \cup P$
LST	Letzte Planungsperiode, $LST \in ST$
md_t	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der nach der Sichtprüfung im VSZ in Periode t mindestens zu entsorgen ist, $\forall t \in ST$
md_t^c	Anteil an Menge von Komponente c , der in Periode t entsorgt werden muss, $\forall c \in C, t \in ST$

⁸Zusätzliche und veränderte Definitionen zu Tabellen in Kapitel 2 und zu Tabellen 3.1 – 3.5

Tabelle 3.9: Relevante Definitionen für das FLCPR-Modell, fortführend

Parameter	Definition
$Mindest$	Mindest-Anzahl an Perioden, bevor Produkte für die Refabrikation zurückgegeben werden können
N_{kpt}	Nachfrage von Kunde k für Produkt p in Periode t , $\forall k \in K, p \in P, t \in ST$
rg_{kps}^t	Rückgaberate in Periode t von Kunde k für Produkt p , welches in Periode s abgesetzt wurde, $\forall k \in K, p \in P$, $s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$
sf_y	Kosten für die Schließung des Standorts y , $\forall y \in F \cup V \cup R$
sh_r^x	Kosten für die Entsorgung einer gelagerten Einheit x im WZ r am Ende des Planungshorizonts, $\forall r \in R, x \in C \cup P$
sh_f^c	Kosten für die Entsorgung einer gelagerten Einheit c im Werk f am Ende des Planungshorizonts, $\forall f \in F, c \in C$
Variable	Definition
$CapT_t^y$	Anzahl an genutzten Kapazitätseinheiten e am offenen Standort y in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$CCap_t^y$	Veränderung der Kapazität an Standort y in e -Einheiten in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$CCapD_t^y$	Verringerung der Kapazität an Standort y in e -Einheiten in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$CCapU_t^y$	Erweiterung der Kapazität an Standort y in Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
EI_c^f	Menge an Komponente c verbleibend im Lager von Werk f am Ende des Planungshorizonts, $\forall f \in F, c \in C$
EI_x^r	Menge an Einheiten von x verbleibend im Lager von WZ r am Ende des Planungshorizonts, $\forall r \in R, x \in C \cup P$
EXI_{xt}^{yw}	Menge an Einheit x transportiert von Standort y zu Standort w auf der gleichen Netzwerkebene in Periode t , $\forall y, w \in F \cup V \cup R : y \neq w, x \in C \cup P, t \in ST$
H_t^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ in Periode } t \text{ geschlossen wird} \\ & \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
I_{ct}^f	Menge an Komponente c verbleibend im Lager von Werk f in Periode t , $\forall f \in F, c \in C, t \in ST$
I_{xt}^r	Menge an Einheit x verbleibend im Lager von WZ r in Periode t , $\forall r \in R, x \in C \cup P, t \in ST$
U_{pt}^k	Menge an unbefriedigter Nachfrage nach Produkt p von Kunde k in Periode t , $\forall k \in K, p \in P, t \in ST$

Tabelle 3.10: Relevante Definitionen für das FLCPR-Modell, fortführend

Variable	Definition
X_{xt}^y	Menge an Einheit x bearbeitet in Standort y in Periode t , $\forall y \in F \cup R$, $x \in C \cup P, t \in ST$
X_{xt}^{yw}	Menge an Einheit x transportiert von Standort y zu Standort w in Periode t , $\forall y, w \in FD, V, RD, Z, K : y \neq w, x \in C \cup P, t \in ST$
Y_{Et}^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ in Periode } t \text{ eröffnet wird,} \\ & \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
Y_t^y	$\begin{cases} 1, & \text{wenn der Standort } y \text{ in Periode } t \text{ offen ist,} \\ & \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
$YCCapU_t^y$	$\begin{cases} 1, & \text{wenn die Kapazität des Standorts } y \text{ in Periode } t \text{ gleich bleibt} \\ & \text{oder erhöht wird, } \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$

Der Planungshorizont des FLCPR-Modells, erfasst durch die Menge ST , besteht aus mehreren Perioden t , $\forall t \in ST$. Diese dynamische Standortplanung unterscheidet sich von der einperiodigen, statischen Planung; denn nun müssen in jeder Planungsperiode Entscheidungen darüber getroffen werden, welche Standorte eröffnet werden, sowie, welche offenen Standorte offen bleiben oder geschlossen werden sollen.

Jede dieser Aktionen, also die Eröffnung, Nutzung und Schließung eines Standorts, verursacht Kosten. Die Eröffnungskosten fallen einmalig für den Bau eines Standorts an; Kosten für die Nutzung eines Standorts fallen in jeder Periode an, in denen ein Standort offen ist. Diese Kosten sind sogenannte Betriebskosten, wie z.B. die Grundsteuer und die Kosten für die Wasserversorgung. Unter den Kosten für eine Standortschließung werden die Kosten, die durch die Abwicklung eines Standorts entstehen, zusammengefasst. Es wird angenommen, dass ein Standort, wenn er einmal geschlossen wurde, im Planungshorizont nicht wieder eröffnet werden kann.

Die Standort-Kapazität ist im FLCPR-Modell im Gegensatz zum CWLP in Abschnitt 2.2.1, zum Modell von Salema et al. (2007)[150] in Abschnitt 2.3.2 und zum FLPR-Modell in Abschnitt 3.1.3 kein Parameter mehr, sondern eine Variable, die aus einem vorgegebenen Wertebereich ausgewählt werden kann. Dieser Wertebereich ergibt sich aus

geographischen und technischen Vorgaben bzw. oberen und unteren Kapazitätsgrenzen. Die Kapazitäten werden zu strategischen Zeitpunkten bestimmt und können nur in großen Schritten verändert werden; diese Kapazitätsplanung gehört zur strategischen SC-Ebene, wie in Abschnitt 2.1.2 beschrieben.

Bei der Eröffnung eines Standorts wird die Volumen-Kapazität eines Standorts als Vielfaches des Parameters e festgelegt. In den folgenden Perioden kann die Kapazität erhöht oder verringert werden; eine Kapazitätsveränderung kann aber nur in festen Schritten von e vorgenommen werden. Der Parameter e bildet den Volumen-Wert ab, ab dem eine Kapazitätsveränderung erst als unternehmerisch sinnvoll oder technisch möglich gilt.

Ein Kapazitätsaufbau kann der Bau eines weiteren Gebäudes sein oder die Erweiterung eines bestehenden Gebäudes. Ein Kapazitätsabbau wird durch den Abriss eines bestehenden Gebäudes, die Vermietung an Dritte oder die Nutzung durch andere Unternehmensbereiche erreicht. Der Kapazitätsaufbau in Standorten wird mit einem Kostenparameter gewichtet in der Zielfunktion abgebildet.

Kapazitätsabbau in Standorten stellt gebundenes Kapital vom Unternehmen frei, das nun anderweitig genutzt oder angelegt werden und damit zu Erlösen führen kann. Auch der Verkauf bzw. die Vermietung an Dritte führt zu Einnahmen. Daher geht Kapazitätsabbau mit einem Erlös-(anstatt Kosten-)parameter gewichtet in die Zielfunktion ein.

Die Lagerung von wiederaufbereiteten Komponenten und gebrauchten Produkten in WZ, sowie von Komponenten in Werken verursacht in jeder Periode Kosten. Da der Planungshorizont des FLCPR-Modells den gesamten PLZ erfassen soll und nach dem Ende des Planungshorizonts keine Produktnachfrage mehr vorliegt, werden die am Ende des Planungshorizonts im Lager eines Standorts übrig gebliebenen Einheiten entsorgt.

Übereinstimmend mit dem statischen Standortplanungsmodell, dem FLPR-Modell in Abschnitt 3.1.3, werden die Anteile an den zurückgegebenen Produkten und ihren Komponenten vorgegeben, die entsorgt werden müssen, da sie nicht verwertbar sind bzw. nicht durch Refabrikation in einen neuwertigen Zustand überführt werden können; diese Parameter sind hier von der jeweiligen Periode abhängig. So kann eine Veränderung der Qualität der zurückgegebenen Produkte im Planungshorizont abgebildet werden.

Die Rückgaberate wird nun als $rg_{kps}^t, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, de-

finiert und ist im Gegensatz zum FLPR-Modell nicht mehr nur vom Kunden und Produkt abhängig, sondern auch von der Periode s , in der das Produkt zum Kunden transportiert wurde, und von der aktuellen Periode t . So wird die Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden erfasst; sie ergibt sich aus der Differenz von $t - s, \forall s \in ST : s \leq t$.

Sie kann unterschiedlich für Kunden oder Produkte sein, da z.B. manche Kunden Produkte häufiger gebrauchen, daher mehr abnutzen und das Produkt früher ausfällt oder die Qualität der Produktvarianten unterschiedlich ist. Die Rückgabe kann auch durch Rückkaufaktionen motiviert werden oder ist vertraglich durch Leasingverträge geregelt. (In Abschnitt 2.1 wurden bereits die unterschiedlichen Rückgabeformen vorgestellt.)

Es wird in dieser Arbeit angenommen, dass eine bestimmte vorgegebene Mindestnutzungsdauer *Mindest* existiert. D.h. das Produkt muss eine gewisse Anzahl an Perioden vom Kunden genutzt werden, bevor es zurückgegeben, im VSZ gesammelt und im WZ wiederaufbereitet wird, also muss $t - s \geq \text{Mindest}$ gelten.

Diese Mindestnutzungsdauer kann als Leasingdauer interpretiert oder als Zeitdauer verstanden werden, in der ein Produkt erwartungsgemäß funktionsfähig ist. D.h. Produkt-Rückgaben vor Ende der Mindestnutzungsdauer benötigen keine oder nur kleine Reparaturtätigkeiten – sie müssen somit nicht in ein WZ für eine aufwendige Refabrikation fließen, um wieder in den vorwärtsgerichteten Produktfluss integriert zu werden.

Die Zielfunktion des FLCPR-Modells wird nun vorgestellt.

$$\begin{aligned}
 \min \sum_{t \in ST} & \left(\left(1/(1 + \alpha)^t \right) \cdot \left(\sum_{r \in R} f_r \cdot Y_{Et}^r + \sum_{v \in V} f_v \cdot Y_{Et}^v + \sum_{f \in F} f_f \cdot Y_{Et}^f \right. \right. \\
 & + \sum_{r \in R} f_t^r \cdot Y_t^r + \sum_{v \in V} f_t^v \cdot Y_t^v + \sum_{f \in F} f_t^f \cdot Y_t^f \\
 & + \sum_{r \in R} s f_r \cdot H_t^r + \sum_{v \in V} s f_v \cdot H_t^v + \sum_{f \in F} s f_f \cdot H_t^f \\
 & + e \cdot \left(\sum_{r \in R} f \text{cap}_r^{\text{Cost}} \cdot \text{CCap}U_t^r + \sum_{f \in F} f \text{cap}_f^{\text{Cost}} \cdot \text{CCap}U_t^f + \sum_{v \in V} f \text{cap}_v^{\text{Cost}} \cdot \text{CCap}U_t^v \right. \\
 & + \sum_{r \in R} f \text{cap}_r^{\text{Rev}} \cdot \text{CCap}D_t^r + \sum_{f \in F} f \text{cap}_f^{\text{Rev}} \cdot \text{CCap}D_t^f + \sum_{v \in V} f \text{cap}_v^{\text{Rev}} \cdot \text{CCap}D_t^v \Big) \\
 & \left. + \sum_{k \in K, p \in P} c_{kp}^U \cdot U_{pt}^k \right) \tag{3.37}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{z \in Z, c \in C, f \in F} (c_{zf}^c \cdot t_{zf} + c_z^c) \cdot X_{ct}^{zf} + \sum_{r \in R, c \in C, f \in F} c_{rf}^c \cdot t_{rf} \cdot X_{ct}^{rf} \\
 & + \sum_{f \in F, v \in V, p \in P} c_{fv}^p \cdot t_{fv}^p \cdot X_{pt}^{fv} + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{vk}^p \cdot t_{vk}^p \cdot X_{pt}^{vk} \\
 & + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{kv}^p \cdot t_{kv}^p \cdot X_{pt}^{kv} + \sum_{v \in V, r \in R, p \in P} c_{vr}^p \cdot t_{vr}^p \cdot X_{pt}^{vr} \\
 & + \sum_{c \in C, r, s \in R: r \neq s} c_{rs}^c \cdot t_{rs}^c \cdot EXI_{ct}^{rs} + \sum_{p \in P, r, s \in R: r \neq s} c_{rs}^p \cdot t_{rs}^p \cdot EXI_{pt}^{rs} \\
 & + \sum_{c \in C, f, i \in F: f \neq i} c_{fi}^c \cdot t_{fi}^c \cdot EXI_{ct}^{fi} + \sum_{p \in P, v, j \in V: v \neq j} c_{vj}^p \cdot t_{vj}^p \cdot EXI_{pt}^{vj} \\
 & + \sum_{r \in R, c \in C} c_r \cdot X_{ct}^r + \sum_{f \in F, p \in P} c_f \cdot X_{pt}^f \\
 & + c^{DEnt} \cdot \left(\sum_{v \in V, p \in P} X_{pt}^{vD} + \sum_{r \in R, c \in C} X_{ct}^{rD} \right) \\
 & + \sum_{r \in R, p \in P} h_r^p \cdot I_{pt}^r + \sum_{r \in R, c \in C} h_r^c \cdot I_{ct}^r + \sum_{f \in F, c \in C} h_f^c \cdot I_{ct}^f \Bigg) \\
 & + \left(1/(1 + \alpha)^{LST} \right) \cdot \left(\sum_{f \in F, c \in C} sh_f^c \cdot EI_c^f + \sum_{r \in R, p \in P} sh_r^p \cdot EI_p^r + \sum_{r \in R, c \in C} sh_r^c \cdot EI_p^r \right)
 \end{aligned}$$

Die Zielfunktion des FLCPR-Modells minimiert die diskontierten Gesamtkosten, die über den gesamten Planungshorizont im CLSCN hinweg anfallen. Entscheidungen darüber, ob Standorte eröffnet werden oder, ob bereits offene Standorte offen bleiben oder geschlossen werden sollen, müssen in jeder Periode getroffen werden und verursachen Kosten. Die Kosten für Standorteröffnungen, -inbetriebnahmen und -schließungen stehen in Zeile 1-3. Die Kosten und Erlöse für Änderungen der Standort-Kapazitäten fallen einmalig in der jeweiligen Periode an; Kosten und Erlöse für Kapazitätsaufbau bzw. -abbau in Standorten sind in Zeile 4 bzw. 5 erfasst.

Produktnachfrage von Kunden liegt in jeder Periode t vor; sie muss entweder in der jeweiligen Periode befriedigt werden oder sie bleibt unbefriedigt. Die Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage stehen in Zeile 6. Im Gegensatz zum einperiodigen FLPR-Modell in Abschnitt 3.1.3 fallen nun jede Periode im Planungshorizont Kosten für den Transport, die Entsorgung, Beschaffung und Bearbeitung von Einheiten an. Diese Kosten werden in den Zeilen 7 - 13 erfasst. Da diese Kosten bereits in Abschnitt 3.1.3 beschrieben wurden, wird hier auf weitere Erläuterungen verzichtet.

Neu hinzukommen die Kosten der Lagerung; die Lagerhaltungskosten im WZ und Werk pro Periode sind in Zeile 14 angegeben. In der letzten Zeile stehen die Kosten für die Entsorgung der am Ende des Planungshorizonts im Lager der Standorte verbleibenden Einheiten.

Die Nebenbedingungen des FLCPR-Modells werden nun präsentiert. Die folgenden Nebenbedingungen (3.38) – (3.42) definieren den Zusammenhang zwischen Standorteröffnungen, -inbetriebnahmen und -schließungen.

$$\sum_{t \in ST} Y_{Et}^y \leq 1 \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (3.38)$$

Die Nebenbedingungen (3.38) geben vor, dass ein Standort nur einmal im gesamten Planungshorizont eröffnet werden darf.

$$Y_{E1}^y = Y_1^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (3.39)$$

Wenn in der ersten Periode ein Standort eröffnet wird, dann ist dieser Standort in dieser Periode offen, sonst nicht. (Für folgende Perioden wird dieser Zusammenhang durch die Nebenbedingungen (3.41) geregelt.)

$$Y_{t-1}^y - Y_t^y \leq H_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST : t > 1 \quad (3.40)$$

Die Nebenbedingungen (3.40) definieren die Variable H_t^y , die die Schließung eines Standorts anzeigt. Wenn ein Standort in der Periode $t - 1$ offen ist, aber in der darauffolgenden Periode t nicht, dann wird er in t geschlossen. Durch die Nebenbedingungen (3.40) wird dieser Zusammenhang erfasst und die Variable H_t^y wird bei Schließung des Standorts y zu $H_t^y = 1$, sonst zu $H_t^y = 0$.

$$\sum_{t \in ST: t \leq s} (Y_{Et}^y - H_t^y) = Y_s^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, s \in ST : s > 1 \quad (3.41)$$

Die Nebenbedingungen (3.41) geben den Zusammenhang zwischen Eröffnung, Schließung und Geöffnet sein von Standorten wieder. Wenn ein Standort in den Perioden $t \leq s$

eröffnet und nicht geschlossen wird, ist er auch in Periode s offen, d.h. $Y_s^y = 1$, da $Y_{Et}^y = 1$ und $H_t^y = 0$, $\forall s, t \in ST : t \leq s$.

In Periode s ist ein Standort nicht offen, also $Y_s^y = 0$, wenn er in den Perioden $t \leq s$ nicht eröffnet wurde oder nach der Eröffnung in einer der Perioden $t \leq s$ wieder geschlossen wurde, d.h. bei $Y_{Et}^y = 0$ oder $Y_{Et}^y = 1$ und $H_t^y = 1$, $\forall s, t \in ST : t \leq s$.

$$\sum_{t \in ST} H_t^y \leq 1 \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (3.42)$$

Ein Standort darf nur einmal im gesamten Planungshorizont geschlossen werden, d.h. die Variable, die die Schließung eines Standorts angibt, darf im Planungshorizont nur einmal den Wert eins annehmen.

Die Lagerhaltungsbilanzen und der Anfangs- und Endbestand der jeweiligen Lager werden durch die Nebenbedingungen (3.43) – (3.51) definiert, die nun vorgestellt werden.

$$I_{c1}^f = \sum_{z \in Z} X_{c1}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c1}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c1}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c1}^{fi} - X_{c1}^f \quad (3.43)$$

$$\forall f \in F, c \in C$$

Die Nebenbedingungen (3.43) geben den Lagerbestand am Ende der ersten Periode in einem Werk an. Er ergibt sich aus der Differenz zwischen den Zu- und Abflüssen der ersten Periode: Komponenten können von Zulieferern, WZ und anderen Werken in ein Werk fließen und sie können an andere Werke und in die Produkt-Montage abfließen.

$$I_{ct}^f = I_{ct-1}^f + \sum_{z \in Z} X_{ct}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{ct}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{ct}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{ct}^{fi} - X_{ct}^f \quad (3.44)$$

$$\forall f \in F, c \in C, t \in ST : 1 < t \leq LST$$

Der Lagerbestand an Komponenten in einem Werk am Ende von Periode t ist der Endbestand der vorherigen Periode $t - 1$ erhöht um die Zuflüsse von Zulieferern, WZ und anderen Werken und vermindert um die Abflüsse an andere Werke und in die Produkt-Montage der aktuellen Periode t .

$$I_{xt}^r = 0 \quad \forall r \in R, x \in C \cup P, t \in ST : t \leq Mindest - 1 \quad (3.45)$$

In den Perioden $t \leq Mindest - 1$ werden keine zurückgegebenen Produkte gesammelt, daher können in diesen Perioden auch keine zurückgegebenen Produkte oder wiederaufbereitete Komponenten im WZ gelagert werden.

$$I_{pMindest}^r = \sum_{v \in V} X_{pMindest}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{pMindest}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{pMindest}^{rs} - X_{pMindest}^r \quad (3.46)$$

$$\forall r \in R, p \in P$$

Die Nebenbedingungen (3.46) geben den Lagerbestand an zurückgegebenen Produkte in einem WZ in der ersten Periode mit Produkt-Rückgaben an, also in $t = Mindest$. Zurückgegebene Produkte fließen von VSZ oder anderen WZ in das Lager eines WZ und vom Lager fließen sie an andere WZ weiter oder werden zur Refabrikation entnommen.

$$I_{pt}^r = I_{pt-1}^r + \sum_{v \in V} X_{pt}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{pt}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{pt}^{rs} - X_{pt}^r \quad (3.47)$$

$$\forall r \in R, p \in P, t \in \{Mindest + 1, \dots, LST\}$$

Die Nebenbedingungen (3.47) geben den Lagerbestand an zurückgegebenen Produkten im WZ am Ende von Periode t , wobei $Mindest < t \leq LST$, als den Endbestand der vorherigen Periode $t - 1$ erhöht um die Zuflüsse von WZ und anderen VSZ und verringert um die Abflüsse zu anderen WZ und zur Demontage an.

$$I_{cMindest}^r = X_{cMindest}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{cMindest}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{cMindest}^{rs} - \sum_{f \in F} X_{cMindest}^{rf} \quad (3.48)$$

$$\forall r \in R, c \in C$$

Ab der Periode $Mindest$ werden Produkte zurückgegeben und können im WZ zu Komponenten demontiert werden. Diese Komponenten können wiederaufbereitet werden und danach gelagert werden.

Die Nebenbedingungen (3.48) geben den Lagerbestand an Komponenten im WZ am Ende der Periode $Mindest$ an; er ist die Differenz zwischen den aktuell im WZ wiederaufbereiteten Komponenten und Zuflüssen an Komponenten von anderen WZ und denjenigen Komponenten, die aus dem Lager zu anderen WZ oder zu Werken fließen.

$$I_{ct}^r = I_{ct-1}^r + X_{ct}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{ct}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{ct}^{rs} - \sum_{f \in F} X_{ct}^{rf} \quad (3.49)$$

$$\forall r \in R, c \in C, t \in \{Mindest + 1, \dots, LST\}$$

Der Bestand des Komponenten-Lagers in einem WZ am Ende von Periode t , wobei $Mindest < t \leq LST$, setzt sich zusammen aus dem Lager-Endbestand aus der vorherigen Periode $t - 1$ und den Zuflüssen an Komponenten aus der Refabrikation und von anderen WZ in Periode t und wird vermindert um die Abflüsse an Komponenten zu anderen WZ oder zu Werken der Periode t .

$$I_{cLST}^f = EI_c^f \quad \forall f \in F, c \in C \quad (3.50)$$

$$I_{xLST}^r = EI_x^r \quad \forall r \in R, x \in C \cup P \quad (3.51)$$

Am Ende der letzten Periode des Planungshorizonts werden die im Lager verbleibenden Komponenten und Produkte der jeweiligen Variable EI_c^f , EI_p^r bzw. EI_c^r zugewiesen.

Die folgenden Nebenbedingungen (3.52) - (3.57) bilden die Produktflüsse ab, die durch VSZ fließen.

$$\sum_{v \in V} X_{pt}^{vk} + U_{pt}^k = N_{kpt} \quad \forall k \in K, p \in P, t \in ST \quad (3.52)$$

Produkte fließen in Periode t von VSZ zu Kunden, um deren Nachfrage in Periode t zu befriedigen, oder Nachfrage bleibt unbefriedigt.

$$\sum_{v \in V} X_{pt}^{kv} = 0 \quad \forall t \in \{1, \dots, Mindest - 1\}, k \in K, p \in P \quad (3.53)$$

Vor Ende der Mindestnutzungsdauer $Mindest$, also in den Perioden 1 bis $Mindest - 1$, gibt es keine rückwärtsgerichteten Produktflüsse von Kunden zu VSZ.

$$\sum_{v \in V} X_{pt}^{kv} = \sum_{s=1}^t \left(r g_{kps}^t \cdot \sum_{v \in V} X_{ps}^{vk} \right) \quad \forall t \in \{Mindest, \dots, LST\}, k \in K, p \in P \quad (3.54)$$

In VSZ werden zurückgegebene Produkte von der Periode $Mindest$ an gesammelt. Die Nebenbedingungen (3.54) bestimmen die Menge an zurückgegebenen Produkten in Peri-

ode t als Anteil von den in Periode s zu Kunden transportierten Produkten. Der Anteil wird durch rg_{kps}^t angegeben, wobei $s \leq t$ und $Mindest \leq t - s$ gilt. D.h. Produkte müssen vorher zu Kunden transportiert und von diesen (mindestens) $Mindest$ Perioden genutzt worden sein, bevor sie für die Refabrikation zurückgegeben werden können.

$$\sum_{f \in F} X_{pt}^{fv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{pt}^{jv} = \sum_{k \in K} X_{pt}^{vk} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{pt}^{vj} \quad \forall v \in V, p \in P, t \in ST \quad (3.55)$$

Da die Fertigung auftragsbezogen ist, werden keine Produkte im Netzwerk gelagert. Daher gibt es keine Lager in VSZ: Alle Produkte, die in einer Periode von Werken und anderen VSZ in ein VSZ hereinfließen, müssen auch wieder an Kunden oder andere VSZ herausfließen.

$$\sum_{k \in K} X_{pt}^{kv} = \sum_{r \in RD} X_{pt}^{vr} \quad \forall v \in V, p \in P, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.56)$$

In VSZ werden die gebrauchten Produkte, die von Kunden zurückgegeben werden, gesammelt und nach einer Sichtprüfung weiter zu WZ transportiert oder entsorgt, je nach Ausgang der Sichtprüfung.

$$X_{pt}^f = \sum_{v \in V} X_{pt}^{fv} \quad \forall f \in F, p \in P, t \in ST \quad (3.57)$$

Jedes Produkt, welches in Periode t in einem Werk montiert wird, wird in der selben Periode zu VSZ transportiert.

In den folgenden Nebenbedingungen (3.58) und (3.59) werden Montage- bzw. Demontage-Vorgänge in Werken bzw. WZ abgebildet; im Gegensatz zum APPR- und FLPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 bzw. 3.1.3 gelten diese Nebenbedingungen nun für jede strategische Periode im Planungshorizont.

$$\sum_{p \in P} b_{cp} \cdot X_{pt}^f = X_{ct}^f \quad \forall f \in F, c \in C, t \in ST \quad (3.58)$$

$$X_{ct}^r = \sum_{p \in P} a_{cp} \cdot X_{pt}^r \quad \forall r \in R, c \in C, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.59)$$

Die Nebenbedingungen (3.58) bzw. (3.59) geben für jede Periode t an, wie viele Komponenten für die Produkt-Montage in einem Werk benötigt werden bzw. durch die Refabrikation von zurückgegebenen Produkten in einem WZ gewonnen werden können.

Allerdings findet Refabrikation natürlich nur in Perioden statt, in denen Produkte zurückgegeben werden.

Die Entsorgungsmengen an gebrauchten Produkten und Komponenten werden durch die folgenden Nebenbedingungen (3.60) und (3.61) definiert.

$$X_{pt}^{vD} \geq md_t \cdot \sum_{k \in K} X_{pt}^{kv} \quad \forall v \in V, p \in P, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.60)$$

Mindestens ein Anteil md_t der zurückgegebenen Produkte muss nach der Sichtprüfung im VSZ in jeder Periode t , wobei $Mindest \leq t \leq LST$, entsorgt werden.

$$md_t^c \cdot X_{ct}^r \leq X_{ct}^{rD} \quad \forall r \in R, c \in C, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.61)$$

Nach der Refabrikation hat mindestens ein Anteil md_t^c von den Komponenten keinen neuwertigen Zustand erreicht; diese Komponenten müssen daher entsorgt werden.

Die folgenden Nebenbedingungen (3.62) - (3.76) erfassen die Kapazitätsrestriktionen für Standorte und die Kapazitätsplanung über den Planungshorizont.

$$\sum_{p \in P} g_p \cdot X_{pt}^{fv} + \sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{ct}^{fi} \leq e \cdot CapT_t^f \quad \forall f \in F, t \in ST \quad (3.62)$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{z \in Z} X_{ct}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{ct}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{ct}^{if} \right) \leq e \cdot CapT_t^f \quad \forall f \in F, t \in ST \quad (3.63)$$

Im Gegensatz zum FLPR-Modell aus Abschnitt 3.1.3 ist die Standort-Kapazität in Periode t kein Parameter mehr, sondern ergibt sich als Produkt aus der Variable, die die Menge an genutzten Kapazitätseinheiten angibt, mit der Kapazitätseinheit e , z.B. für ein Werk als $e \cdot CapT_t^f, \forall f \in F$.

Die Nebenbedingungen (3.62) und (3.63) sichern, dass das Volumen der Güterflüsse aus bzw. in ein Werk die jeweilige Kapazität in jeder Periode t einhält.

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{ct}^{sr} + \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{v \in V} X_{pt}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{pt}^{sr} \right) \leq e \cdot CapT_t^r \quad \forall r \in R, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.64)$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{f \in F} X_{ct}^{rf} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{ct}^{rs} \right) + \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{pt}^{rs} \right) \leq e \cdot CapT_t^r \quad \forall r \in R, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.65)$$

Durch die Nebenbedingungen (3.64) bzw. (3.65) wird das Volumen der Komponenten und Produkte, die in t , wobei $Mindest \leq t \leq LST$, in ein WZ hinein- bzw. herausfließen, durch die in Periode t im WZ verfügbare Kapazität begrenzt.

$$\sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{f \in F} X_{pt}^{fv} + \sum_{k \in K} X_{pt}^{kv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{pt}^{jv} \right) \leq e \cdot CapT_t^v \quad \forall v \in V, t \in ST \quad (3.66)$$

Die Nebenbedingungen (3.66) geben vor, dass das Volumen des Produktflusses, der aus einem VSZ herausfließt, die dort vorhandene Kapazität einhält. (Da in VSZ keine Lagerhaltung oder Transformation von Einheiten stattfindet, also alle Produkte, die in einer Periode in ein VSZ fließen, dieses auch wieder verlassen, sind keine weiteren Kapazitätsrestriktionen für VSZ notwendig.)

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot I_{ct}^f \leq e \cdot CapT_t^f \quad \forall f \in F, t \in ST \quad (3.67)$$

Die Nebenbedingungen (3.67) geben vor, dass das Volumen der gelagerten Komponenten-Menge in Werken die jeweilig vorhandene Kapazität des Werks nicht übersteigen darf.

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot I_{ct}^r + \sum_{p \in P} g_p \cdot I_{pt}^r \leq e \cdot CapT_t^r \quad \forall r \in R, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (3.68)$$

Im WZ können wiederaufbereitete Komponenten und zurückgegebene Produkte gelagert werden; das Volumen dieser Lagermengen darf die Kapazität des jeweiligen WZ nicht überschreiten.

$$Cap_y^U \cdot Y_t^y \leq e \cdot CapT_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot Y_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (3.69)$$

Die Nebenbedingungen (3.69) begrenzen die Kapazität der offenen Standorte durch obere und untere Grenzen.

$$CapT_1^y = CCap_1^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (3.70)$$

Die Kapazität der Standorte, die in der ersten Periode offen sind, wird durch die Nebenbedingungen (3.70) der Variable für Kapazitätsveränderung zugewiesen.

$$CapT_t^y - CapT_{t-1}^y = CCap_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST : t > 1 \quad (3.71)$$

In den folgenden Perioden, also in $t > 1$, kann die Kapazität eines Standorts verändert werden.

$$CCap_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot YCCapU_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (3.72)$$

Wenn die Standort-Kapazität in der Periode t erhöht wird, dann wird durch die Nebenbedingungen (3.72) $YCCapU_t^y$ auf den Wert 1 gesetzt. Weiterhin sichern diese Nebenbedingungen, dass die Kapazitätserweiterung durch die Kapazitätsobergrenze des jeweiligen Standorts begrenzt wird.

Bei Kapazitätsabbau, also bei $CCap_t^y < 0$, wird $YCCapU_t^y = 0$. (Wenn die Kapazität unverändert bleibt, also $CCap_t^y = 0$ ist, dann nimmt $YCCapU_t^y$ den Wert 1 oder 0 an.)

$$CCap_t^y - CCapU_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot (1 - YCCapU_t^y) \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (3.73)$$

Die Nebenbedingungen (3.73) weisen den Variablen $CCapU_t^y, \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST$, Kapazitätsaufbau, d.h. die positiven Variablenwerte von $CCap_t^y$, folgenderweise zu: Wenn Kapazitätsaufbau am Standort y vorliegt, also $YCCapU_t^y = 1$ ist, werden die obigen Nebenbedingungen zu $CCap_t^y \leq CCapU_t^y$. Da die Variable $CCapU_t^y$ mit einem Kostenparameter in der Zielfunktion gewichtet wird und die Kosten der Zielfunktion minimiert werden, wird $CCapU_t^y$ auf den geringst möglichen Wert gesetzt und so wird

$CCap_t^y = CCapU_t^y$ erreicht.

$$CCap_t^y - CCapD_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot YCCapU_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (3.74)$$

Durch die Nebenbedingungen (3.74) wird erreicht, dass den Variablen $CCapD_t^y$ Kapazitätsabbau, d.h. die negativen Variablenwerte von $CCap_t^y$, zugewiesen werden. Nun wird erläutert, wie dies erreicht wird.

Wenn Kapazitätsabbau an einem Standort vorliegt, ist $YCCapU_t^y = 0$ und die Nebenbedingungen (3.74) werden zu $CCap_t^y \leq CCapD_t^y$. Im Gegensatz zu allen anderen Variablen des FLCPR-Modells sind die Variablen $CCapD_t^y$ negative Variablen, da sie Kapazitätsabbau erfassen. (Sie gehen gewichtet mit einem Erlösparameter in die Zielfunktion ein.) Die Variablen $CCapD_t^y$ werden also in der Optimierung minimiert, denn so wird der Erlös für Kapazitätsabbau maximiert. Durch die Minimierung der Variablen $CCapD_t^y$ wird $CCap_t^y \leq CCapD_t^y$ zu $CCap_t^y = CCapD_t^y$.

$$CCapD_t^y \geq -Cap_{yt}^O \cdot (1 - YCCapU_t^y) \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (3.75)$$

Die Nebenbedingungen (3.75) begrenzen den Kapazitätsabbau in Standorten: Falls Kapazität nicht abgebaut wird und $YCCapU_t^y = 1$ ist, werden die Nebenbedingungen (3.75) zu $CCapD_t^y \geq 0$. Da $CCapD_t^y$ nur Werte aus $\mathbb{Z}^-$ annehmen kann, wie im Folgenden definiert wird, wird daraus $CCapD_t^y = 0$.

Wenn Kapazität abgebaut wird, ist $YCCapU_t^y = 0$ und die Nebenbedingungen (3.75) werden zu $CCapD_t^y \geq -Cap_{yt}^O$. D.h. es kann nicht mehr Kapazität abgebaut werden, als die jeweilige obere Kapazitätsgrenze des Standorts vorgibt. (Natürlich darf nicht mehr Kapazität abgebaut werden, als im jeweiligen Standort vorhanden ist. Im FLCPR-Modell wird dies folgenderweise gesichert: Kapazitätsabbau wird durch den Vergleich von Kapazitäten aufeinanderfolgender Perioden bestimmt, siehe Nebenbedingungen 3.71, und durch die Nebenbedingungen 3.74 der Variable $CCapD_t^y$ zugewiesen.)

$$YCCapU_t^y \leq Y_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (3.76)$$

Kapazitätsveränderungen können nur an offenen Standorten stattfinden. Die Nebenbedingungen (3.76) sorgen dafür, dass die jeweilige Indikator-Variable für einen Kapazitätsaufbau an einem Standort nur auf eins gesetzt werden kann, wenn der entsprechende Standort offen ist.

Das FLCPR-Modell ist ein gemischt ganzzahliges Optimierungsmodell, dessen Entscheidungsvariablen in den folgenden Nebenbedingungen (3.77) – (3.80) definiert werden.

$$\begin{aligned}
 &U_{pt}^k, X_{pt}^{kv}, X_{pt}^{vk}, X_{pt}^{vr}, X_{pt}^{fv}, X_{ct}^{zf}, X_{ct}^{rf}, \\
 &EXI_{ct}^{rs}, EXI_{pt}^{rs}, EXI_{ct}^{fi}, EXI_{pt}^{vj}, X_{ct}^r, X_{pt}^r, X_{pt}^f, X_{ct}^f, \\
 &I_{ct}^f, I_{ct}^r, I_{pt}^r, EI_c^f, EI_c^r, EI_p^r, CapT_t^y, CCapU_t^y \in \mathbb{Z}^+ \\
 &\forall p \in P, c \in C, r \in RD, s \in R : s \neq r, k \in K, v, j \in V : v \neq j, \\
 &f \in FD, i \in F : i \neq f, z \in Z, t \in ST
 \end{aligned} \tag{3.77}$$

Die Variablen, die die unbefriedigte Nachfrage, den Fluss von Produkten und Komponenten im Netzwerk, die produzierten und gelagerten Einheiten in WZ und Werken, die Anzahl an Kapazitätsschritten und die Anzahl an Kapazitätsaufbausritten in jeder Periode t angeben, werden durch positive ganzzahlige Variablen beschrieben.

$$CCapU_t^y \in \mathbb{Z} \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \tag{3.78}$$

Die Änderungen der Kapazität werden durch Variablen abgebildet, die ganzzahlig und positiv oder negativ sind.

$$CCapD_t^y \in \mathbb{Z}^- \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \tag{3.79}$$

Der Abbau von Kapazitäten wird durch Variablen beschrieben, die ganzzahlig und negativ sind.

$$Y_{Et}^y, Y_t^y, H_t^y, YCCapU_t^y \in \{0, 1\} \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \tag{3.80}$$

Die Eröffnung, Nutzung und Schließung von Standorten wird durch binäre Variablen angegeben. Wenn Kapazität in Standorten aufgebaut wird, wird die binäre Variable

$YCCapU_t^y = 1$, bei Kapazitätsabbau wird $YCCapU_t^y = 0$.

Beispiel und Ergebnisse

Nun wird das FLCPR-Modell genutzt, um das Netzwerk für den Kopiergerätehersteller in Deutschland optimal zu planen. Alle Kunden- und Zulieferstandorte, mögliche Standorte für Werke, VSZ und WZ bleiben unverändert, wie bereits beim FLRP-Modell in Abbildung 3.4 in Abschnitt 3.1.3 dargestellt.

Im Gegensatz zum FLPR-Modell besteht der Planungshorizont statt aus einer Periode aus 5 Perioden. Es wird angenommen, dass Nachfrage anstatt in nur einer Periode nun in 5 Perioden vorliegt. Dabei erfasst eine Periode die jährliche Nachfrage der Kundenstandorte, die bereits in Tabelle 2.7 in Abschnitt 2.3.2 angegeben wurde.

Die Kosten für Standort-Eröffnungen und für die Erstellung und den Transport von Einheiten, der Entsorgungsanteil an nicht verwertbaren zurückgegebenen Produkten und nicht neuwertig wiederaufbereiteten Komponenten, aber auch die Kapazitätsobergrenzen der Standorte und das Volumen der Produkte und Komponenten werden aus den vorherigen numerischen Analysen in Abschnitt 2.3.2 und der Tabellen 3.6 und 3.7 in Abschnitt 3.1.3 übernommen. Zusätzlich müssen weitere Parameter vorgegeben werden, um das FLCPR-Modell lösen zu können; sie sind in Tabelle 3.11 aufgelistet.

Zur Erfassung der diskontierten Gesamtkosten wird ein Diskontierungszins α in Höhe von 1% vorgegeben. Die Volumen-Kapazität der Standorte kann in Schritten von $1.000m^3$ verändert werden, d.h. $e = 1.000m^3$. Die untere Kapazitätsgrenze gibt vor, dass mindestens ein Kapazitätsschritt an einem offenen Standort vorhanden ist, also $Cap_y^U = 1.000m^3$, $\forall y \in F \cup V \cup R$. Die Kosten für Kapazitätsaufbau und der Erlös für Kapazitätsabbau sind mit $fcap_y^{Cost} = fcap_y^{Rev} = 1$ GE pro $1m^3$, $\forall y \in F \cup V \cup R$, angegeben; diese Größenordnung basiert auf den vorgegebenen Eröffnungskosten und Kapazitätsgrenzen von [52].

Die Kosten für die Schließung eines Standorts werden mit $sf_y = 50.000$ GE, $\forall y \in F \cup V \cup R$, als eher gering im Vergleich mit den Eröffnungskosten angenommen. Zur Vereinfachung und Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des FLPR-Modells werden die

Nutzungskosten für offene Standorte mit Null angegeben; außerdem werden im FLCPR-Modell bereits Kapazitätskosten berücksichtigt. Daher werden auch nur Lagerhaltungskosten in Höhe von $h_y^x = 0,25$ GE pro PE, $\forall y \in R \cup F, x \in C \cup P$, unterstellt, basierend auf [158].

Tabelle 3.11: Relevante zusätzliche Parameterwerte⁹

Parameter	Wert
α	0,01
Cap_y^U	$1.000m^3, \forall y \in F \cup V \cup R$
c_{kp}^U	77 GE, $\forall k \in K, p \in P$
e	$1.000m^3$
f_t^y	0, $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$fcap_y^{Cost}$	1 GE, $\forall y \in F \cup V \cup R$
$fcap_y^{Rev}$	1 GE, $\forall y \in F \cup V \cup R$
h_f^c	0,25 GE pro Komponente, $\forall f \in F, c \in C$
h_r^x	0,25 GE pro PE, $\forall r \in R, x \in C \cup P$
LST	5
$Mindest$	1
sf_y	50.000, $\forall y \in F \cup V \cup R$
sh_r^x	2,5 GE pro PE, $\forall r \in R, x \in C \cup P$
sh_f^c	2,5 GE pro PE, $\forall f \in F, c \in C$

Die Entsorgungskosten für den Lagerbestand in Werken und WZ am Ende der letzten Periode im Planungshorizont werden mit $sh_y^x = 2,5$ GE pro PE, $\forall y \in R \cup F, x \in C \cup P$, angenommen. Sie sind genau so hoch, wie die Entsorgungskosten in den anderen Perioden des Planungshorizonts.

Die Mindestnutzungsdauer von Produkten durch Kunden beträgt eine Periode, also $Mindest = 1$. Weiterhin wird angenommen, dass die Nutzungsdauer jedes Produkts und Kunden eine Periode beträgt; die Rückgaberate bleibt unverändert bei 50%. Die zurückgegebenen Produkte stehen am Anfang der jeweiligen Planungsperiode zur Verfügung.

D.h. 50% der Produkte, die zu Kunden transportiert werden, werden nach einer Periode in Nutzung durch Kunden zurückgegeben. Die anderen 50% verweilen weiterhin beim Kunden bzw. werden nie zurückgegeben. Die Rückgaberate ist also $rg_{kps}^t = 0,5$ für

⁹Zusätzliche Parameterwerte zu Tabellen aus Abschnitt 2.3.2 und den Tabellen 3.6 und 3.7.

$s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : t - s = 1$, sonst $rg_{kps}^t = 0$. In der folgenden Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss unterschiedlicher Nutzungsdauern auf das CLSCN untersucht.

Die Lösung des FLCPR-Modells für das Ausgangsbeispiel wird mit der gleichen Hard- und Software, wie das Modell von Salema et al. (2007)[150] und das FLRP-Modell in Abschnitt 2.3.2 bzw. 3.1.3, in 3.887,34 Sekunden, also in über einer Stunde erreicht. Gegenüber der Lösungszeit des Modells von Salema et al. (2007)[150] und des FLPR-Modells von 1,08 bzw. 0,47 Sekunden ist sie deutlich länger.

Das FLCPR-Modell ist eine Erweiterung dieser Modelle; die Erweiterungen der Planung von einem einperiodigen zu einem mehrperiodigen Planungshorizont und um Kapazitätsplanung führt zu einer wesentlich längeren Lösungszeit. Denn nun müssen in jeder Periode im Planungshorizont anstatt nur in einer Periode Entscheidungen über Standorteröffnungen, Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmengen getroffen werden. Außerdem sind zusätzlich Standortschließungen möglich und die Standort-Kapazitäten müssen jetzt ebenfalls optimal bestimmt werden.

Für das Ausgangsbeispiel gilt $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ und das FLCPR-Modell gibt vor, dass jede Nachfrage befriedigt wird. Die optimalen Standorte für das Werk und VSZ sind in Berlin; die optimalen Standorte und Kapazitäten sind in Abbildung 3.11 dargestellt. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.17 im Anhang A.4 dokumentiert.) Im Gegensatz zur Ausgangslösung des FLPR-Modells ist Refabrikation ökonomisch sinnvoll und ein WZ wird ab der zweiten Periode in Berlin eröffnet.

Nachfrage liegt in 5 Perioden vor und Produkte werden in 4 Perioden zurückgegeben anstatt nur in einer Periode, wie im FLPR-Modell und im FLCPR-Modell findet Kapazitätsplanung statt, d.h. die Standort-Kapazität wird optimal bestimmt. Dadurch übersteigen die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch Nutzung wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten in der Montage nachgefragter Produkte die Kosten verbunden mit der Refabrikation und Refabrikation ist nach dem FLCPR-Modell ökonomisch sinnvoll. Die Refabrikation kann sogar 2 GE pro Komponente kosten und bleibt ökonomisch sinnvoll. (In Abbildung A.18 im Anhang A.4 ist die Lösung des FLCPR-Modells für $c_r = 2$ GE, $\forall r \in R$, dargestellt.)

Durch die Berücksichtigung von Kapazitätskosten werden hohe Überkapazitäten im Netz-

werk verhindert; die Kapazität der Standorte wird dem Volumen der Durchfluss- bzw. Lagermenge der jeweiligen Standorte angepasst. In Abbildung 3.11 sind die offenen Standorte mit ihren Kapazitäten über den Planungshorizont der Ausgangslösung aufgeführt. Die optimalen Transportmengen an Produkten zwischen Werk, VSZ und Kunden sind in Abbildung 3.12 dargestellt.

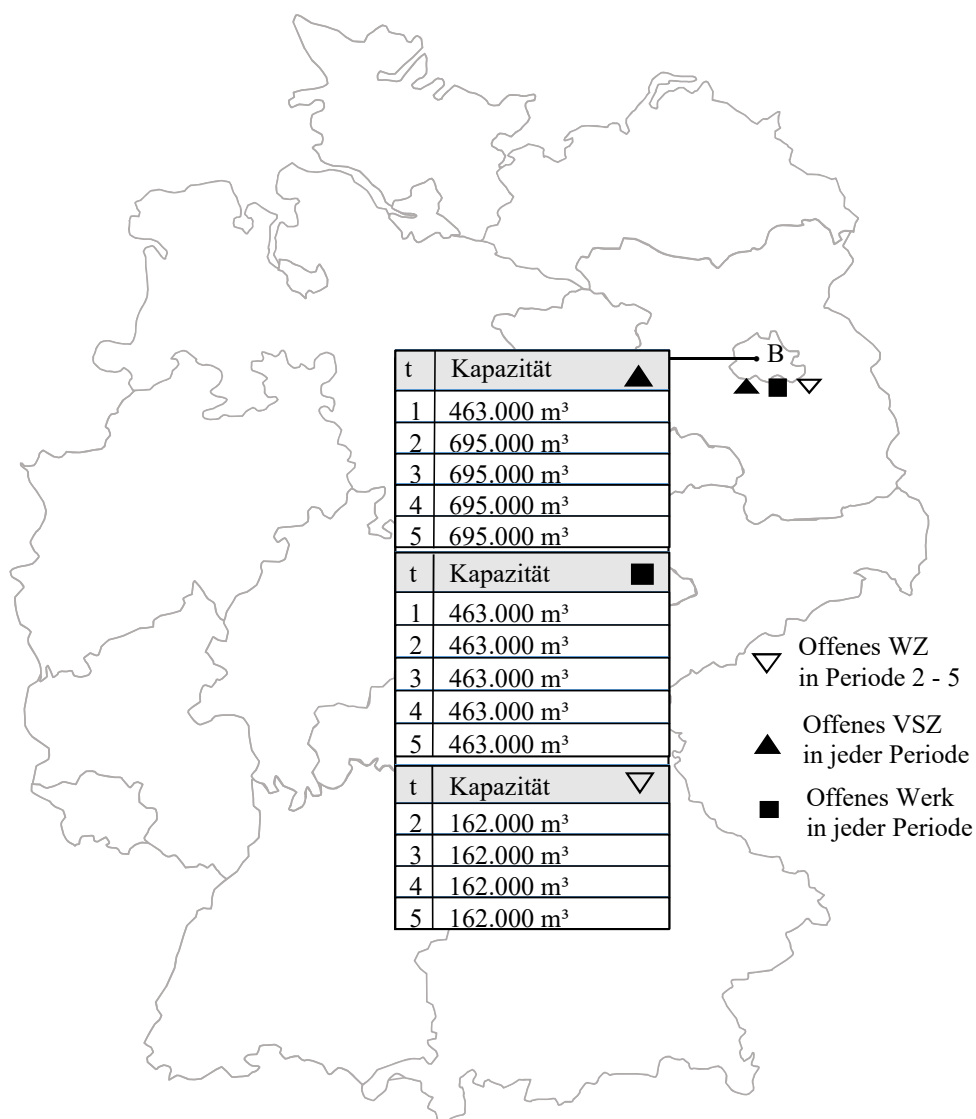


Abbildung 3.11: Optimale Standorte und Kapazitäten für das Ausgangsbeispiel (Eigene Darstellung)

In jeder Periode fließen 23.140 *P1*- und 23.140 *P2*-Produkte, also insgesamt 46.280 Produkte, von Werken über VSZ zu den Kundenstandorten. (Die Ausgangslösung ist in Ab-

bildung A.17 im Anhang A.4 aufgeführt.) Für die Herstellung der 46.280 Produkte werden im Werk 23.140 $M1$ –, 46.280 $M2$ – und 23.140 $M3$ –Komponenten pro Periode benötigt.

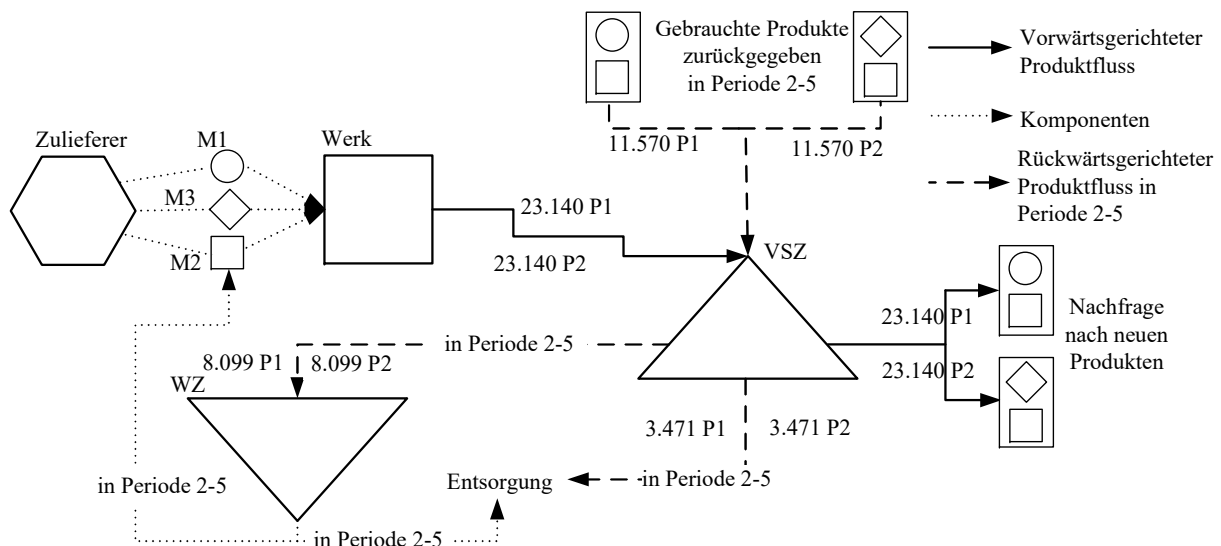


Abbildung 3.12: Optimale Transportmengen an Produkten zwischen Werk, VSZ und Kunden (Eigene Darstellung)

Also benötigen die Komponenten, die pro Periode in das Werk fließen, eine Kapazität von $185.120m^3$ ($= 2m^3$ (Kapazitätsbedarf einer Komponente) $\cdot$ 92.560 (Anzahl an Komponenten, die pro Periode ins Werk fließen)). (Der Fluss an Komponenten zwischen Werk und Zulieferer bzw. WZ ist in der folgenden Abbildung 3.13 dargestellt.) Dagegen erfordern die Produkte, die in jeder Periode aus dem Werk herausfließen, eine Kapazität von $462.800m^3$ ($= 10m^3$ (Kapazitätsbedarf eines Produkts) $\cdot$ 46.280 (Anzahl an Produkten, die pro Periode aus dem Werk heraus fließen)).

Da die Kapazität ein Vielfaches von $1.000m^3$ ist und der Kapazitätsbedarf der Komponenten niedriger als der Kapazitätsbedarf der Produkte ist ($185.120m^3 < 462.800m^3$), folgt daraus eine Werk-Kapazität von $463.000m^3$ über den Planungshorizont.

Im VSZ findet keine Transformation und Lagerung von Einheiten statt, d.h. die Produkte, die pro Periode in das VSZ fließen, verlassen das VSZ auch wieder. Ab der zweiten Periode werden zusätzlich zu den 46.280 Produkten, die vom VSZ vorwärts zu Kunden fließen, 11.570 $P1$ - und 11.570 $P2$ -Produkte im VSZ zurückgegeben. D.h. es werden in der zweiten bis fünften Periode 23.140 zurückgegebene Produkte im VSZ gesammelt,

sodass in den Perioden 2-5 insgesamt 69.420 Produkte durch das VSZ fließen.

Pro Umschlag eines Produkts werden im VSZ $10m^3$ benötigt und die Kapazität der Standorte wird in Schritten von $1.000m^3$ verändert, daher liegt im VSZ in der ersten Periode eine Kapazität von $463.000m^3$ vor, die in der zweiten Periode auf $695.000m^3$ erhöht wird. Ab Periode 2 fließen von den im VSZ gesammelten Produktrückgaben 8.099 *P1*– und 8.099 *P2*–Produkte, also insgesamt 16.198 Produkte pro Periode weiter zum WZ, die restlichen gelten als nicht wiederverwertbar und werden entsorgt. Da der Kapazitätsbedarf der Produkte deutlich höher als der Kapazitätsbedarf der Komponenten ist und Kapazität in Schritten von $1.000m^3$ der Durchflussmenge angepasst wird, beträgt die WZ-Kapazität in Periode 2–5 $162.000m^3$.

Über den Planungshorizont fließen insgesamt 32.396 zurückgegebene *P1*- und *P2*-Produkte vom VSZ weiter zum WZ ($= 4$ (Anzahl an Perioden im Planungshorizont mit Produktrückgaben) $\cdot$ (8.099 (*P1*- bzw. *P2*-Produkte, die pro Periode ins WZ fließen))). Diese werden in 129.584 Komponenten ($= 32.396$ (*M1*-Komponenten) $+$ 64.792 (*M2*-Komponenten) $+$ 32.396 (*M3*-Komponenten)) zerlegt. Davon erreichen 30% nach der Refabrikation keinen neuwertigen Zustand und müssen entsorgt werden; daraus folgen 90.708 wiederaufbereitete Komponenten ($\approx (1 - 0,3) \cdot 129.584$ (Komponenten)), die in der Fertigung von neuwertigen Produkten im Werk genutzt werden.

Im Planungshorizont werden allerdings insgesamt 462.800 Komponenten ($= 5$ (Anzahl Perioden im Planungshorizont) $\cdot$ (23.140 (*M1*-Komponenten) $+$ 46.280 (*M2*-Komponenten) $+$ 23.140 (*M3*-Komponenten) (Pro Periode benötigte Komponenten)) zur Herstellung der nachgefragten Produkte benötigt. D.h. 372.092 Komponenten werden vom Zulieferer beschafft. Also kommen nur 19,6% der zur Befriedigung der Nachfrage benötigten Komponenten aus der Refabrikation.

In Abbildung 3.13 sind die Transportmengen an Komponenten zum Werk vom WZ und vom Zulieferer pro Periode dargestellt. Die Transportmenge vom WZ schwankt über den Planungshorizont hinweg, da zurückgegebene Produkte im WZ gelagert werden. Durch diese Lagerhaltung wird die Ganzzahligkeit bzgl. Bearbeitungs- und Entsorgungsmengen eingehalten und jede verwertbare Produktrückgabe kann bearbeitet werden. (Im Anhang A.4 bei Abbildung A.17 wird diese Lagerhaltung weiter erläutert.)

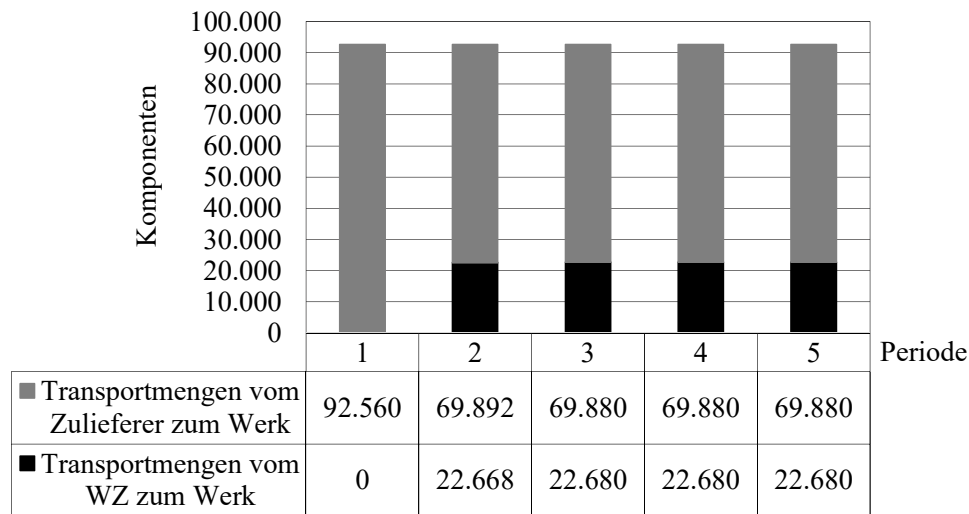


Abbildung 3.13: Optimale Transportmengen an Komponenten zum Werk vom WZ und vom Zulieferer (Eigene Darstellung)

Im Vergleich zum FLPR-Modell aus Abschnitt 3.1.3 sind die diskontierten Gesamtkosten der Ausgangslösung des FLCPR-Modells deutlich höher: Sie betragen 12.919.237,81 GE anstatt 7.679.610,5 GE (vgl. Abbildung A.17 im Anhang A.4 mit Abbildung A.10 im Anhang A.3). Im FLCPR-Modell werden im Gegensatz zum FLPR-Modell Kapitalkosten für Kapazitätsaufbau an den Standorten berücksichtigt. Außerdem wird mit dem FLCPR-Modell der CLSC über 5 anstatt nur eine Periode, wie mit dem FLPR-Modell, geplant.

Da für die Befriedigung von Nachfrage und für das Einsammeln, die Entsorgung und ggf. Bearbeitung von zurückgegebenen Produkten in einer weiteren Periode Kosten anfallen, sind dadurch die Gesamtkosten deutlich höher als im FLPR-Modell. (Es ist ökonomisch sinnvoll, die Nachfrage in den zusätzlichen Perioden zu befriedigen, da die Kosten verbunden mit der Befriedigung dieser Nachfrage niedriger sind, als die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse, die durch unbefriedigte Nachfrage anfallen.)

Nun wird in einer Sensitivitätsanalyse der Einfluss der Kapazitätsplanung, der Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden, des Produkt-Designs, von Nachfrage und von Umverteilung auf das CLSCN untersucht.

Einfluss der Kapazitätsplanung

Durch die Erweiterung um Kapazitätsplanung werden durch das FLCPR-Modell die Standort-Kapazitäten im Netzwerk für jede Periode im mehrperiodigen Planungshorizont optimal bestimmt; so werden hohe Überkapazitäten verhindert, wie bereits in der Ausgangslösung gezeigt wurde.

Weiterhin sind nun Kosten für Standort-Kapazitäten in den Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der nachgefragten Produkte enthalten. Diese Kosten müssen niedriger als die Erlöse durch die Befriedigung von Nachfrage sein, sodass es ökonomisch sinnvoll ist, Nachfrage zu befriedigen. Also werden bei der Entscheidung Standorte zu eröffnen, in denen Komponenten bearbeitet oder beschafft und Produkte hergestellt werden, um Nachfrage zu befriedigen, auch Kapazitätskosten miteinbezogen.

Wenn es ökonomisch sinnvoll ist, Nachfrage nicht zu befriedigen, wird weniger beschafft, hergestellt und zu Kunden transportiert und jetzt durch die Kapazitätsplanung auch entsprechend weniger Kapazität im Standort aufgebaut oder sogar Kapazität abgebaut, da weniger Einheiten durch Standorte fließen. Falls Kapazitäten über den Planungshorizont verringert werden, fallen Kapazitätserlöse an, die die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der nachgefragten Produkte verringern.

Wenn z.B. die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse für unbefriedigte Nachfrage $c_{kp}^U = 76$ GE anstatt $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, wie in der Ausgangslösung betragen, bleiben in der letzten Periode 20 Produktnachfragen in Stuttgart unbefriedigt; alle anderen Nachfragen werden befriedigt. Die offenen Standorte aus der Ausgangslösung sind unverändert optimal. In Abbildung 3.14 sind die optimalen Standorte und Güterflüsse für $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, dargestellt. (Die vollständige Lösung für $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, ist in Abbildung A.19 im Anhang A.4 dokumentiert.)

Die Distanz zwischen Stuttgart und dem Berliner VSZ ist die längste Distanz zwischen dem offenen VSZ und einem Kundenstandort im Netzwerk, siehe Abbildung 3.14. Daher sind die Kosten verbunden mit der Befriedigung der Stuttgarter Nachfrage am höchsten und es bleiben diese 20 Kundennachfragen unbefriedigt, wenn VSZ-Kapazität abgebaut wird.

Da weniger Nachfrage befriedigt wird, fließen dementsprechend weniger Produkte vom

Werk über das VSZ zu Kunden. Daher kann im VSZ Kapazität abgebaut werden; in der letzten Periode wird diese um einen Schritt, d.h. um e reduziert. Nach der letzten Periode liegt keine Nachfrage mehr vor und keine Produkte werden zurückgegeben, also können auch keine Erlöse aus Befriedigung von Nachfrage generiert werden und keine VSZ-Kapazitäten werden mehr benötigt.

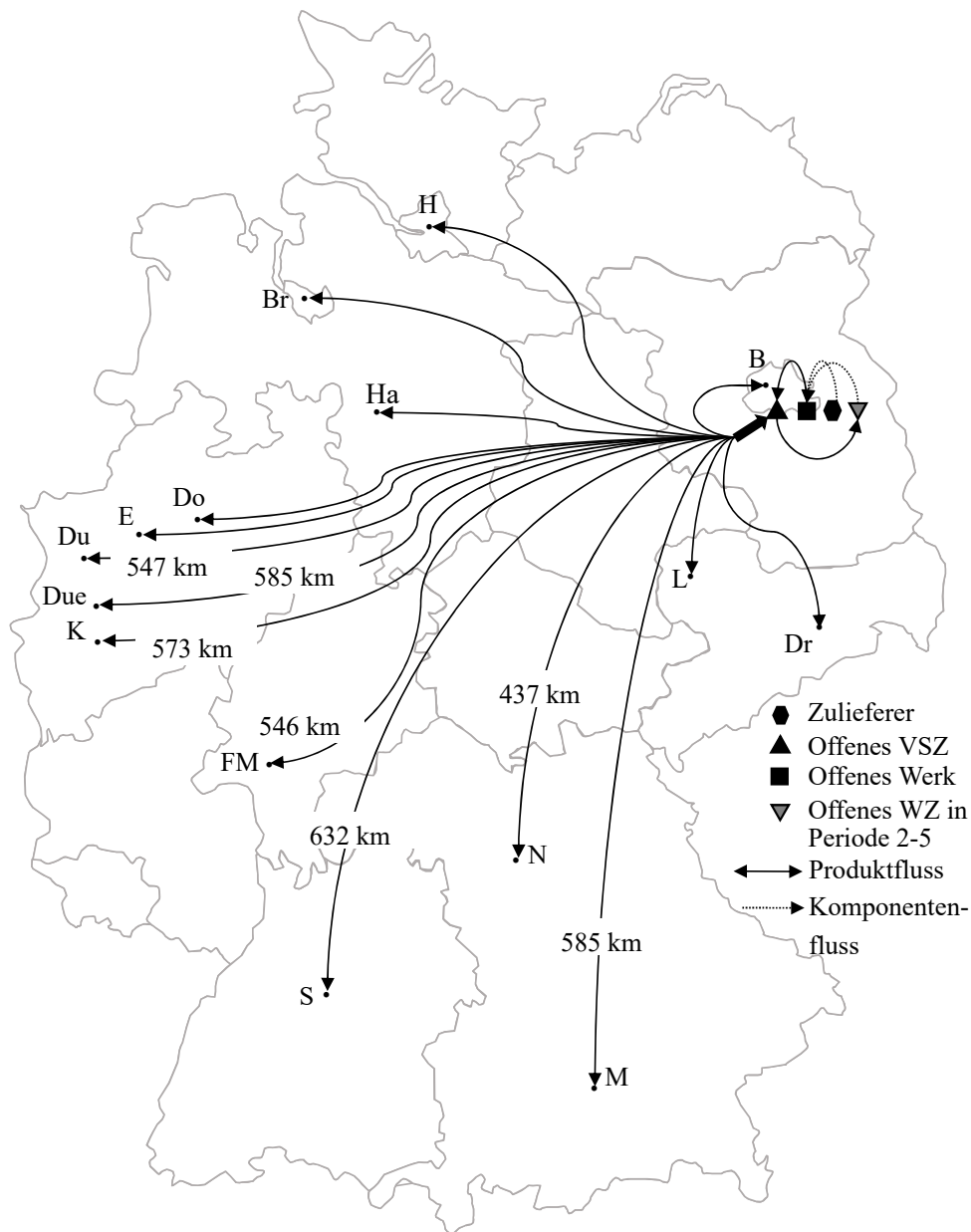


Abbildung 3.14: Optimale Standorte und Güterflüsse für $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

Im Planungshorizont führt Kapazitätsabbau allerdings zu Erlösen. So ist in der letzten Periode die Differenz aus den Strafkosten bzw. entgangenen Erlösen durch 20 unbefriedigte Produktnachfragen mit den Erlösen aus dem VSZ-Kapazitätsabbau niedriger als die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der 20 Produkte. Nur eine gemeinsame Planung von Standort-Kapazitäten mit Beschaffungs-, Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen über einen mehrperiodigen Planungshorizont, wie im FLCPR-Modell, kann diese wechselseitigen Abhängigkeiten erfassen.

(Es ist wiederum anzumerken, dass Strafkosten die entgangenen Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage darstellen und der Planung vom Kunden oder Markt vorgegeben werden, damit umsetzbare Handlungen aus dem FLCPR-Modell folgen. Es liegen allerdings keine Werte für Erlöse oder Strafkosten für entgangene Erlöse vor, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 erklärt; hier wird anhand der Veränderung der Strafkosten die Wirkung der Erweiterung um Kapazitätsplanung gezeigt.)

Im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] und dem FLPR-Modell aus Abschnitt 2.3.2 bzw. Abschnitt 3.1.3 bleiben bei einer Planung mit dem FLCPR-Modell Anteile der Nachfrage unbefriedigt und nicht die gesamte Nachfrage bleibt unbefriedigt, sobald zu niedrige Strafkosten für unbefriedigte Nachfrage vorliegen. Durch die Erweiterung der Standortplanung um Kapazitätsplanung kann das Entscheidungsproblem im FLCPR-Modell differenzierter abgebildet werden.

Für die folgenden Tests gilt, dass die (fiktiven) Strafkosten bzw. der entgangene Erlös pro unbefriedigter Nachfrage, also je nicht abgesetztem Kopiergerät, $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, betragen. Bei diesen Strafkosten wird jede Nachfrage befriedigt, keine Strafkosten fallen an und weitere Erkenntnisse über die Wirkungsweise der Kapazitätsplanung können erlangt werden.

Durch die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um Kapazitätsplanung im FLCPR-Modell sind Standort-Eröffnungskosten zwar weiterhin kapazitätsunabhängig, allerdings werden nun zusätzlich Kapazitätskosten und -erlöse in die Planung miteinbezogen. Dadurch sind die Kosten verbunden mit Standorten abhängig von deren Kapazität – so werden im FLCPR-Modell unterschiedliche Standortgrößen mit ihren entsprechenden Kosten bei der Netzwerk-Planung miteinbezogen.

Wenn $rg_{kps}^t = 0,8$, anstatt $rg_{kps}^t = 0,5, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, wie in der Ausgangslösung, dann ist es nach dem FLCPR-Modell optimal, zusätzlich zum WZ, Werk und VSZ in Berlin, auch in Dortmund ein VSZ zu eröffnen. Optimale Standorte und Kapazitäten sind in Abbildung 3.15 dargestellt. (In Abbildung A.20 im Anhang A.4 ist die vollständige Lösung dokumentiert.)

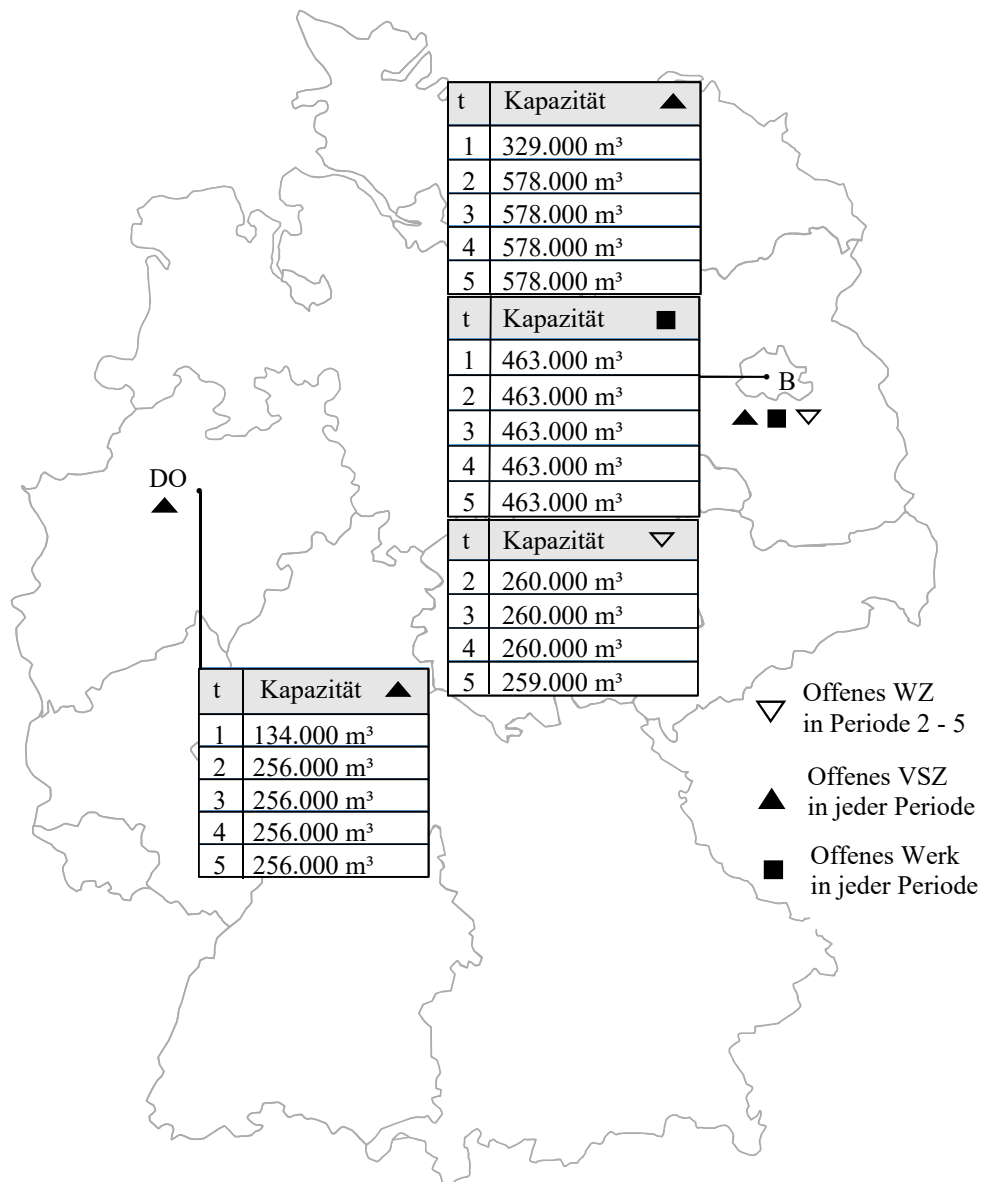


Abbildung 3.15: Optimale Standorte und Kapazitäten für $rg_{kps}^t = 0,8, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$ (Eigene Darstellung)

Die Eröffnung des VSZ in Berlin und in Dortmund kostet weiterhin (gegenüber den bis-

herigen Rechnungen mit dem FLPR-Modell und Modell von Salema et al.(2007)[150] unverändert) 1.500.000 GE. Die Kapazität des VSZ in Berlin kostet in der ersten Periode 329.000 GE (für $329.000m^3$) und durch den Kapazitätsaufbau um $249.000m^3$ in der nächsten Periode auf $578.000m^3$ fallen weitere 249.000 GE Kapazitätskosten an. Dagegen kostet die Kapazität des VSZ in Dortmund in der ersten Periode 134.000 GE (für $134.000m^3$) und in der zweiten Periode verursacht der Kapazitätsaufbau auf $256.000m^3$ weitere Kosten in Höhe von 122.000 GE.

Also werden bei der Planung mit dem FLCPR-Modell unterschiedlich große Standorte mit den entsprechenden Kosten berücksichtigt und die Kapazitätsplanung erweitert das diskrete Standortplanungsmodell. Im Gegensatz dazu fallen bei der Planung mit dem FLPR-Modell und Modell von Salema et al.(2007)[150] bzw. mit einem diskreten Standortplanungsmodell ohne Kapazitätsplanung keine Kapazitätskosten an und die Kosten verbunden mit offenen Standorten sind gleich.

Die Kapazitäten im WZ sind für $rg_{kps}^t = 0, 8, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, gegenüber der Ausgangslösung höher, da mehr zurückgegebene Produkte von den VSZ zum WZ fließen. In der letzten Periode wird die Kapazität im WZ um einen Schritt reduziert und dementsprechend mehr zurückgegebene Produkte werden entsorgt anstatt bearbeitet. Nach der letzten Periode werden keine Produktrückgaben mehr eingesammelt oder bearbeitet und keine wiederaufbereiteten Komponenten werden in der Produktion genutzt, daher wird auch keine WZ-Kapazität mehr benötigt.

In der letzten Periode führt Kapazitätsabbau allerdings zu Erlösen und die Differenz aus den zusätzlichen Entsorgungskosten mit den Erlösen aus dem Kapazitätsabbau sind niedriger als die Kosten und Kostenersparnisse verbunden mit der Refabrikation der Produktrückgaben. Daher ist es optimal, in der letzten Periode weniger zurückgegebene Produkte zu bearbeiten und Kapazität am WZ abzubauen. (Für einen größeren Kapazitätsabbau im WZ müssten weitere Produktrückgabe entsorgt werden. Dafür fallen Entsorgungskosten an und Kostenersparnisse in der Beschaffung gehen verloren. Dies ist unter den gegebenen Werten ökonomisch nicht sinnvoll.)

D.h. durch die Kapazitätskosten und -erlöse für Kapazitätsaufbau bzw. -abbau im FLCPR-Modell können in der Planung unterschiedlich große Standorte mit ihren entsprechen-

den Kosten erfasst und die Standortgröße über den mehrperiodigen Planungshorizont verändert werden. Zudem wird dadurch der Zusammenhang zwischen der Produktions-, Transport- und Kapazitätsplanung abgebildet und die Kosten und Kostenersparnisse bzw. Erlöse verbunden mit Refabrikation und der Befriedigung von Nachfrage werden genauer ermittelt. Also verbessert die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um Kapazitätsplanung die Planung.

Einfluss der Nutzungsdauer und des Produkt-Designs auf die Entscheidung zur Refabrikation

Die numerischen Analysen mit dem Modell von Salema et al. (2007)[150] und dem FLRP-Modell in Abschnitt 2.3.2 bzw. 3.1.3 haben gezeigt, dass die Menge an zurückgegebenen Produkten beeinflusst, ob die Rückführung bzw. Refabrikation von gebrauchten Produkten bzw. ihrer Komponenten optimal ist. Nur wenn die Kostenersparnisse durch die Nutzung wiederaufbereiteter anstatt neu beschaffter Einheiten in der Herstellung nachgefragter Produkte die Kosten verbunden mit der Rückführung bzw. Refabrikation übersteigen, ist die Rückführung bzw. Refabrikation ökonomisch sinnvoll.

Im mehrperiodigen FLCPR-Modell wird die Rückgabemenge im Gegensatz zum einperiodigen FLRP-Modell und Modell von Salema et al. (2007)[150] nicht nur durch die Rückgaberate bestimmt, sondern auch durch die Nutzungsdauer. Schon in Abschnitt 2.1.2 wurde die Bedeutung einer Nutzungsdauer diskutiert; da Produkte von Kunden genutzt werden, bevor sie zurückgegeben werden, kommt es zu einer zeitlichen Verschiebung zwischen dem vor- und rückwärtsgerichteten Produktfluss. Durch den mehrperiodigen Planungsansatz des FLCPR-Modells kann nun der Einfluss einer Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden auf das CLSCN berücksichtigt werden.

Im Ausgangsbeispiel werden 50% des vorwärtsgerichteten Flusses an P1- und P2-Produkten nach einer Periode in Nutzung durch Kunden zurückgegeben und Refabrikation ist ökonomisch sinnvoll. Dabei wird unterstellt, dass die restlichen 50% der Produkte stets beim Kunden bleiben; eine spätere Rückgabe ist ausgeschlossen. Durch eine zu lange Nutzungsdauer werden zu wenige Produkte oder Produkte zu spät zurückgegeben, sodass Refabrikation ökonomisch nicht sinnvoll ist.

Z.B. bei einer Nutzungsdauer der beiden Produkttypen von 3 Perioden werden Produkte nur in der vierten und fünften Periode im VSZ zurückgegeben. Dann können erst in Periode 4 und 5 Komponenten wiederaufbereitet und in der Fertigung genutzt werden, um daraus Kostenersparnisse in der Beschaffung zu erlangen. Diese Kostenersparnisse sind bei einer Nutzungsdauer der beiden Produkttypen von 3 Perioden jedoch zu gering, um die Kosten verbunden mit Refabrikation zu decken. Also werden alle Produktrückgaben entsorgt anstatt bearbeitet. (Die dazugehörige Lösung ist in Abbildung A.21 im Anhang A.4 aufgeführt.)

In Abbildung 3.16 sind die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse zwischen VSZ und Kunden für die Ausgangslösung und bei unterschiedlicher Nutzungsdauer über den Planungshorizont dargestellt. Die Rückgaberate ist bei allen Fällen unverändert. Im Gegensatz zu einer Nutzungsdauer der beiden Produkttypen von 3 Perioden werden im Ausgangsbeispiel 4 Perioden lang Produkte zurückgegeben. Also können auch mehr wiederaufbereitete Komponenten in der Produkterstellung genutzt werden und die Kosten verbunden mit Refabrikation werden durch die Kostenersparnisse in der Beschaffung gedeckt.

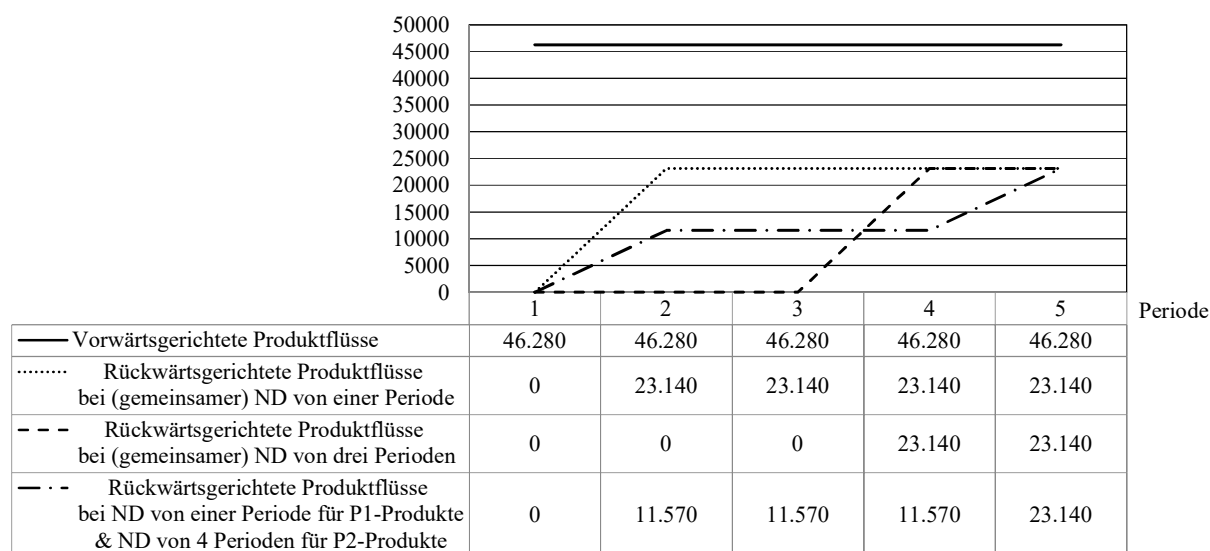


Abbildung 3.16: Vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse zwischen VSZ und Kunden bei produktspezifischer Nutzungsdauer (ND) (Eigene Darstellung)

Wenn die Nutzungsdauer von P1-Produkten bei einer Periode bleibt (wie im Ausgangs-

beispiel), aber die P2-Produkte anstatt eine Periode vier Perioden genutzt werden, bevor 50% vom jeweiligen vorwärtsgerichteten Produktfluss zurückgegeben werden, werden ebenfalls 4 Perioden lang Produkte zurückgegeben, wie im Ausgangsbeispiel. Allerdings ist die Menge an zurückgegebenen Produkten über den Planungshorizont niedriger als im Ausgangsbeispiel, siehe Abbildung 3.16. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.22 im Anhang A.4 dokumentiert.)

Daraus können nicht ausreichend wiederaufbereitete Komponenten gewonnen werden, um die Kosten verbunden mit Refabrikation durch Kostenersparnisse in der Beschaffung zu decken. So ist es bei dieser Nutzungsdauer ökonomisch sinnvoll, alle zurückgegebenen Produkte zu entsorgen und alle Komponenten vom Zulieferer in Berlin zu beschaffen.

D.h. wenn über den Planungshorizont durch eine zu lange Nutzungsdauer Produkte zu spät zurückgegeben werden, ist Refabrikation ökonomisch nicht sinnvoll. Dann übersteigen die Kosten verbunden mit Refabrikation die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch Montage wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten zu Produkten. Ein mehrperiodiger Planungsansatz ist notwendig, sodass die Nutzungsdauer bei der Entscheidung zur Refabrikation miteinbezogen werden kann.

Mit dem FLCPR-Modell kann so ebenfalls untersucht werden, ob z.B. Rückkaufaktionen oder Leasingverträge, die Kunden Anreize für eine bestimmte Nutzungsdauer bzw. einen Rückgabezeitpunkt vorgeben, dazu führen, dass Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist.

Allerdings führen nicht die zurückgegebenen Produkten, sondern die wiederaufbereiteten Komponenten, die aus den Produktrückgaben gewonnen werden, zu Kostenersparnissen in der Beschaffung. Also beeinflusst das Produkt-Design, ob Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Durch den erweiterten Planungsansatz des FLCPR-Modells wird der Einfluss des Produkt-Designs in der CLSCN-Planung nun erfasst.

Im Fall der produktspezifischen Nutzungsdauer, also, wenn P1-Produkte eine Periode und P2-Produkte vier Perioden genutzt werden, werden über den Planungshorizont insgesamt 57.850 Produkte zurückgegeben. In Abbildung 3.16 sind die entsprechenden vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse zwischen dem VSZ und Kunden dargestellt. Wie bereits oben erläutert wurde, ist bei dieser Nutzungsdauer Refabrikation ökonomisch nicht sinnvoll.

Wenn nun anstatt das $P1$ -Produkt das $P1a$ -Produkt nachgefragt, erstellt und abgesetzt wird, das aus allen drei verfügbaren Komponenten, also $M1$, $M2$ und $M3$ (anstatt nur aus $M1$ und $M2$) besteht, werden weiterhin über den Planungshorizont insgesamt 57.850 Produkte im VSZ gesammelt. Allerdings ist nun Refabrikation ökonomisch sinnvoll. (In Abbildung A.23 in Anhang A.4 ist die dazugehörige Lösung dokumentiert.)

Durch die Erhöhung der Anzahl der Komponenten, die für die Herstellung der nachgefragten Produkte benötigt werden, ist die Menge an wiederaufbereiten Komponenten über den Planungshorizont höher. Die Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ bei $P1a$ - und $P2$ -Produkten und die Bearbeitungsmengen ohne die zusätzliche $M3$ -Komponente, also die potentiellen Bearbeitungsmengen bei $P1$ - und $P2$ -Produkten für eine Nutzungsdauer von einer Periode für $P1a$ - bzw. $P1$ -Produkten und von vier Perioden für $P2$ -Produkte sind in Abbildung 3.17 dargestellt.

Zudem können nun schon früher $M3$ -Komponenten für die Montage nachgefragter Produkte genutzt werden, da $P1a$ -Produkte schon ab der zweiten Periode zurückgegeben werden, siehe Abbildung 3.17. Dadurch können die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch wiederaufbereitete Komponenten so erhöht werden, dass sie die Kosten verbunden mit Refabrikation übersteigen.

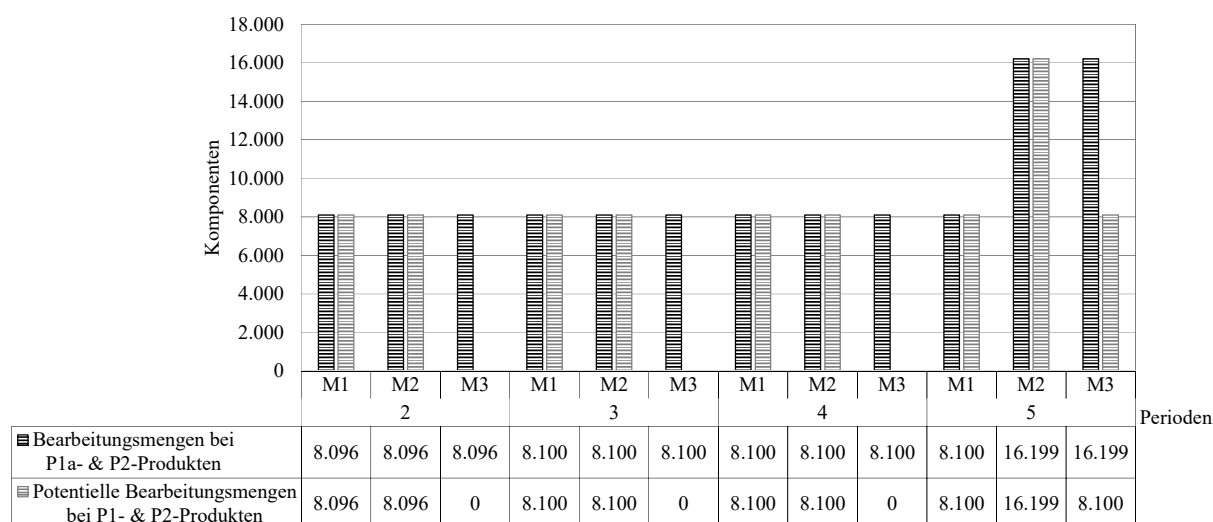


Abbildung 3.17: Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ bei produktspezifischer Nutzungsdauer und unterschiedlichem Produkt-Design

D.h. es ist sinnvoll, bei der quantitativen CLSCN-Planung auch das Produkt-Design zu berücksichtigen, also das diskrete Standortplanungsmodell um Produktionsplanung mit Refabrikation zu erweitern und die Planungen gemeinsam über mehrere Perioden durchzuführen, wie im FLCPR-Modell. Denn die Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden, aber auch das Produkt-Design beeinflussen, ob Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist.

Weiterhin wird daraus deutlich, dass nicht nur die Rückgabemenge und das Produkt-Design die Entscheidung zur Refabrikation beeinflusst, sondern auch die Nachfrage bzw. die Menge an wiederaufbereiteten Komponenten in der Montage der nachgefragten Produkte und damit die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch Refabrikation. Weiterführende Tests über den Einfluss der Nachfrage werden nun durchgeführt und ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

Einfluss der Nachfrage $N_{kpt}, \forall k \in K, p \in P, t \in ST$

Schon Lund (1998)[120] und Guide (2000)[73] haben in Studien über die Refabrikationsindustrie festgestellt, dass für erfolgreiche Refabrikation ein langlebiges Konsumgut und eine für einen gewissen Zeitraum stabile Produkttechnologie notwendig ist. D.h. es muss ausreichend lang Nachfrage für ein Produkt vorliegen und die Produkte dürfen nicht durch Innovationen zu schnell veraltet sein, sodass die Nachfrage des Produkts an technologisch neue Produktvarianten verloren geht.

Mit dem mehrperiodigen Planungsansatz des FLCPR-Modells kann nun bestimmt werden, dass im Beispiel des Kopiergeräteherstellers Produktnachfrage in mindestens 4 Perioden vorliegen muss bzw. der Planungshorizont mindestens 4 Perioden lang sein muss, sodass Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. (Alle weiteren Daten, wie z.B. die Nutzungsdauer der Produkte von einer Periode und die Rückgaberate von 50%, bleiben gegenüber dem Ausgangsbeispiel unverändert.)

Bei einem kürzeren Planungshorizont, also wenn die Produktnachfrage in nur 3 Perioden existiert, sind die mit der Refabrikation verbundenen Kosten höher als die Kostenersparnisse durch Montage wiederaufbereiteter anstatt neu beschaffter Komponenten zu nachgefragten Produkten. Dann werden alle Produktrückgaben entsorgt und ein Werk und VSZ in Berlin eröffnet; alle benötigten Komponenten werden vom Berliner Zulieferer

beschafft. (Die Lösungen für einen Planungshorizont von 3 und 4 Perioden sind in Abbildung A.24 bzw. A.25 in Anhang A.4 dokumentiert.)

Allerdings hängt die Entscheidung zur Refabrikation auch von der Rückgaberate ab, wie bereits oben diskutiert und in den Sensitivitätsanalysen des Modells von Salema et al. (2007)[150] und des FLRP-Modells in Abschnitt 2.3.2 bzw. 3.1.3 gezeigt. So findet Refabrikation nach dem FLCPR-Modell statt, wenn bei einem Planungshorizont von 3 Perioden die Rückgaberate anstatt 50% (wie im Ausgangsbeispiel) 90% beträgt.

D.h. bei einer höheren Rückgaberate sind weniger Perioden nötig, um so viele Produktrückgaben einzusammeln und zu Komponenten zu demontieren und diese wiederaufzubereiten und in der Produkterstellung zu nutzen, sodass Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. (Die Lösung für einen Planungshorizont von 3 Perioden und einer Rückgaberate von 90% ist in Abbildung A.26 in Anhang A.4 aufgeführt.)

In Abschnitt 2.1.2 wurde bereits die Bedeutung des zeitlichen Verlaufs der Nachfrage (erfasst durch den PLZ) auf den Erfolg von Refabrikation diskutiert. Bisher wurde die Nachfrage als konstant über den Planungshorizont angenommen, allerdings kann oft beobachtet werden, dass Nachfrage über den Planungshorizont schwankt, also erst ansteigt und dann sinkt, wie u.a. in [110] [145] [6] beschrieben. Der Einfluss schwankender Nachfrage wird nun untersucht.

Dafür wird das FLCPR-Modell mit drei unterschiedlichen PLZ gelöst, die schwach, traditionell und stark über den Planungshorizont schwankende Nachfrage abbilden. (Dabei werden die weiteren Daten des Ausgangsbeispiels, wie u.a. die Nutzungsdauer der Produkte von einer Periode und eine Rückgaberate von 50%, unverändert übernommen.) Die jeweiligen Nachfragen der Lebenszyklen sind in Abbildung 3.18 dargestellt; für die Vergleichbarkeit mit dem Ausgangsbeispiel bleibt die Summe der jeweils schwankenden Nachfrage über den Planungshorizont vergleichbar mit der Summe der Nachfrage über den Planungshorizont des Ausgangsbeispiels. (In Tabelle A.12, A.13 und A.14 im Anhang A.4 ist die Nachfrage der einzelnen Kunden-Standorte für die unterschiedlichen PLZ dokumentiert.) Es wird unterstellt, dass die Nachfrage nach beiden Produkten, also $P1$ und $P2$, dem jeweils gleichen Lebenszyklus folgt.

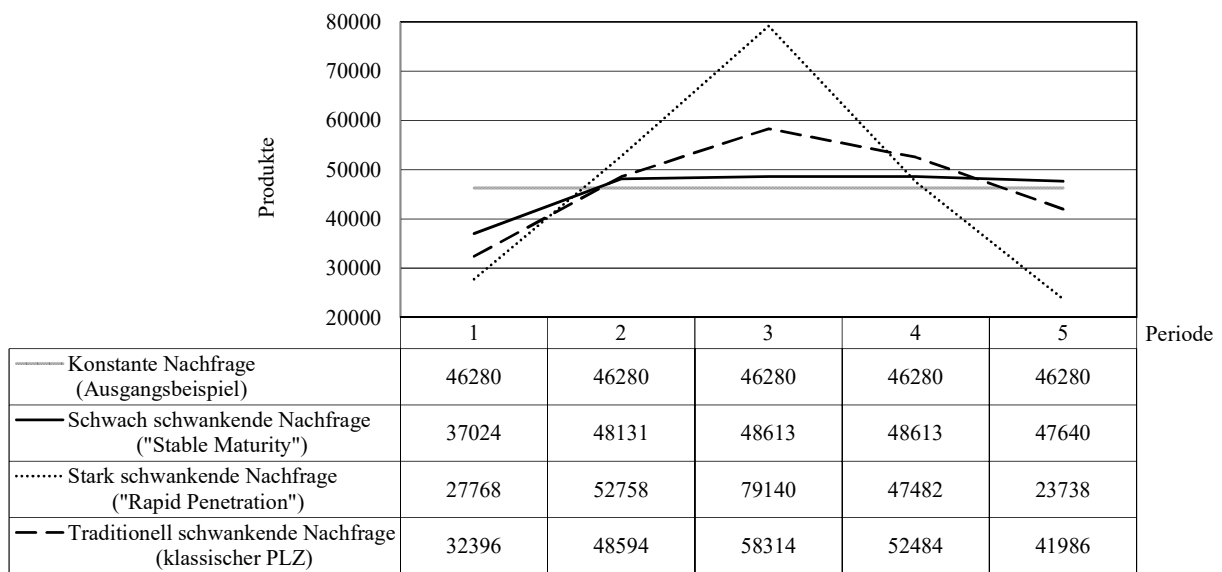


Abbildung 3.18: Nachfragemenge der unterschiedlichen PLZ

Schon in Kapitel 2 wurde die traditionell schwankende Nachfrage vorgestellt, die am ehesten durch eine Dichtefunktion der Normalverteilung beschrieben werden kann und in Massenmärkten vorliegt [145]. Produkte mit einem langen Lebenszyklus, d.h. die viele Jahre nachgefragt werden, haben häufig eine stabilere Nachfrage als beim traditionellen PLZ [145]. Diese Nachfrage schwankt schwach; man spricht auch von „Stable Maturity“ [110] [145].

Die abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei schwach und „traditionell“ schwankender Nachfrage pro Periode ist in der Abbildung 3.19 der abgesetzten Menge und Rückgabemenge des Ausgangsbeispiels mit konstanter Nachfrage gegenübergestellt. Im Vergleich zur Ausgangslösung schwankt die abgesetzte Menge und daher auch die Rückgabemenge bei diesen beiden PLZ.

Solche geringen Nachfrage-Schwankungen haben allerdings keinen Einfluss auf die Standortentscheidungen im CLSCN; wie im Ausgangsbeispiel werden VSZ, Werk und WZ in Berlin eröffnet. Die Kapazitäten in den offenen Standorten werden den Durchflussmengen angepasst, die der schwankenden Nachfrage und Rückgabemenge über den Planungshorizont folgen. Alle verwertbaren Produktrückgaben werden im WZ bearbeitet und nach der Refabrikation werden alle neuwertigen Komponenten im Werk zu Produkten montiert. (In den Abbildungen A.27 und A.28 im Anhang A.4 sind die Lösungen aufgeführt.)

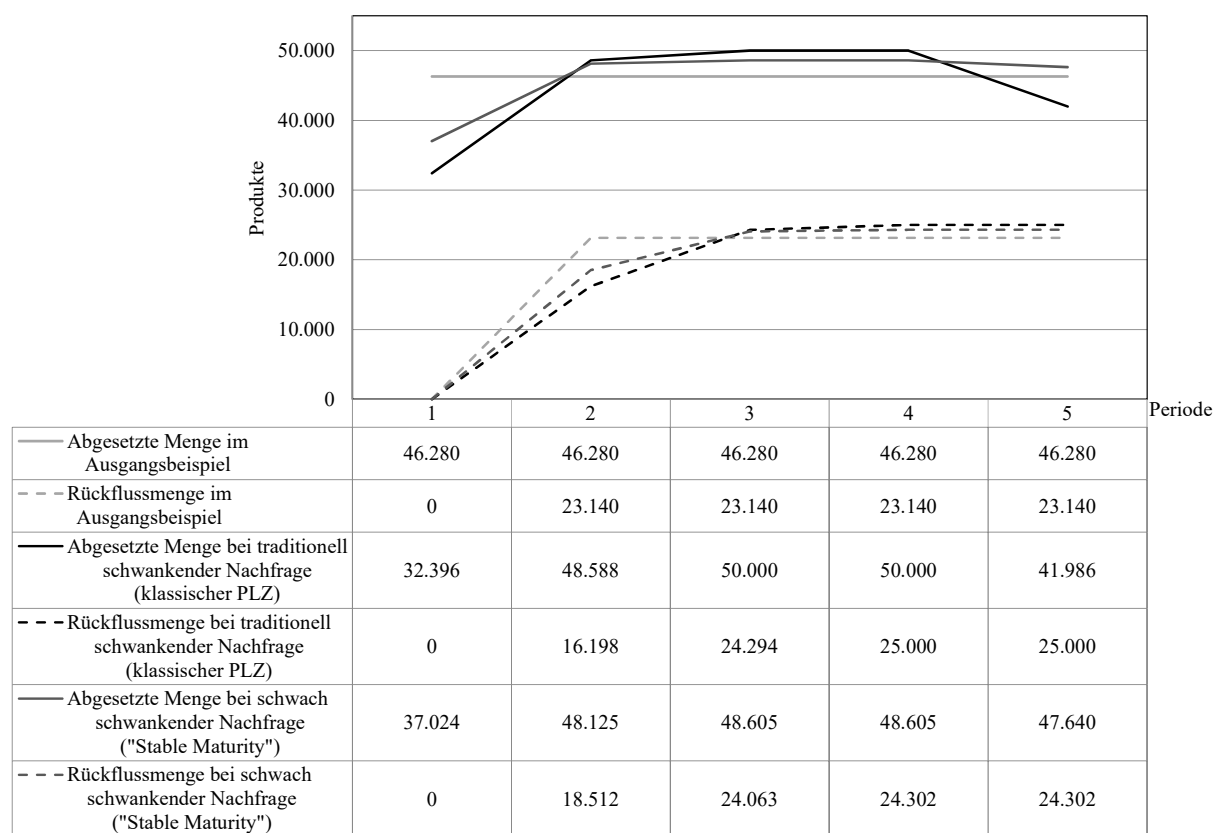


Abbildung 3.19: Abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage (Ausgangsbeispiel), bei traditionell schwankender Nachfrage (klassischer PLZ) und bei schwach schwankender Nachfrage („Stable Maturity“-PLZ) (Eigene Darstellung)

Nachfrage kann auch stark schwanken, wenn z.B. bei der Produkteinführung durch Marketingmaßnahmen, wie die Penetrationsstrategie, eine möglichst schnelle Marktdurchdringung erreicht werden soll. Bei dieser Strategie wird ein niedriger Preis für das Produkt bei der Markteinführung gewählt, sodass schnell ein hoher Marktanteil erreicht wird [29]. D.h. es soll möglichst schnell eine hohe Nachfrage erreicht werden, allerdings nimmt die Nachfrage nach den ersten Perioden im Markt wieder stark ab („Rapid Penetration“) [110] [145]. Ein solcher PLZ kann bei Produkten mit einer kurzen Lebensdauer, z.B. durch schnellen technischen Fortschritt, wie bei Smartphones, Computern und in der Unterhaltungselektronik, beobachtet werden [90].

Diese starken Nachfrage-Schwankungen beeinflussen die Standorte und Kapazitäten im

Netzwerk; in Abbildung 3.20 sind die optimalen Standorte und Kapazitäten bei stark schwankender Nachfrage dargestellt. Zusätzlich zum über den Planungshorizont offenen Werk und VSZ in Berlin werden nun ein weiteres VSZ und ab der zweiten Periode auch ein weiteres Werk in Köln eröffnet. Es bleibt optimal, in der zweiten Periode ein WZ in Berlin zu eröffnen.

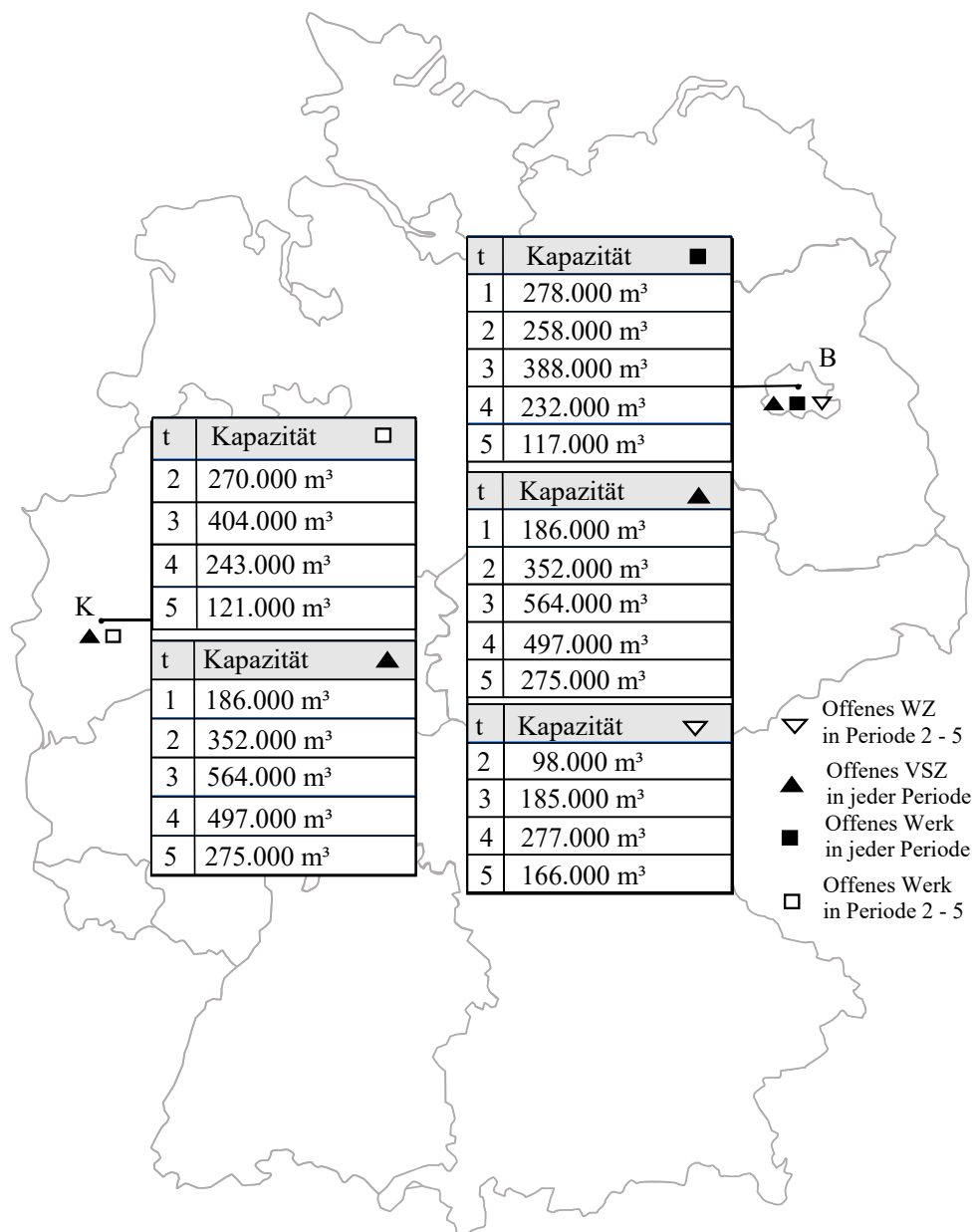


Abbildung 3.20: Optimale Standorte und Kapazitäten bei stark schwankender Nachfrage („Rapid Penetration“-PLZ) (Eigene Darstellung)

Die VSZ- und Werk-Standorte sind in den gleichen Städten positioniert, um Transportkosten einzusparen. Daher werden auch alle Komponenten für das Kölner Werk vom Zulieferer in Köln beschafft anstatt wiederaufbereitete Komponenten vom Berliner WZ nach Köln zu transportieren.

Alle verwertbaren Produktrückgaben werden im WZ in Berlin bearbeitet und alle neuwertigen wiederaufbereiteten Komponenten werden zum Berliner Werk transportiert. Nur eine gemeinsame Standort-, Transport- und Produktionsplanung über einen mehrperiodigen Planungshorizont erfasst diese Zusammenhänge bei stark schwankender Nachfrage. (Die vollständige Lösung ist in der Abbildung A.29 im Anhang A.4 dokumentiert.)

In Abbildung 3.21 sind die abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage aus dem Ausgangsbeispiel und bei stark schwankender Nachfrage, dem „Rapid Penetration“-PLZ, dargestellt. Die Nutzung von Produkten durch Kunden führt zu einer Periode Verzögerung zwischen abgesetzter Menge und Rückgabemenge. Beim „Rapid Penetration“-PLZ ist die abgesetzte Menge in der dritten Periode am höchsten; die Rückgabe dieser Produkte findet in der vierten Periode statt und diese Produktrückgaben bzw. deren Komponenten werden nach der Refabrikation in Periode 4 zur Produktmontage genutzt. Die abgesetzte Menge ist in der letzten Periode am niedrigsten.

Dagegen bleibt im Ausgangsbeispiel bei konstanter Nachfrage und abgesetzter Menge auch die Rückgabemenge in Periode 2-5 unverändert. Die Rückgabe der in der letzten Periode abgesetzten Produkte findet nicht mehr im Planungshorizont statt. So können beim „Rapid Penetration“-PLZ durch die Schwankungen im Vergleich zum Ausgangsbeispiel mehr zurückgegebene Produkte eingesammelt und deren Komponenten wiederaufbereitet werden.

Der Anteil an wiederaufbereiteten Komponenten, die über den Planungshorizont zur Produkt-Montage genutzt werden, steigt gegenüber dem Ausgangsbeispiel mit 19,6% auf 22%. (Über den Planungshorizont werden beim „Rapid Penetration“-PLZ insgesamt 461.708 Komponenten im Werk zur Herstellung der nachgefragten Menge benötigt. Vom WZ ins Werk fließen insgesamt über den Planungshorizont 101.460 wiederaufbereitete Komponenten, siehe Abbildung A.29 im Anhang A.4. Daraus ergibt sich der Anteil an wiederaufbereiteten Komponenten, die über den Planungshorizont zur Produkterstellung

genutzt werden, von 22%.)

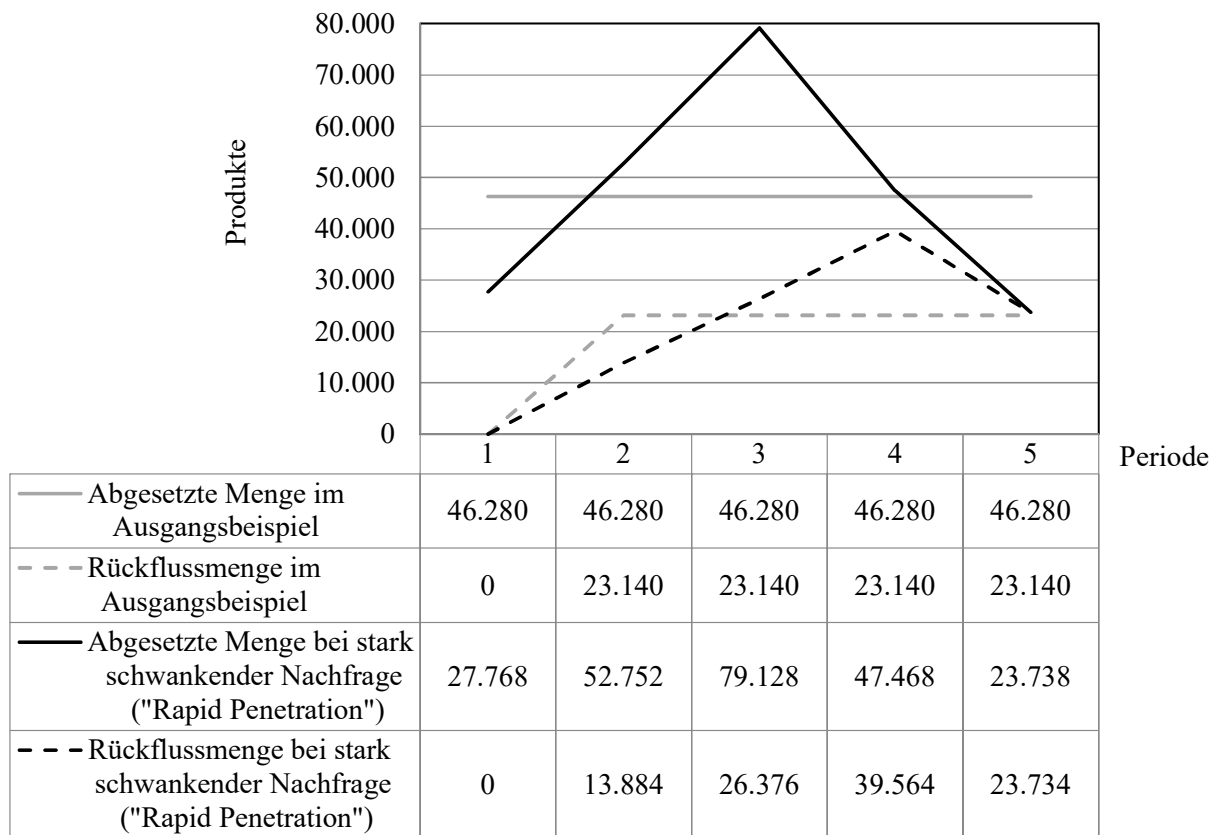


Abbildung 3.21: Abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage (Ausgangsbeispiel) und bei stark schwankender Nachfrage („Rapid Penetration“-PLZ) (Eigene Darstellung)

D.h. für die untersuchten Nachfragen bzw. PLZ gibt das FLCPR-Modell vor, dass jede verwertbare Produktrückgabe bearbeitet wird; es kann bei einer Nutzungsdauer von einer Periode und einer Rückgaberate von 50% kein negativer Effekt von schwankender Nachfrage auf die Entscheidung zur Refabrikation festgestellt werden. Daher wird im Folgenden weiter untersucht, welche Nachfrage-Entwicklung über den Planungshorizont die Entscheidung zur Refabrikation beeinflusst.

Wenn die Nachfrage anstatt zu schwanken über den Planungshorizont nur (stark) abnimmt, dann ist die Menge an zurückgegebenen Produkten und die daraus resultierenden Komponenten und Kostenersparnisse in der Beschaffung geringer als die Kosten verbunden mit Refabrikation. Z.B. ab einem Nachfragerückgang von 40% pro Periode ist es optimal,

dass ein Werk und VSZ in Berlin offen sind und alle Produktrückgaben entsorgt werden. Alle Komponenten für die Produkterstellung werden vom Zulieferer in Berlin beschafft. (Im Anhang A.4 in Tabelle A.15 ist die Nachfrage der einzelnen Kunden-Standorte bei Nachfragerückgang von 40% pro Periode aufgeführt und in Abbildung A.30 ist die vollständige Lösung für einen Nachfragerückgang von 40% pro Periode dargestellt.)

Zu hoher Nachfrageanstieg über den Planungshorizont hat ebenfalls einen negativen Effekt auf die Bearbeitungsmenge im WZ. Wenn die Nachfrage und daraufhin die abgesetzte Produktmenge pro Periode um 30% wächst, dann werden im Gegensatz zur Ausgangslösung nicht alle verwertbaren zurückgegebenen Produkte bearbeitet. (Alle weitere Daten des Ausgangsbeispiels, wie z.B. die Nutzungsdauer von einer Periode und die Rückgaberrate von 50% für beide Produkte, gelten unverändert.) (Im Anhang A.4 in Tabelle A.16 ist die Nachfrage der einzelnen Kunden-Standorte und die vollständige Lösung des FLCPR-Modells für ein Nachfrage-Wachstum von 30% ist in Abbildung A.31 aufgeführt.)

In Abbildung 3.22 ist das optimale CLSCN bei Nachfrageanstieg von 30% pro Periode dargestellt. Nun reicht die Kapazität eines VSZ und Werks nicht zur Befriedigung der Nachfrage aus. Daher werden zusätzlich zu den optimalen Standorten in Berlin, wie in der Ausgangslösung, in der ersten Periode ein VSZ in Köln und in München und in der zweiten und vierten Periode ein weiteres Werk in Köln und in München eröffnet.

Zur Einsparung von Transportkosten werden VSZ und Werke in der gleichen Stadt eröffnet. Weiterhin werden daher alle Komponenten für das Kölner und Münchener Werk vom jeweiligen Zulieferer vor Ort beschafft und die wiederaufbereiteten Komponenten fließen vom Berliner WZ ausschließlich zum Berliner Werk.

In der letzten Periode reicht die Kapazität im WZ in Berlin nicht mehr aus, um alle verwertbaren zurückgegebenen Produkte zu bearbeiten. Die Kosten eines weiteren WZ werden aber nicht durch die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch die wiederaufbereiteten Komponenten aus den restlichen Produktrückgaben gedeckt. Also wird kein weiteres WZ eröffnet. Daher werden in der letzten Periode im Münchener VSZ, dem offenen VSZ mit der längsten Distanz zum WZ, alle zurückgegebenen P1-Produkte und 80% (anstatt der vorgegebenen 30%) der zurückgegebenen P2-Produkte entsorgt. Also kann festgestellt werden, dass nicht nur die Menge an nachgefragten bzw. abgesetzten Produk-

ten und die Kapazitäten auf die Bearbeitungsmenge im WZ einwirkt, sondern auch der zeitliche Verlauf der Nachfrage.

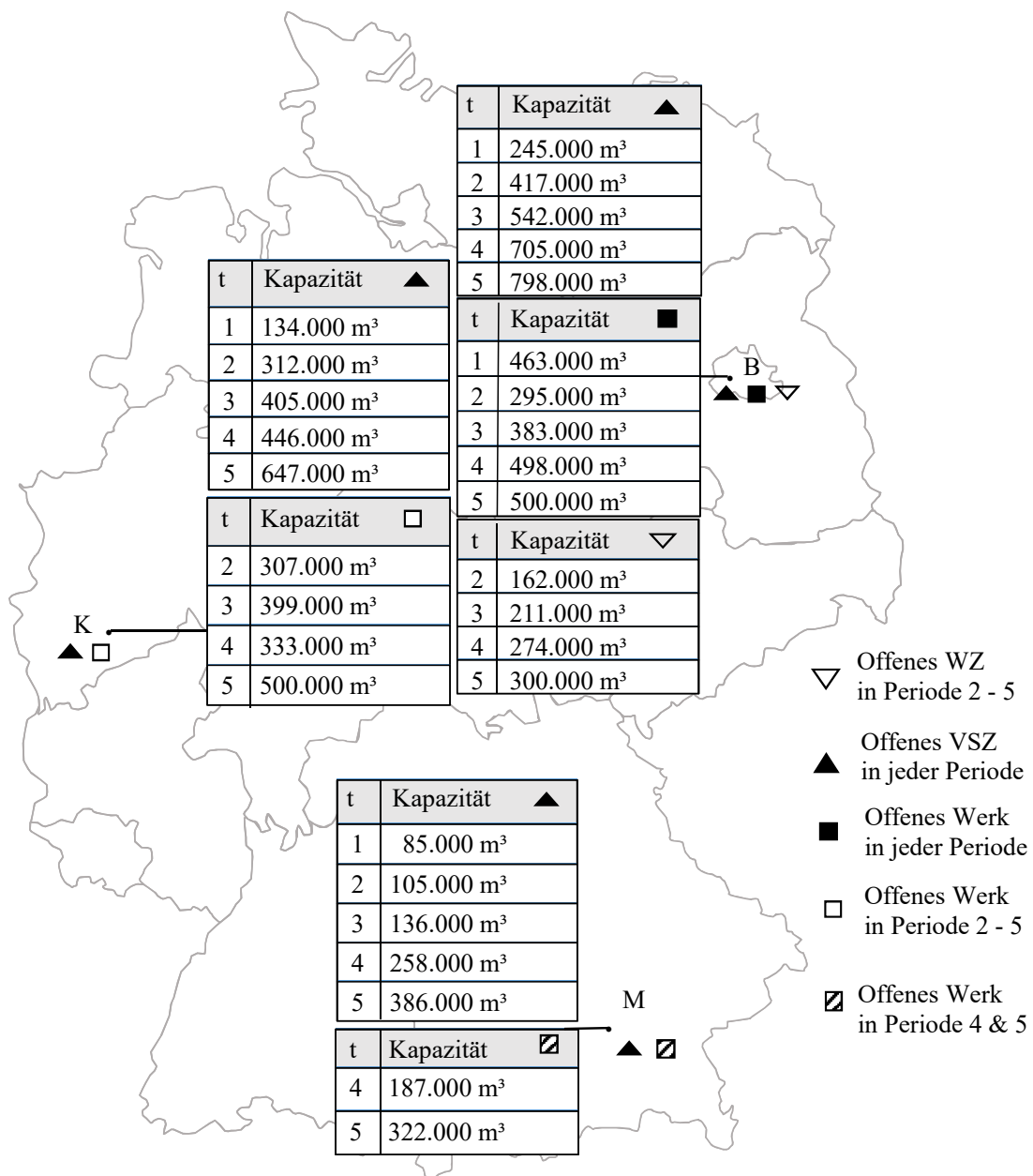


Abbildung 3.22: Optimale Standorte und Kapazitäten bei Nachfrageanstieg von 30% pro Periode (Eigene Darstellung)

In Abbildung 3.23 sind die abgesetzte Menge und Rückgabemenge im CLSCN bei konstanter Nachfrage, wie im Ausgangsbeispiel und bei Nachfrageanstieg von 30% pro Periode dargestellt. Da Produkte eine Periode in Nutzung sind, bevor sie zurückgegeben werden,

verzögert sich der Anstieg der Rückgabemenge zum Nachfrageanstieg um eine Periode. (Der Anstieg von Periode 4 zu Periode 5 ist in Abbildung 3.23 dargestellt.) So ist beim Nachfrageanstieg von 30% pro Periode die Nachfrage in der letzten Periode am höchsten; diese Produkte werden in Periode 5 genutzt und nicht im Planungshorizont zurückgegeben. Dagegen bleibt im Ausgangsbeispiel in Periode 2-5 die Differenz zwischen abgesetzter Menge und Rückgabemenge gleich.

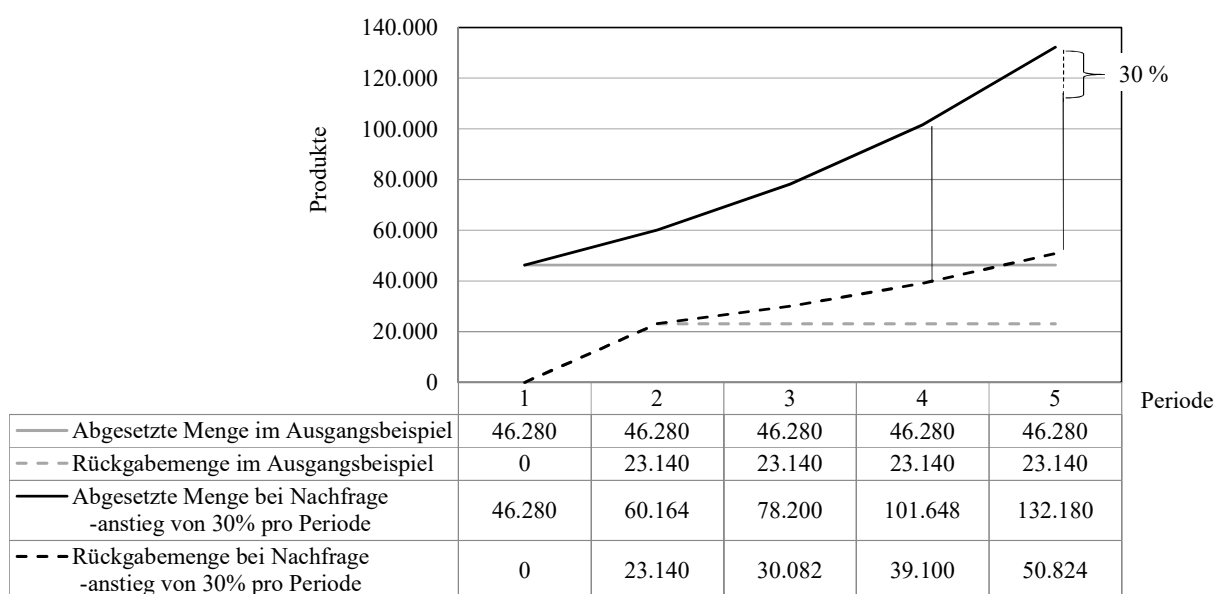


Abbildung 3.23: Abgesetzte Menge und Rückgabemenge bei konstanter Nachfrage (Ausgangsbeispiel) und Nachfrageanstieg von 30% pro Periode (Eigene Darstellung)

Dadurch ist der Anteil an wiederaufbereiteten Komponenten, die im Planungshorizont in der Produkt-Montage genutzt werden, bei um 30% ansteigender Nachfrage im Vergleich zum Ausgangsbeispiel niedriger. Er beträgt 15,8% anstatt 19,6%, wie im Ausgangsbeispiel. (Bei um 30% ansteigender Nachfrage pro Periode werden über den Planungshorizont insgesamt 836.944 Komponenten im Werk zu Produkten montiert. Davon sind 132.472 wiederaufbereitete Komponenten, die vom WZ ins Werk fließen, siehe Abbildung A.31 im Anhang A.4.)

Dieser Effekt kann bei schwankender Nachfrage, also bei zunächst steigender und dann abfallender Nachfrage über den Planungshorizont, ausgeglichen werden. Allerdings muss

die Nutzungsdauer der Kunden dafür kurz genug sein, wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert wurde.

D.h. die Nachfrage und ihre Entwicklung über den Planungshorizont müssen bei der Planung eines CLSCN durch einen mehrperiodigen Planungsansatz berücksichtigt werden, da sie auf das CLSCN und die Entscheidung zur Refabrikation einwirkt. Es muss ausreichend lange Nachfrage vorhanden sein bzw. die Produktlebensdauer muss ausreichend lang sein. Zudem darf Nachfrage über den Planungshorizont nicht zu stark abnehmen, sonst können nicht ausreichend Kostenersparnisse in der Beschaffung generiert werden, um die Kosten verbunden mit Refabrikation zu decken.

Weiterhin resultiert Nachfragewachstum durch die Nutzungsdauer und zu niedrige Kapazitätsgrenzen von Standorten nicht zwangsläufig in einer Erhöhung des Anteils an wiederaufbereiteten Komponenten in der Produktfertigung. Wiederum wird deutlich, dass die Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung zusammenhängen und gemeinsam über den mehrperiodigen Planungshorizont geplant werden sollen.

Einfluss von Umverteilung auf das CLSCN

Durch den Transport von Gütern zwischen Standorten auf der gleichen Netzwerkebene, sog. Intra-Transport bzw. Umverteilung, werden Lagerbestände in Standorten auf einer Netzwerkebene geteilt. Dadurch sollen die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage verringert werden [38]. Außerdem kann so Güter-Angebot und -Nachfrage in Standorten der gleichen Netzwerkebene ausgeglichen werden [86]. Dabei ist zu unterscheiden, ob Umverteilung als kurzfristige Reaktion auf eine Bestandslücke stattfindet oder aktiv bzw. vorab geplant durchgeführt wird [86].

Da der Planungshorizont des FLCPR-Modells langfristig ist, wie bereits in Abschnitt 2.1.3 diskutiert, werden hier keine kurzfristigen Entscheidungen zur Vermeidung von Engpässen erfasst. Also kann Umverteilung nur als vorab geplante Handlung stattfinden. Außerdem gibt es im untersuchten SC kein Endproduktlager, von dem aus Produkte zwischen Standorten transportiert werden können, um Fehlmengen im Bestand auszugleichen. Allerdings können Komponenten im Werk gelagert werden und die Umverteilung dieser Komponenten kann unter bestimmten Bedingungen ökonomisch sinnvoll sein, wie im Folgenden

gezeigt wird.

Bisher wurde angenommen, dass in jeder Periode Zulieferer mit unbegrenzter Menge an Komponenten zur Verfügung stehen. Also kann kein Engpass an Komponenten entstehen; nachgefragte Produkte können immer durch die Montage extern beschaffter Komponenten hergestellt werden. Nun wird unterstellt, dass ausschließlich in der ersten Periode Komponenten vom Zulieferer in München beschafft werden können.

D.h. die Verfügbarkeit von Zulieferern zur Komponenten-Beschaffung ist zeitlich und geographisch begrenzt. Wenn zudem die Kosten für den Transport von Komponenten zwischen Werken $c_{if}^c = 0,001$ GE, $\forall i, f \in F : i \neq f$, anstatt 0,003 GE betragen, wie in den bisherigen Tests, und damit niedriger als die Transportkosten zwischen unterschiedlichen Standorten im Netzwerk sind, ist die Umverteilung von Komponenten zwischen Werken optimal. (Die gesamte Lösung ist in Abbildung A.32 im Anhang A.4 dokumentiert.)

Dann gibt das FLCPR-Modell im Gegensatz zum Ausgangsbeispiel vor, dass Standorte in Frankfurt am Main und München anstatt Berlin eröffnet werden. In Abbildung 3.24 sind die optimalen Standorte und Kapazitäten dargestellt. Frankfurt am Main ist der nächstmögliche Werk-Standort zu München, dem Standort des Zulieferers, und zu den Kunden im Netzwerk ist ein Standort in Frankfurt am Main näher als München. Daher wird zur Transportkostenminimierung ein Werk und das VSZ und WZ in Frankfurt am Main eröffnet.

Nun werden zusätzlich zu den Kapazitäten für die Produkte, die vom Werk zum VSZ zur Befriedigung der Nachfrage fließen, Kapazitäten für die Lagerung von extern beschafften Komponenten benötigt. Daher ist zur Befriedigung der gesamten Nachfrage (im Gegensatz zum Ausgangsbeispiel) ein weiteres Werk notwendig; das zweite Werk ist in München über den Planungshorizont offen.

Die Lagermengen in den Werken sind in Abbildung 3.25 dargestellt. Nur durch die Lagerung der extern beschafften Komponenten in den Werken kann jede Nachfrage befriedigt werden. Die Produktrückgaben in Periode 2-5 und die daraus resultierenden wiederaufbereiteten Komponenten reichen nicht zur Herstellung der in Periode 2-5 nachgefragten Produkte aus.

Nun kostet der Transport von Komponenten zwischen Werken weniger als der Komponenten-

Transport vom Zulieferer oder WZ zum Werk. Daher ist es optimal, dass in Periode 1 und 2 sowie in geringen, kaum abbildbaren Mengen in Periode 5 im Münchener Werk gelagerte Komponenten zum Werk in Frankfurt am Main transportiert werden. Diese Transporte sind in Abbildung 3.25 dargestellt.

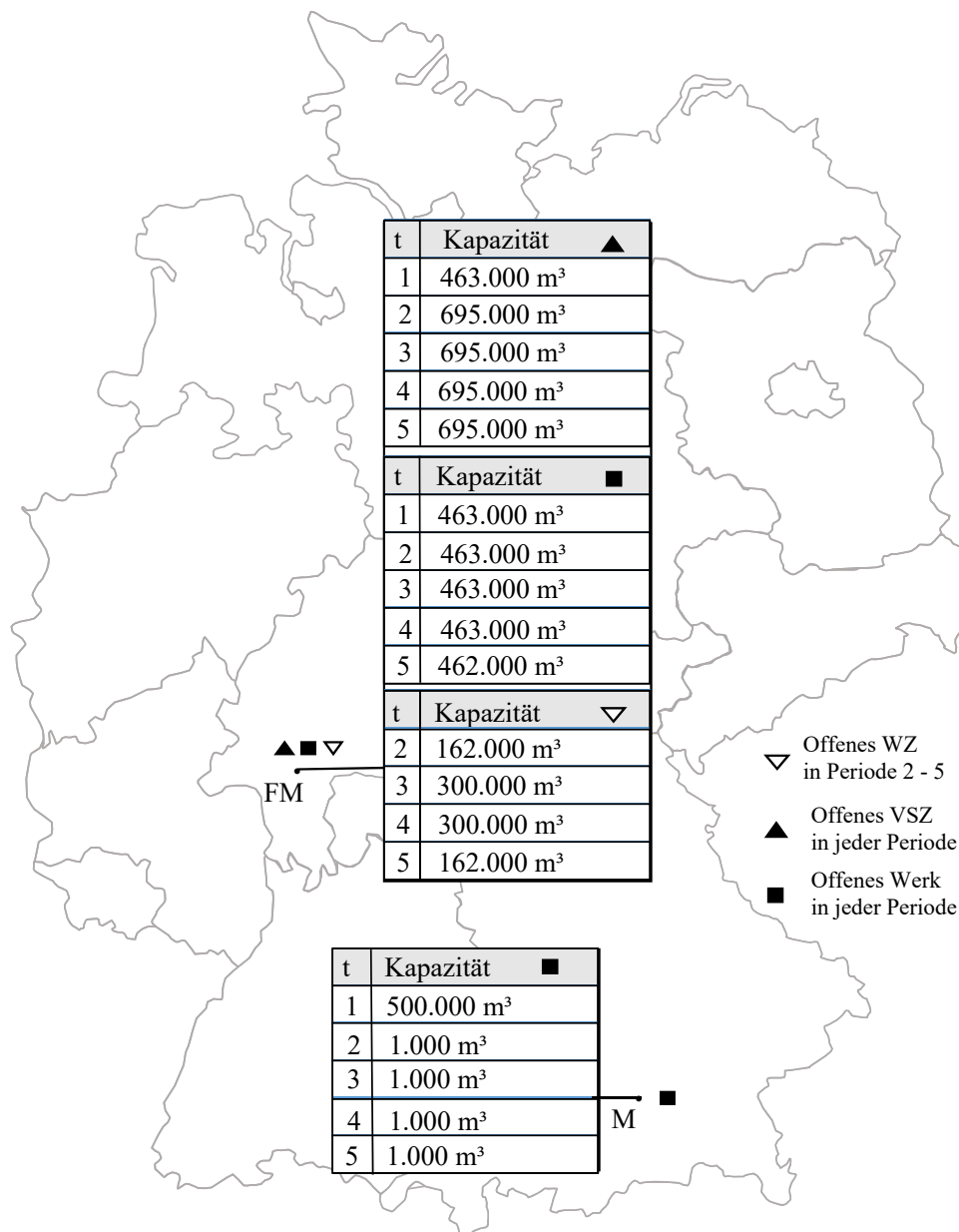


Abbildung 3.24: Optimale Standorte und Kapazitäten für Beispiel mit Umverteilung (Eigene Darstellung)

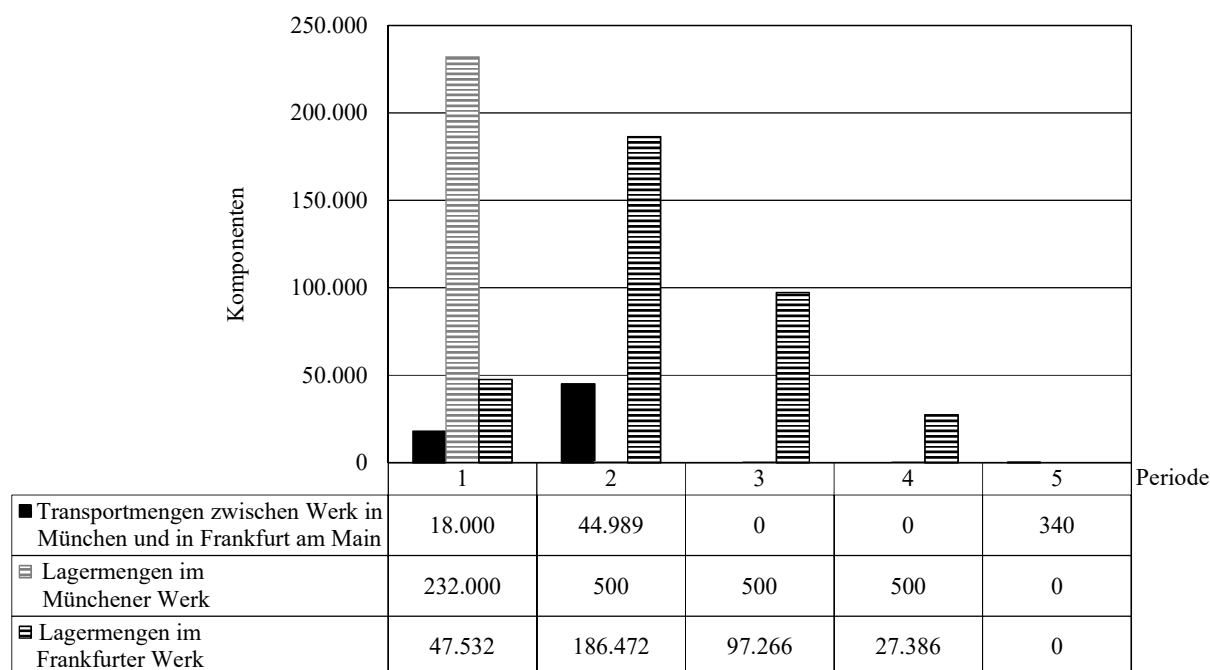


Abbildung 3.25: Optimale Lager- und Transportmengen an Komponenten in bzw. zwischen den offenen Werken für Beispiel mit Umverteilung (Eigene Darstellung)

Außerdem kann durch diese Transporte die Kapazität in der zweiten Periode im Münchener Werk abgebaut werden, siehe Abbildung 3.24. Durch die Zuflüsse aus der Umverteilung bleibt die Kapazität im Werk in Frankfurt am Main bis zur Periode 4 unverändert bei $463.000m^3$. Die Kapazität im Frankfurter Werk wird nicht abgebaut, da es günstiger ist, wenn Produkte vom Werk in Frankfurt am Main anstatt vom Werk in München zum VSZ in Frankfurt am Main fließen. Nur in der letzten Periode werden 80 Produkte vom Münchener Werk zum VSZ transportiert, wie in Abbildung A.32 im Anhang A.4 dokumentiert. Durch diese Produkt-Transporte kann in der letzten Periode die Werk-Kapazität in Frankfurt am Main um einen Schritt verringert werden, siehe Abbildung 3.24.

Die Kapazität im WZ unterscheidet sich zum Ausgangsbeispiel (vgl. Abbildung 3.24 mit Abbildung 3.11). Nun werden die Produktrückgaben im WZ gelagert, bevor sie bearbeitet werden; die WZ-Kapazität wird entsprechend angepasst. In Abbildung 3.26 sind die Bearbeitungs- und Lagermengen an Produkten im WZ für das Beispiel mit Umverteilung und der Ausgangslösung gegenübergestellt. Während im Ausgangsbeispiel in den Perioden 2-5 wiederaufbereitet wird, werden nun nur in Periode 3-5 zurückgegebene Produkte im

WZ bearbeitet. Die Produktrückgaben der zweiten Periode werden zunächst im WZ gelagert, bevor sie in den folgenden Perioden bearbeitet werden.

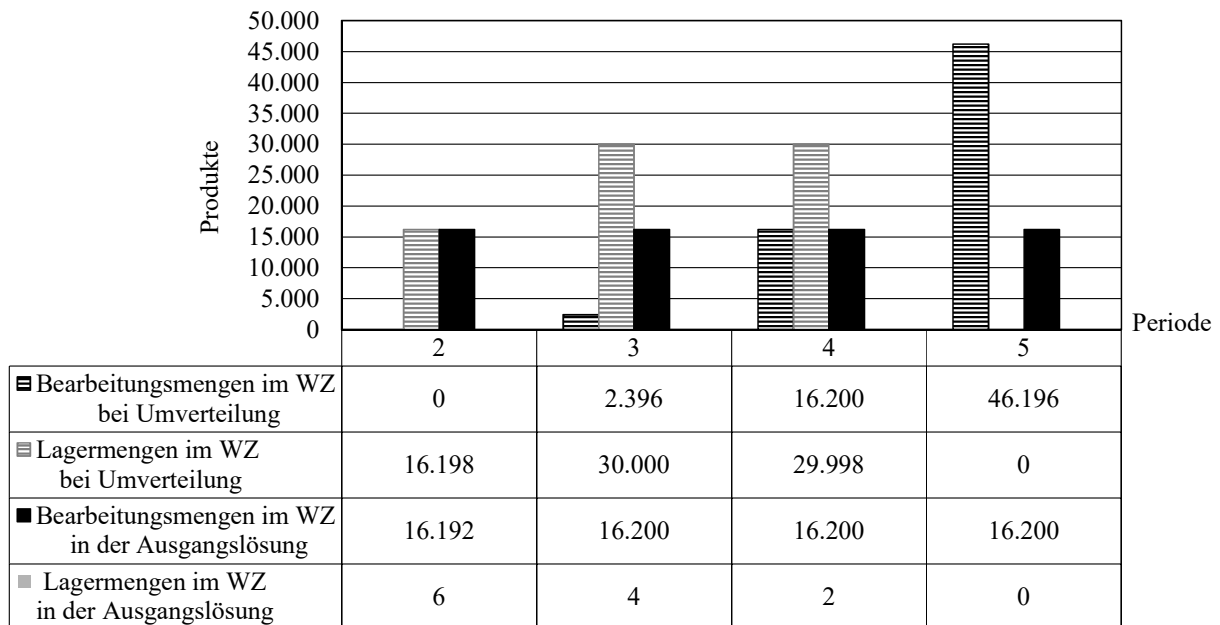


Abbildung 3.26: Vergleich der optimalen Bearbeitungs- und Lagermengen an Produkten im WZ für die Ausgangslösung und bei Beispiel mit Umverteilung (Eigene Darstellung)

Wiederaufbereitete Komponenten werden erst ab Periode 3 im Werk in Frankfurt am Main zur Produkterstellung genutzt. In der ersten Periode stehen keine Produktrückgaben zur Verfügung und in der zweiten Periode ist es optimal, im Werk in Frankfurt am Main Komponenten aus der Umverteilung vom Münchener Werk zu Produkten zu montieren. Dadurch kann die Kapazität der Werke abgebaut werden kann, siehe Abbildung 3.24. Nur eine gemeinsame Planung von Standorten, Kapazitäten und Beschaffungs-, Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen im CLSCN, wie im FLCPR-Modell, kann diese Zusammenhänge erfassen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Umverteilung von Komponenten bei auftragsbezogener Fertigung langfristig ökonomisch sinnvoll ist, wenn die Verfügbarkeit von Komponenten von externen Zulieferern geographisch und zeitlich beschränkt ist und die Kosten für den Intra-Transport niedriger als für den Transport zwischen unterschiedlichen Netzwerkebenen ist.

3.2.3 Fazit und Ausblick

Das FLCPR-Modell plant Standorte, Kapazitäten, Beschaffungs-, Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen in einem CLSCN über einen Planungshorizont bestehend aus mehreren Perioden, wie z.B. Jahren, optimal. Es basiert auf dem FLPR-Modell, dem statischen bzw. einperiodigen Standortplanungsmodell.

Im Gegensatz zum FLPR-Modell ist im dynamischen FLCPR-Modell die Lagerung von zurückgegebenen Produkten und wiederaufbereiteten Komponenten in einem WZ und von Komponenten im Werk möglich. Da Einheiten in Standorten gelagert werden und Kapazität dafür benötigt wird, ist es sinnvoll, dass die Lagerhaltung gemeinsam mit Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmengen sowie Kapazitäten und Standorten durch das FLCPR-Modell geplant wird.

Das FLCPR-Modell wird genutzt, um das Netzwerk eines Kopiergeräteherstellers optimal zu planen, wie das Modell von Salema et al. (2007)[150] und das FLPR-Modell in Abschnitt 2.3.2 bzw. 3.1.3. Im Gegensatz zu diesen Modellen werden im FLCPR-Modell Kosten bzw. Erlöse für Kapazitätsaufbau bzw. -abbau bei der Entscheidung berücksichtigt, Nachfrage zu befriedigen und zurückgegebene Produkte zu bearbeiten anstatt zu entsorgen.

Dadurch werden die hohen Überkapazitäten im Netzwerk verhindert, die beim FLPR-Modell und Modell von Salema et al. (2007)[150] beobachtet werden konnten. Weiterhin wird im FLCPR-Modell der Zusammenhang zwischen Standort-Kapazitäten und Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmengen bei der Planung erfasst und die Kosten verbunden mit Standorten sind nun abhängig von dessen Kapazität, wie in den Sensitivitätsanalysen des FLCPR-Modells gezeigt wurde. So wird die Planung des Netzwerks durch die Erweiterung um Kapazitätsplanung verbessert.

Der mehrperiodige Planungsansatz im FLCPR-Modell ermöglicht die Betrachtung des CLSCN über mehrere Perioden hinweg. So konnte in der Sensitivitätsanalyse des FLCPR-Modells der Einfluss der Produkt-Nutzungsdauer durch Kunden, der Produktlebensdauer bzw. der Länge des Planungshorizonts und der Entwicklung der Produkt-Nachfrage über den Planungshorizont auf die Entscheidung zur Refabrikation untersucht werden.

Die Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden darf nicht zu lang sein, sonst können Komponenten aus Produktrückgaben nach der Refabrikation nicht mehr als Produktionsinput genutzt werden. Dann können nicht ausreichend Kostenersparnisse in der Beschaffung durch Montage wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten zu Produkten generiert werden.

Dafür sind allerdings nicht nur die nachgefragte und zurückgegebene Menge an Produkten relevant, sondern die Menge an neuwertigen Komponenten, die aus der Refabrikation der Produktrückgaben gewonnen werden können. D.h. das Produkt-Design beeinflusst die Entscheidung zur Refabrikation, wie in der Sensitivitätsanalyse festgestellt werden konnte. Durch den erweiterten Planungsansatz des FLCPR-Modells wird der Einfluss des Rückgabezeitpunkts bzw. der Nutzungsdauer durch Kunden und des Produkt-Designs in der CLSCN-Planung erfasst.

Weiterhin zeigte die Sensitivitätsanalyse, dass das Produkt ausreichend lang nachgefragt werden muss, damit Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Nur so können ausreichend abgesetzte Produkte zurückgegeben und deren Komponenten wiederaufbereitet werden, dass Refabrikation lohnenswert ist, d.h. die Kostenersparnisse durch Montage wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten zu nachgefragten Produkten die Kosten verbunden mit Refabrikation übersteigen.

Dafür ist allerdings nicht nur die Menge an nachgefragten und zurückgegebenen Produkten relevant, sondern auch die Entwicklung der Nachfrage über den Planungshorizont, also der PLZ. Die Rückgabemenge in der CLSC entwickelt sich zeitlich verzögert zur Nachfrage, verzögert durch die Nutzung der Produkte durch Kunden. Durch eine über den Planungshorizont stark sinkende Nachfrage stehen zu wenige Produktrückgaben und damit wiederaufbereitete Komponenten im Planungshorizont zur Verfügung, sodass die Kosten verbunden mit Refabrikation die Kostenersparnisse in der Beschaffung übersteigen.

Bei über den Planungshorizont ansteigender Nachfrage kann der Anteil an wiederaufbereiteten Komponenten in der Fertigung sinken. Denn durch die Nutzungsdauer wächst die Rückgabemenge verzögert zur Nachfrage. Also stehen angestiegener Nachfrage nicht im gleichen Ausmaß gewachsene Rückgaben bzw. wiederaufbereitete Komponenten ge-

genüber.

Wenn Nachfrage über den Planungshorizont schwankt, also zunächst ansteigt und dann abfällt, kann dieser Effekt ausgeglichen werden, dafür muss allerdings die Nutzungsdauer kurz genug sein, sodass die Produktrückgaben bzw. deren Komponenten nach der Refabrikation noch zur Befriedigung von Nachfrage genutzt werden können.

Außerdem kann Nachfrage so stark ansteigen, dass die Kapazitätserweiterungen am einzelnen VSZ, Werk und WZ für die Nachfrage bzw. Rückgabemenge nicht mehr ausreichen. Dann werden weitere VSZ und Werke eröffnet, hierbei beeinflussen die Transportkosten die Wahl der Standorte und die Beschaffungsentscheidung und darüber hinaus die Bearbeitungsmengen in Standorten.

Für keinen Test ist es in dem hier untersuchten Beispiel optimal, ein weiteres WZ zu eröffnen; wenn die Rückgabemenge höher als die Kapazität eines WZ ist, werden die überschüssigen zurückgegebenen Produkte entsorgt. Die Kosten verbunden mit einem zusätzlichen WZ sind deutlich höher als die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch die wiederaufbereiteten Komponenten, die aus der Bearbeitung der überschüssigen zurückgegebenen Produkte hervorgehen. Also werden die überschüssigen Produktrückgaben entsorgt; zur Minimierung der Transportkosten werden die Produktrückgaben entsorgt, die im VSZ mit der längsten Distanz zum WZ gesammelt wurden.

Allerdings sind im Anwendungsbeispiel mit den Daten basierend auf Fleischmann et al. (2001)[52] die Eröffnungskosten für Standorte im Vergleich zu den anderen Kostenparametern sehr hoch, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 erläutert. Bei niedrigeren Eröffnungskosten für WZ und VSZ können weitere Standorte zur Refabrikation bzw. Produkt-Einsammlung und daraufhin andere Transportwege ökonomisch sinnvoll sein.

Zudem konnte in der Sensitivitätsanalyse mit dem FLCPR-Modell beobachtet werden, dass die Umverteilung von Komponenten zwischen Werken bei auftragsbezogener Fertigung ökonomisch sinnvoll sein kann. Wenn die Verfügbarkeit von Komponenten durch externe Zulieferer geographisch und zeitlich begrenzt ist und die Kosten für den Transport zwischen Werken niedriger als für den Transport zwischen unterschiedlichen Netzwerkebenen und von Zulieferern sind, ist die Umverteilung von Komponenten zwischen Werken optimal.

Bisherige quantitative Ansätze in der Literatur planen entweder nur Standorte und Transportmenge in der CLSC, wie z.B. in [52] [55] [150], oder die Produktion und Lagerung in der CLSC, wie z.B. in [99] [90]. So werden jedoch die Zusammenhänge zwischen der Standort-, Kapazitäts-, Produktions- und Transportplanung, die in der Sensitivitätsanalyse des FLCPR-Modells aufgezeigt wurden, nicht erfasst.

So ist die Erweiterung der bisherigen Ansätze zur CLSCN-Planung um Produktions- und Kapazitätsplanung und der Betrachtung des Problems über mehrere Perioden hinweg anstatt nur einer Periode zum bzw. im FLCPR-Modell sinnvoll und liefert dem Entscheidungsträger mehr Erkenntnisse über das Entscheidungsproblem. Die Betrachtung der Interaktion vieler Parameter und Einflussgrößen ist nur mit einem solchen Modell möglich.

Allerdings werden im FLCPR-Modell nur Standort-Kapazitäten in m^3 berücksichtigt und damit die Durchfluss- und Lagermenge im Netzwerk als begrenzt abgebildet. Für die Bearbeitung von Einheiten in Standorten werden aber auch taktische Kapazitäten, wie z.B. Arbeits- und Maschinenstunden benötigt; die entsprechenden Kosten und Kapazitätsgrenzen sind bisher vernachlässigt worden. Im nächsten Kapitel in Abschnitt 4.1 wird untersucht, wie sich diese weiteren Kapazitäten auf die CLSC-Planung auswirken.

Desweiteren haben die Standort-, Kapazitäts-, Produktions- und Transportplanung im FLCPR-Modell gemeinsame langfristige Entscheidungszeitpunkte. Daraus ergibt sich, dass in jeder langfristigen Periode Entscheidungen über die Standort, Kapazitäten, Lagerung, Beschaffung, Bearbeitung und den Transport von Einheiten getroffen werden. Dabei entspricht eine langfristige Periode einem Jahr, d.h. im Modell wird eine jährliche Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmenge an Gütern im Netzwerk erfasst.

Diese Abbildung ist für das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit, die SC eines Kopiergeräteherstellers unrealistisch, da die Fertigung auftragsbezogen ist, wie in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt. Also wird die Annahme eines gemeinsamen Entscheidungszeitpunkts für die Planungen im nächsten Kapitel in Abschnitt 4.2 hinterfragt und aufgegeben.

4 Kombinierte Planung strategischer und taktischer Closed-Loop Supply Chain-Probleme

Diskrete Standortplanungsmodelle planen Transportmengen und Standorte, aber keine Bearbeitungsmengen. Daher werden in diesen Modellen nur Kapazitätsschranken berücksichtigt, die die Durchfluss- und (ggf.) Lagermengen im Netzwerk begrenzen. Durch die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um Produktionsplanung muss zusätzlich zur strategischen Kapazität eine taktische Kapazität, die die Bearbeitungsmengen in Standorten des Netzwerks beschränkt, in die Planung miteinbezogen werden.

Aus diesem Grund wird im Folgenden das FLCPR-Modell um eine taktische Kapazitätsplanung erweitert. Da Refabrikation eine arbeitsintensive Wiederverwertungsform ist [73] [96], wird in dieser Arbeit die taktische Kapazität in Arbeitsstunden erfasst und durch die Personalbestandsplanung basierend auf dem APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 optimal bestimmt. Zur Abgrenzung der Kapazitätsbegriffe wird im weiteren Verlauf zwischen strategischer Volumen-Kapazitätsplanung als Kapazitätsplanung und taktischer Kapazitätsplanung als Personalbestandsplanung unterschieden.

Aus der Erweiterung des FLCPR-Modells um Personalbestandsplanung resultiert das „Facility Location Capacity and Aggregate Production Planning with Remanufacturing“ (FLCAPPR)-Modell. Das FLCAPPR-Modell plant Standorte, Kapazitäten, Transport-, Beschaffungs-, Lager- und Bearbeitungsmengen und den Personalbestand über einen langfristigen Planungshorizont, also auf der strategischen Ebene der CLSC-Planung, optimal;

dieses Modell wird in Abschnitt 4.1 vorgestellt.

Im FLCAPPR-Modell haben alle Planungen nur langfristige Entscheidungszeitpunkte. Allerdings haben die Planungen nach dem SCM unterschiedliche Planungshorizonte, wie bereits in Abschnitt 2.1.2 bzw. 2.1.3 erläutert. Daher wird in Abschnitt 4.2.1 diskutiert, wie eine Erweiterung des FLCAPPR-Modells um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte die Planung verbessern kann.

Danach, in Abschnitt 4.2.2, wird das „Two-level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“ (FLCAPPTR2)-Modell vorgestellt, das zusätzlich zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten auch mittelfristige Entscheidungszeitpunkte bei der Planung berücksichtigt.

4.1 Kombinierte Planung auf einer Planungsebene

Die Kapazität der taktischen Ebene wird als Technologie und in Maschinenstunden, wie z.B. in Schultmann et al. (2003)[156] und Paquet et al. (2004)[135], oder als Personalbestand und in Arbeitsstunden, wie z.B. in Hax und Meal (1973)[81] und Jayaraman (2006)[96], erfasst. Schultmann et al. (2003)[156] minimieren die Kosten für Produktionskapazitätsausstattung, Bearbeitungs- und Transportmengen in einem existierenden Netzwerk mit Recycling.

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, ist Recycling eine kapitalintensive Wiederaufbereitungsform, dagegen ist Refabrikation eher arbeitsintensiv [73] [96]. Da in dieser Arbeit ein Netzwerk mit Refabrikation untersucht wird, wird hier angenommen, dass die Bearbeitungsmengen in Standorten durch die Arbeitsstunden des dort verfügbaren Personals begrenzt werden.

Schon im APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 wurde die Produktion begrenzt durch den Personalbestand dargestellt. Allerdings unterstellt das APPR-Modell, dass der Personalbestand über den Planungshorizont fix ist; diese Annahme wird hier aufgegeben. Der Personalbestand soll in den Standorten in jeder Periode im Planungshorizont optimal bestimmt werden. Die Erweiterung des FLCPR-Modells um aggregierte Personalbestands-

planung resultiert im FLCAPPR-Modell, das nun vorgestellt wird.

Der Personalbestand und damit die verfügbaren Arbeitsstunden in einem offenen Standort werden nun gemeinsam mit den Bearbeitungsmengen in jeder Periode t , $\forall t \in ST$, geplant. Personal muss in Werken für die Produkterstellung und in VSZ für das Umschlagen von Produkten und das Einsammeln von zurückgegebenen Produkten zur Verfügung stehen. Nur mit Personal im Werk und VSZ kann Nachfrage befriedigt werden und Produktrückgaben eingesammelt werden. Dagegen muss Personal in WZ nur vorhanden sein, wenn es ökonomisch sinnvoll ist, zurückgegebene Produkte zu bearbeiten anstatt zu entsorgen. Die Definitionen des FLCAPPR-Modells folgen der bisher genutzten Notation dieser Arbeit; die zusätzlichen Definitionen werden in der Tabelle 4.1 angegeben.

Tabelle 4.1: Relevante zusätzliche Definitionen für FLCAPPR-Modell¹⁰

Parameter	Definition
dV_p	Benötigte Zeit für die Annahme und den Umschlag eines Produkts p in einem VSZ (in Stunden), $\forall p \in P$
dR_c	Benötigte Zeit für die Refabrikation einer Komponente c in einem WZ (in Stunden), $\forall c \in C$
dF_p	Benötigte Zeit für die Montage eines Produkts p in einem Werk (in Stunden), $\forall p \in P$
$labcc_y^{Cost}$	Lohnkosten in Standort y pro Stunde, $\forall y \in F \cup R \cup V$
$LabCap_y^U$	Minimale Arbeitsstunden des gesamten Personalbestands vorgegeben für Standort y , $\forall y \in F \cup R \cup V$
$LabCap_{yt}^O$	Maximale Arbeitsstunden des gesamten Personalbestands verfügbar in Standort y in Periode t , $\forall t \in ST, y \in F \cup R \cup V$
le	Arbeitsstunden pro Arbeitskraft in einer Periode
Variable	Definition
$LCapT_t^y$	Verfügbarer Personalbestand in Standort y in Periode t , $\forall t \in ST, y \in F \cup R \cup V$

Die Zielfunktion des FLCAPPR-Modells, $ZF_{FLCAPPR}$, minimiert die diskontierten Gesamtkosten der CLSC über mehrere Perioden hinweg. Zur Übersichtlichkeit wird sie in zwei unterschiedliche Kostenfunktionen unterteilt: Die erste Funktion (4.1), ZF_{FLCT} , beinhaltet die Kosten der Standort-, Kapazitäts- und Transportplanung, „Facility Location

¹⁰Zusätzliche Definitionen zu Kapitel 2 und 3

Capacity Transport“ (FLCT), während die zweite Funktion (4.2), ZF_{APWR} , die Kosten der aggregierten Produktions- und Personalbestandsplanung mit Refabrikation, „Aggregate Production Workforce Remanufacturing“ (APWR), umfasst. Im Folgenden werden diese Funktionen präsentiert und erklärt.

$$\min ZF_{FLCAPPR} = ZF_{FLCT} + ZF_{APWR}$$

mit

$$\begin{aligned} ZF_{FLCT} = & \sum_{t \in ST} \left(\left(1/(1+\alpha)^t \right) \cdot \left(\sum_{r \in R} f_r \cdot Y_{Et}^r + \sum_{v \in V} f_v \cdot Y_{Et}^v + \sum_{f \in F} f_f \cdot Y_{Et}^f \right. \right. \\ & + \sum_{r \in R} f_t^r \cdot Y_t^r + \sum_{v \in V} f_t^v \cdot Y_t^v + \sum_{f \in F} f_t^f \cdot Y_t^f \\ & + \sum_{r \in R} sf_r \cdot H_t^r + \sum_{v \in V} sf_v \cdot H_t^v + \sum_{f \in F} sf_f \cdot H_t^f \\ & + e \cdot \left(\sum_{r \in R} fcap_r^{Cost} \cdot CCapU_t^r + \sum_{f \in F} fcap_f^{Cost} \cdot CCapU_t^f + \sum_{v \in V} fcap_v^{Cost} \cdot CCapU_t^v \right. \\ & + \sum_{r \in R} fcap_r^{Rev} \cdot CCapD_t^r + \sum_{f \in F} fcap_f^{Rev} \cdot CCapD_t^f + \sum_{v \in V} fcap_v^{Rev} \cdot CCapD_t^v \Big) \\ & + \sum_{k \in K, p \in P} c_k^U \cdot U_{pt}^k \\ & + c^{DEnt} \cdot \left(\sum_{v \in V, p \in P} X_{pt}^{vD} + \sum_{r \in R, c \in C} X_{ct}^{rD} \right) \\ & + \sum_{z \in Z, c \in C, f \in F} (c_{zf}^c \cdot t_{zf}^c + c_z^c) \cdot X_{ct}^{zf} + \sum_{r \in R, c \in C, f \in F} c_{rf}^c \cdot t_{rf}^c \cdot X_{ct}^{rf} \\ & + \sum_{f \in F, v \in V, p \in P} c_{fv}^p \cdot t_{fv}^p \cdot X_{pt}^{fv} + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{vk}^p \cdot t_{vk}^p \cdot X_{pt}^{vk} \\ & + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{kv}^p \cdot t_{kv}^p \cdot X_{pt}^{kv} + \sum_{v \in V, r \in R, p \in P} c_{vr}^p \cdot t_{vr}^p \cdot X_{pt}^{vr} \\ & + \sum_{c \in C, (r,s) \in R: r \neq s} c_{rs}^c \cdot t_{rs}^c \cdot EXI_{ct}^{rs} + \sum_{p \in P, (r,s) \in R: r \neq s} c_{rs}^p \cdot t_{rs}^p \cdot EXI_{pt}^{rs} \\ & + \sum_{c \in C, (f,i) \in F: f \neq i} c_{fi}^c \cdot t_{fi}^c \cdot EXI_{ct}^{fi} + \sum_{p \in P, (v,j) \in V: v \neq j} c_{vj}^p \cdot t_{vj}^p \cdot EXI_{pt}^{vj} \Big) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Die erste Funktion der Zielfunktion des FLCAPPR-Modells, ZF_{FLCT} , enthält in Zeile 1 – 3 die Kosten der mehrperiodigen Standortplanung, in Zeile 4 und 5 die Kosten der

Kapazitätsplanung und in Zeile 7 – 12 die Kosten der Transportplanung. In Zeile 6 stehen die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse für die unbefriedigte Nachfrage.

Diese Kostenterme kommen bereits in der Zielfunktion des FLCPR-Modells in Kapitel 3.2.2 vor und wurden dort ausführlich erklärt, daher wird hier darauf verzichtet. Im Gegensatz zum FLCPR-Modell werden die Kosten der Lagerung und Bearbeitung nun in einer weiteren Zielfunktion erfasst, die im Folgenden vorgestellt wird.

$$\begin{aligned}
 ZF_{APWR} = & \sum_{t \in ST} \left(\left(1/(1 + \alpha)^t \right) \cdot \left(le \cdot \left(\sum_{r \in R} labcc_r^{Cost} \cdot LCapT_t^r \right. \right. \right. \\
 & + \sum_{f \in F} labcc_f^{Cost} \cdot LCapT_t^f + \sum_{v \in V} labcc_v^{Cost} \cdot LCapT_t^v \Big) \\
 & + \sum_{r \in R, c \in C} c_r \cdot X_{ct}^r + \sum_{f \in F, p \in P} c_f \cdot X_{pt}^f \\
 & + \sum_{r \in R} \left(\sum_{p \in P} h_r^p \cdot I_{pt}^r + \sum_{c \in C} h_r^c \cdot I_{ct}^r \right) + \sum_{f \in F, c \in C} h_f^c \cdot I_{ct}^f \Big) \\
 & + \left(1/(1 + \alpha)^{LST} \right) \cdot \left(\sum_{f \in F, c \in C} sh_f^c \cdot EI_c^f + \sum_{r \in R} \left(\sum_{p \in P} sh_r^p \cdot EI_p^r + \sum_{c \in C} sh_r^c \cdot EI_c^r \right) \right)
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Der zweite Teil der Zielfunktion des FLCAPPR-Modells, ZF_{APWR} , erfasst die Kosten der aggregierten Produktions- und Personalbestandsplanung. Während die Kosten bzw. Erlöse für Kapazitätsänderungen einmalig in der jeweiligen Periode der Veränderung anfallen (siehe Zielfunktion (4.1)), werden die Arbeitsstunden des Personals in jeder Periode entlohnt.

Die Lohnkosten in den offenen Standorten stehen in Zeile 1 und 2 der Funktion ZF_{APWR} . Die Kosten in Zeile 3 – 5 geben die Kosten der Bearbeitung, Lagerhaltung und Entsorgung der Endlagerbestände wieder und sind bereits beim FLCPR-Modell in Abschnitt 3.2.2 vorgestellt worden. Also wird hier auf eine Erklärung verzichtet.

Die Nebenbedingungen (3.38) – (3.76) des FLCPR-Modells aus Abschnitt 3.2.2 für die mehrperiodige Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung gelten unverändert. Es kommen neue Nebenbedingungen für die Personalbestandsplanung hinzu, die im Folgenden präsentiert werden.

$$\sum_{p \in P} dV_p \cdot \sum_{k \in K} (X_{pt}^{kv} + X_{pt}^{vk}) \leq le \cdot LCap_t^v \quad \forall v \in V, t \in ST \quad (4.3)$$

Die Nebenbedingungen (4.3) begrenzen die Arbeitsstunden, die für das Umschlagen und Einsammeln von Produkten im VSZ anfallen, durch die Arbeitsstunden des im VSZ verfügbaren Personals.

Dabei sind die Arbeitsstunden, die in einem Standort in einer Periode t verfügbar sind, das Produkt aus dem Personalbestand des Standorts, angegeben durch $LCap_t^y, \forall y \in R \cup F \cup V$ und den Arbeitsstunden einer Arbeitskraft in einer Periode, angegeben durch le .

$$\sum_{c \in C} dR_c \cdot X_{ct}^r \leq le \cdot LCapT_t^r \quad \forall r \in R, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (4.4)$$

In einem WZ dürfen die benötigten Arbeitsstunden für die Refabrikation nicht die dort verfügbaren Arbeitsstunden übersteigen.

$$\sum_{p \in P} dF_p \cdot X_{pt}^f \leq le \cdot LCapT_t^f \quad \forall f \in F, t \in ST \quad (4.5)$$

Für die Montage von Produkten in Werken werden Arbeitsstunden benötigt; die Nebenbedingungen (4.5) limitieren die Bearbeitungszeit in einem Werk durch die verfügbaren Arbeitsstunden des Personalbestands im Werk.

$$LabCap_y^U \cdot Y_t^y \leq le \cdot LCapT_t^y \leq LabCap_{yt}^O \cdot Y_t^y \quad \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \quad (4.6)$$

Nur in offenen Standorten muss Personal geplant werden: Wenn ein Standort offen ist, geben die Nebenbedingungen (4.6) untere und obere Grenzen für Arbeitsstunden in Standorten vor. Sonst wird der jeweiligen Variable $LCapT_t^y, \forall y \in F \cup V \cup R$, der Wert Null zugewiesen.

Die Eigenschaften der Variablen des FLCPR-Modells aus Abschnitt 3.2.2, definiert durch die Nebenbedingungen (3.77) – (3.80), gelten weiterhin; neu hinzukommen die Variablen der Personalbestandsplanung.

$$LCapT_t^r, LCapT_t^f, LCapT_t^v \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall r \in R, v \in V, f \in F, t \in ST \quad (4.7)$$

Die Variablen, die den Personalbestand in Standorten pro Periode angeben, sind positiv und ganzzahlig.

Beispiel und Ergebnisse

Das FLCAPPR-Modell wird nun genutzt, um das CLSCN des Kopiergeräteherstellers in Deutschland optimal zu planen. Die bisherigen Daten werden aus Kapitel 3 übernommen. Zur Lösung des FLCAPPR-Modells müssen weitere Parameter vorgegeben werden; sie sind in Tabelle 4.2 aufgeführt.

Tabelle 4.2: Relevante zusätzliche Parameterwerte¹¹

Parameter	Wert
dV_p	0,5 Stunde, $\forall p \in P$
dR_c	2 Stunden, $\forall c \in C$
dF_p	1 Stunde, $\forall p \in P$
$LabCap_{yt}^O$	1.000.000 Stunden, $\forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST$
$labcc_y$	15 GE pro Stunde, $\forall y \in F \cup V \cup R$
le	1.610 Stunden
c_{kp}^U	85 GE, $\forall k \in K, p \in P$

Es wird angenommen, dass die Arbeitsstunden des Personalbestands in einem Standort in einer Periode um Vielfache von $le = 1.610$ Stunden erhöht oder verringert werden können. Diese Stundenanzahl ergibt sich aus folgender Berechnung: In Deutschland vertraglich vereinbarte Arbeitsstunden pro Woche betragen oft 35 Stunden. Der Urlaubsanspruch beträgt 6 Wochen pro Jahr – Feiertage und Krankheitsausfälle werden vernachlässigt. So betragen die Arbeitsstunden einer Arbeitskraft pro Jahr $(52 - 6)$ (Arbeitswochen pro Jahr) $\cdot 35$ (Arbeitsstunden pro Woche) = 1.610 (Arbeitsstunden pro Jahr).

Außerdem wird unterstellt, dass für den Umschlag eines Produkts, neu oder zurückgegeben, im VSZ 30 Minuten anfallen. Die Montage eines Produkts im Werk dauert eine

¹¹Zusätzliche Parameterwerte zu Abschnitt 2.3.2 und Kapitel 3

Stunde. Im WZ werden zwei Stunden für die Bearbeitung einer Komponente benötigt. Der Stundenlohn in den Standorten wird mit 15 GE pro Stunde angenommen. Diese Parameter werden in der folgenden Sensitivitätsanalyse verändert und ihr Einfluss auf die Planung untersucht.

Für die Daten des Ausgangsbeispiels gibt das FLCAPPR-Modell ein offenes VSZ und Werk in Berlin vor und jede Nachfrage wird befriedigt, wenn $c_{kp}^U \geq 85$, $\forall k \in K, p \in P$, gilt. (Falls $c_{kp}^U \leq 84$, $\forall k \in K, p \in P$, ist es ökonomisch nicht sinnvoll, jede Nachfrage zu befriedigen; bei $c_{kp}^U = 84$, $\forall k \in K, p \in P$, bleiben einzelne Nachfragen unbefriedigt. In Abbildung A.33 im Anhang A.5 ist die Lösung für $c_{kp}^U = 84$, $\forall k \in K, p \in P$, dokumentiert.) Die optimalen offenen Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden nach dem FLCAPPR-Modell für $c_{kp}^U = 85$, $\forall k \in K, p \in P$, sind in Abbildung 4.1 dargestellt. (Die vollständige Lösung des Ausgangsbeispiels ist in Abbildung A.34 im Anhang A.5 dargestellt.)

Im Gegensatz zur Ausgangslösung des FLCPR-Modells in Abschnitt 3.2 ist Refabrikation ökonomisch nicht sinnvoll. Nun fallen Lohnkosten für die Refabrikation im WZ an und erhöhen die Kosten verbunden mit Refabrikation so stark, dass es günstiger ist, alle zurückgegebenen Produkte zu entsorgen anstatt zu bearbeiten. Alle für die Produkt-Montage benötigten Komponenten werden vom Zulieferer in Berlin neu beschafft. Weiterhin sind durch die Berücksichtigung von Lohnkosten im Werk und VSZ die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage höher als im FLCPR-Modell; sie betragen 19.019.293,84 GE anstatt 12.919.237,81 GE.

Das FLCAPPR-Modell wird mit der Hard- und Software gelöst, die für alle vorherigen Tests genutzt wird; die Lösungszeit des FLCAPPR-Modells mit den Daten des Ausgangsbeispiels beträgt 322,51 Sekunden und ist damit deutlich niedriger als die Lösungszeit des FLCPR-Modells aus Abschnitt 3.2 mit 3.887,34 Sekunden, obwohl mehr Variablen und Nebenbedingungen im FLCAPPR-Modell als im FLCPR-Modell enthalten sind.

Die Kosten verbunden mit Refabrikation sind nun deutlich höher als die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch die Montage wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten zu nachgefragten Produkten. Also ist Refabrikation nicht optimal. Daher muss der Solver im Gegensatz zum FLCPR-Modell kein optimales WZ, WZ-Kapazitäten

und keine optimalen Bearbeitungsmengen im WZ und Transportmengen vom bzw. zum WZ für fünf Perioden bestimmen. So führt die Erweiterung um Personalbestandsplanung für die Daten des Ausgangsbeispiels dazu, dass der Gurobi Solver 6.5.1 weniger Zeit zum optimalen Lösen des Ausgangsbeispiels braucht.

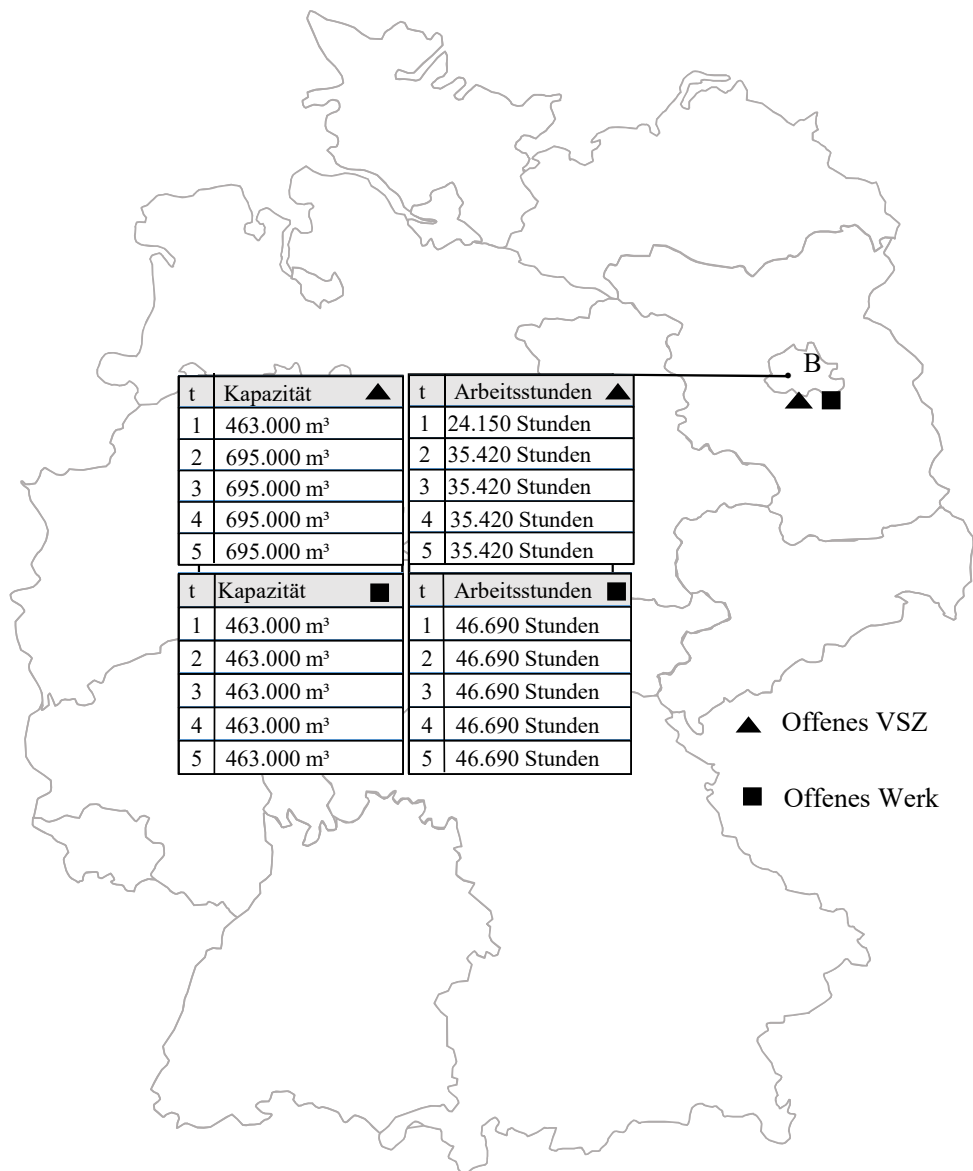


Abbildung 4.1: Optimale Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden über 5 Perioden für das Ausgangsbeispiel nach dem FLCAPPR-Modell (Eigene Darstellung)

In der folgenden Sensitivitätsanalyse wird untersucht, wie sich der erweiterte Planungsansatz des FLCAPPR-Modells, also die neu eingeführten Parameter der Personalbe-

standsplanung, auf das CLSCN auswirken. Dazu wird im Folgenden angenommen, dass $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$. Allerdings sind die Strafkosten, die die entgangenen Erlöse pro unbefriedigte Nachfrage angeben, nicht frei vom Entscheider wählbar, sondern werden durch den Kunden oder Markt vorgegeben. Dieser Parameter liegt aber für das Planungsproblem des Kopiergeräteherstellers nicht vor, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 diskutiert. Also ist die Annahme von Strafkosten kritisch, aber hier notwendig, um Erkenntnisse über einen Zusammenhang zwischen Personalbestandsplanung und der Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung im CLSC zu erlangen. Im weiteren Verlauf der Sensitivitätsanalyse werden die Strafkosten nicht weiter variiert.

Einfluss der Personalbestandsplanung auf die Entscheidung zur Refabrikation

Durch die Erweiterung des FLCPR-Modells aus Abschnitt 3.2.2 um Personalbestandsplanung zum FLCAPPR-Modell wird der Einfluss von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und verfügbarem Personal in WZ auf die Entscheidung zur Refabrikation erfasst. Nach dem FLCPR-Modell darf die Refabrikation 2 GE pro Komponente kosten und bleibt günstiger als die externe Beschaffung von Komponenten. (Die entsprechende Lösung des FLCPR-Modells für $c_r = 2$ GE, $\forall r \in R$, ist in Abbildung A.18 im Anhang A.4 dokumentiert.)

Da im FLCAPPR-Modell nun zusätzlich Lohnkosten und Bearbeitungszeiten im WZ berücksichtigt werden, muss die Refabrikation nach dem FLCAPPR-Modell subventioniert werden, sodass Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Die Refabrikation einer Einheit im WZ dauert 2 Stunden und die Lohnkosten im WZ betragen 15 GE pro Stunde, also muss (im Vergleich zum FLCPR-Modell) die Refabrikation mit $c_r = 2 - (2 \cdot 15) = -28$ GE, $\forall r \in R$, subventioniert werden.

Weiterhin muss ausreichend Kapazität sowie Personal in einem WZ vorhanden sein, sodass die gesamte verwertbare Produkt-Rückgabemenge bearbeitet und dadurch jede Komponente aus Produktrückgaben wiederaufbereitet werden kann. Erst dann übersteigen die Kostenersparnisse durch Nutzung wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten in der Produkterstellung die mit Refabrikation verbundenen Kosten.

Dann wird in der ersten Periode ein VSZ und Werk und in der zweiten Periode ein WZ in Berlin eröffnet. Die optimalen Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden für $c_r = -28$

GE, $\forall r \in R$, sind in Abbildung 4.2 dargestellt. In Abbildung 4.3 sind die optimalen Bearbeitungs- und Lagermengen an zurückgegebenen Produkten im WZ zu sehen. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.35 im Anhang A.5 dokumentiert. Die Lösung für $LabCap_{rt}^O \leq 64.400$ Stunden, $\forall r \in R, t \in ST$, bei $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, entspricht der Ausgangslösung, siehe Abbildung A.34 im Anhang A.5.)

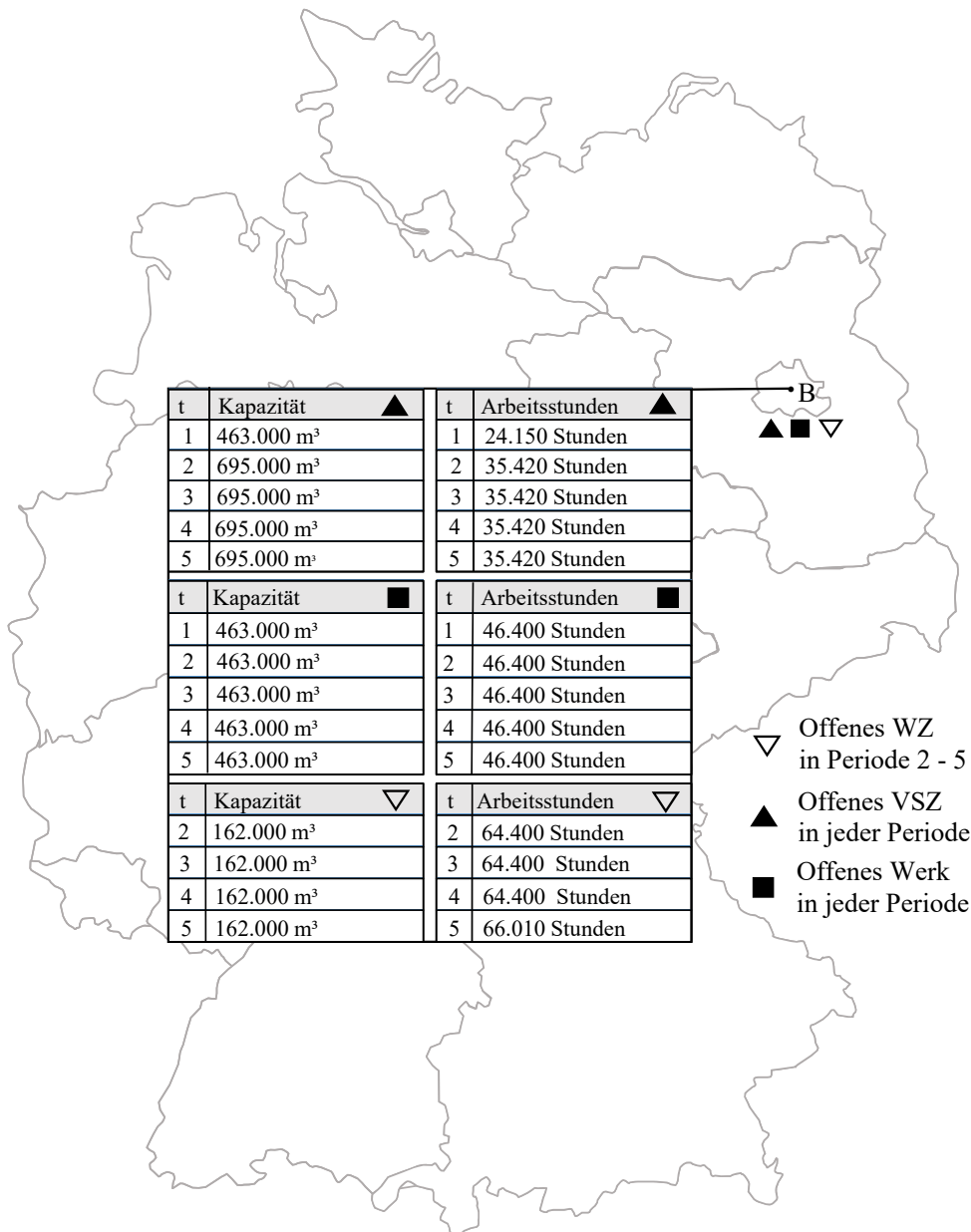


Abbildung 4.2: Optimale Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden bei Subventionierung von Refabrikation im WZ, $c_r = -28$, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung)

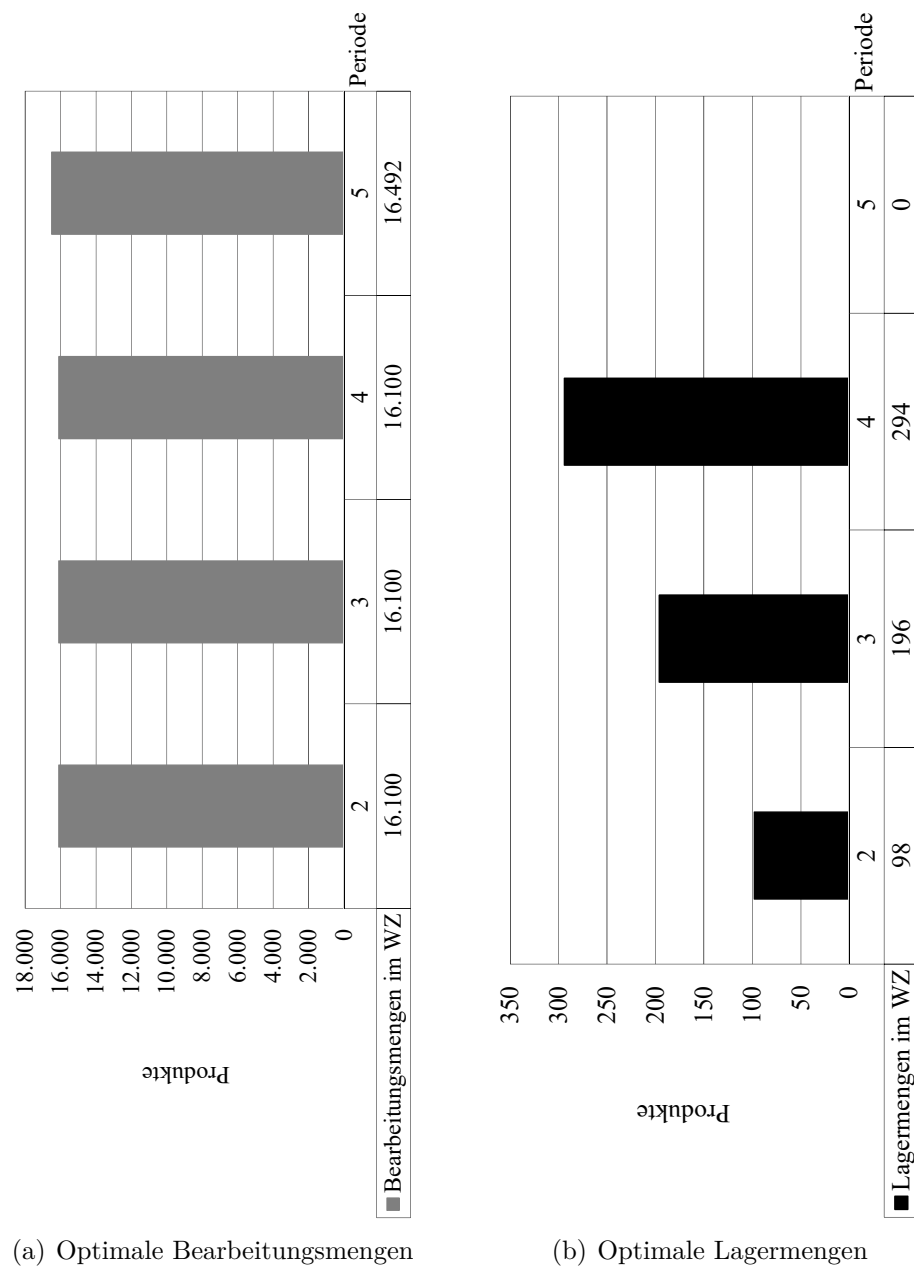


Abbildung 4.3: Optimale Bearbeitungs- und Lagermengen an zurückgegebenen Produkten im WZ bei $c_r = -28$, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung)

In den Perioden 2 – 5 fließen jeweils 8.099 P1- und P2-Produkte nach der Sichtprüfung im VSZ zum WZ, siehe Abbildung A.35 im Anhang A.5. Für die Demontage dieser P1- bzw. P2-Produkte in M1- und M2- bzw. M2- und M3-Komponenten und die Wiederaufbereitung dieser Komponenten werden 64.792 Arbeitsstunden pro Periode benötigt ($= 2$ (Benötigte Zeit für pro Komponente im WZ) $\cdot 16.198$ (Summe an zurückgegebenen P1-

und P2-Produkten, die pro Periode ins WZ fließen) $\cdot 2$ (Anzahl an Komponenten, die in einem P1- bzw. P2-Produkt enthalten sind)).

Da hier zur Vereinfachung angenommen wurde, dass der Personalbestand ein Vielfaches von $l_e = 1.610$ Stunden ist, ist ein Personalbestand, der 64.792 Arbeitsstunden pro Periode leistet, nicht möglich. Es kann so viel Personal angestellt und entlohnt werden, dass entweder 64.400 oder 66.010 Arbeitsstunden pro Periode im WZ vorhanden sind. Aus 64.400 Arbeitsstunden in den Perioden 2 – 5 folgt, dass nicht jedes zurückgegebene Produkt bearbeitet bzw. nicht jede Komponente aus den Produktrückgaben wiederaufbereitet und für die Produkterstellung genutzt werden kann. Dadurch entgehen dem Entscheider dementsprechend Subventionen für wiederaufbereitete Komponenten und stattdessen fallen entsprechende Entsorgungskosten für Produktrückgaben an.

Es ist jedoch ökonomisch sinnvoll, jedes verwertbare zurückgegebene Produkt zu bearbeiten. Bei einem Personalbestand von 66.010 Arbeitsstunden pro Periode im WZ könnte jede Produktrückgabe im WZ sofort demontiert und die daraus resultierenden Komponenten wiederaufbereitet werden, aber dann würden 1.218 Arbeitsstunden ($= 66.010$ (Verfügbare Arbeitsstunden des Personalbestands) $- 64.792$ (Tatsächlich benötigte Arbeitsstunden für Refabrikation)) in den Perioden 2 – 5 zu viel entlohnt.

Die Lohnkosten sind deutlich höher als die Kosten verbunden mit der Lagerung im WZ. Also gibt das FLCAPPR-Modell vor, dass in Periode 2 – 4 zurückgegebene Produkte im WZ gelagert anstatt zu Komponenten demontiert werden. In Abbildung 4.3 sind die Bearbeitungs- und Lagermengen an zurückgegebenen Produkten im WZ in Periode 2 – 5 dargestellt.

So werden 64.400 Arbeitsstunden in Periode 2 – 4 für die Refabrikation im WZ benötigt. Dann wird in Periode 5 der Personalbestand auf 66.010 Arbeitsstunden erhöht, damit die gelagerten Produkte zusätzlich zu den zurückfließenden Produkten der Periode 5 zu Komponenten demontiert und diese wiederaufbereitet werden können (siehe Abbildung 4.2). Die wiederaufbereiteten Komponenten werden in Periode 5 zum Werk transportiert und dort zur Produktmontage genutzt. Diese Zusammenhänge können nun durch die Erweiterung um Personalbestandsplanung erfasst werden.

Wenn gegenüber der Ausgangslösung mit $c_r = 0$ GE keine Lohnkosten berücksichtigt wer-

den, also $labcc_r = 0, \forall r \in R$, ist Refabrikation ökonomisch sinnvoll. (Im Gegensatz zur Lösung mit $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, werden nur einzelne zurückgegebene Produkte im WZ gelagert, sodass ganzzahlige Variablenwerte in der Lösung erreicht werden.) Das Netzwerk mit den offenen Standorten, ihren Kapazitäten und Arbeitsstunden für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, ist in Abbildung 4.4 dargestellt. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.36 im Anhang A.5 abgebildet.)

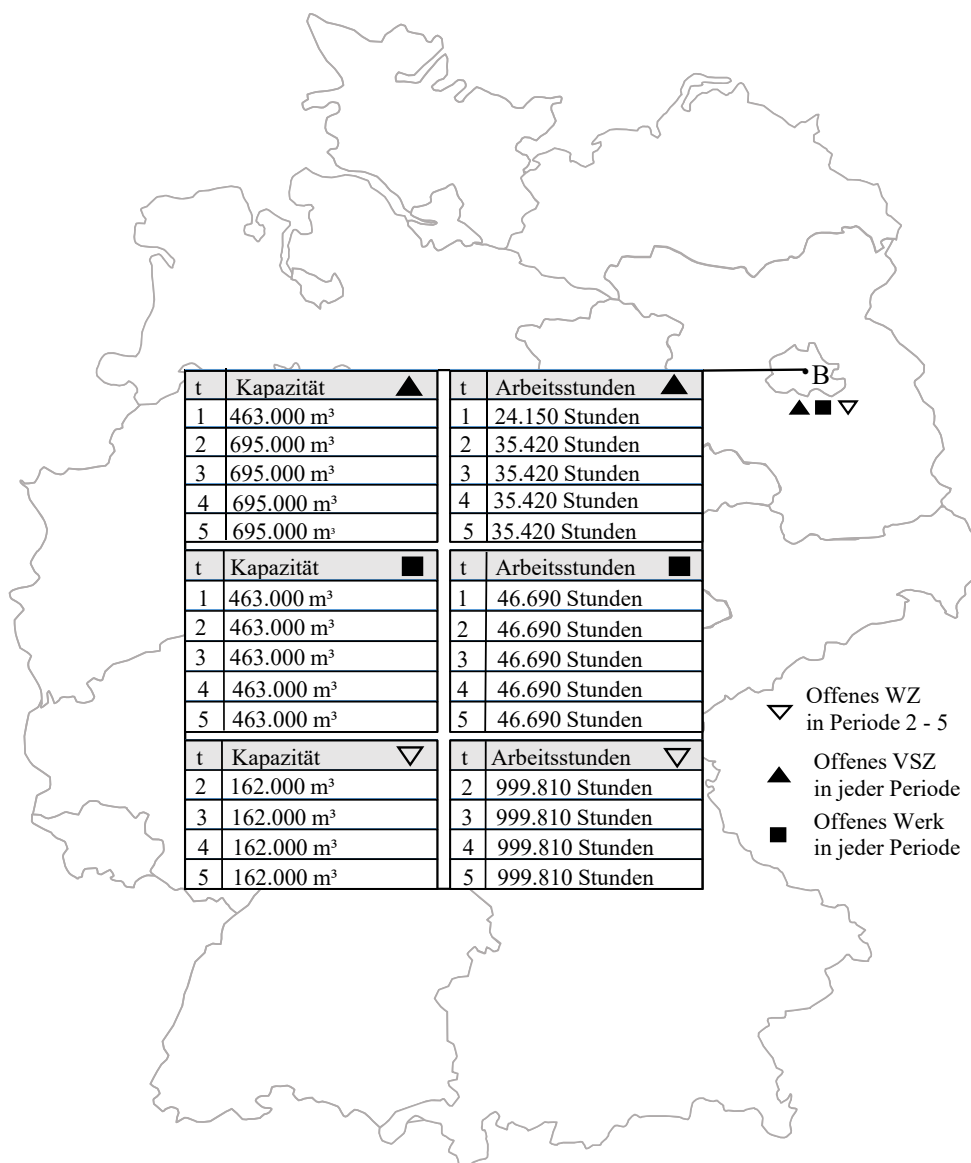


Abbildung 4.4: Optimale Standorte, Kapazitäten und Arbeitsstunden bei keinen Lohnkosten im WZ, $labcc_r = 0, \forall r \in R$ (Eigene Darstellung)

Da keine Lohnkosten im WZ anfallen, wird der maximal mögliche Personalbestand im WZ gewählt. Natürlich ist die Annahme von $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unrealistisch. Sobald Lohnkosten im WZ anfallen, also $labcc_r > 0, \forall r \in R$, ist die Entsorgung der zurückgegebenen Produkten ökonomisch sinnvoll. (Die Lösung entspricht dann der Ausgangslösung, siehe Abbildung A.34 im Anhang A.5.)

Durch die Erweiterung des FLCPR-Modells um Personalbestandsplanung zum FLCAPPR-Modell wird nun erfasst, dass für die Bearbeitung von Produktrückgaben Personal benötigt wird. Zudem wird erfasst, dass die Lagerung von Einheiten zur Verzögerung der Bearbeitung dieser Güter führt und darüber den Bedarf an Arbeitsstunden im Standort beeinflusst. Dagegen wurde im FLCPR-Modell durch die Lagerung von Gütern nur Kapazität im Standort gebunden, also die Lagerung nur als Alternative zum Transport abgebildet.

Bearbeitungszeiten im WZ wirken auf die Kosten verbunden mit Refabrikation ein und darüber auf die Entscheidung zur Refabrikation. Es wird hier unterstellt, dass die Bearbeitungszeit im WZ für alle Komponenten gleich hoch ist. Im Ausgangsbeispiel ist $dR_c = 2$ Stunden, $\forall c \in C$ und $labcc_r = 15$ GE, $\forall r \in R$, und Refabrikation muss mit $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, subventioniert werden, sodass die Bearbeitung von zurückgegebenen Produkten ökonomisch sinnvoll ist.

Bei höheren Bearbeitungszeiten muss die Subventionierung weiter ansteigen: Wenn die Bearbeitung einer Komponente (durchschnittlich) eine Stunde länger dauert, also $dR_c = 3$ Stunden muss $c_r = -(28 + 15 \text{ (Stundenlohn)}) = -43$ GE, $\forall r \in R$, betragen, sodass Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Nur dann sind die Kosteneinsparungen in der Beschaffung durch die Montage wiederaufbereiteter anstatt extern beschaffter Komponenten zu Produkten höher als die Kosten verbunden mit Refabrikation. (Die vollständige Lösung für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, ist in Abbildung A.37 im Anhang A.5 dokumentiert.)

Die Zeit für die Refabrikation einer Komponenten ist abhängig von den technischen Eigenschaften der Komponente selber und dem Zustand der zugehörigen Produktrückgabe, also nach der Nutzung durch Kunden. Zur Vereinfachung wurde in dieser Arbeit die Qualität der Produktrückgaben in der Modellierung vernachlässigt.

Wenn die Erhöhung der Bearbeitungszeit durch die Eigenschaften der Komponente verursacht wird, also unabhängig vom Zustand der Produktrückgabe ist, kann erwartet werden, dass auch ein Zulieferer mehr Zeit für die Herstellung der Komponente braucht. Daraus folgen höhere Beschaffungskosten gegenüber dem Ausgangsbeispiel. Dann sind wiederum weniger hohe Subventionen nötig, sodass Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die Erweiterung um Personalbestandsplanung die CLSCN-Planung verbessert wird, da nun die Einflüsse von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und verfügbarem Personal im WZ auf die Entscheidung zur Refabrikation erfasst werden.

Im Folgenden wird der Einfluss von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und die Verfügbarkeit von Personal in Werken und VSZ untersucht.

Einfluss der Personalbestandsplanung auf die Standortplanung

Im FLCAPPR-Modell wird der Einfluss von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und verfügbarem Personal auf die Standortplanung miteinbezogen. Die Lohnkosten in den Standorten sind für die Standortwahl entscheidungsrelevant: Wenn die Lohnkosten im Berliner VSZ oder Werk um eine Einheit höher als in den restlichen potentiellen VSZ bzw. Werken sind, also $labcc_B = 16$ GE für das Berliner VSZ bzw. Werk, dann soll ein VSZ in Hannover und ein Werk in Hamburg eröffnet werden. In Abbildung 4.5 sind die optimalen Standorte und Güterflüsse dargestellt.

Im Gegensatz zur Ausgangslösung werden das VSZ und Werk nicht in der gleichen Stadt eröffnet, um Transportkosten zwischen VSZ und Werk einzusparen. Das VSZ wird in der Stadt mit mehr Kundennähe und das Werk in der nächstgelegenen Stadt mit Zulieferer eröffnet. So werden die Transportkosten zwischen VSZ und Kunden und zwischen Zulieferer und Werk minimiert. (Die Lösung für $labcc_B = 16$ GE im Berliner VSZ bzw. Werk ist gleich; sie ist in Abbildung A.38 im Anhang A.5 dargestellt.)

Also wirken Lohn-, sowie Transportkosten auf die Standortwahl ein. Diese Zusammenhänge werden durch das FLCAPPR-Modell, also durch die gemeinsame Planung von Standorten, Kapazitäten, Produktion, Refabrikation, Transporten und Personalbeständen erfasst.

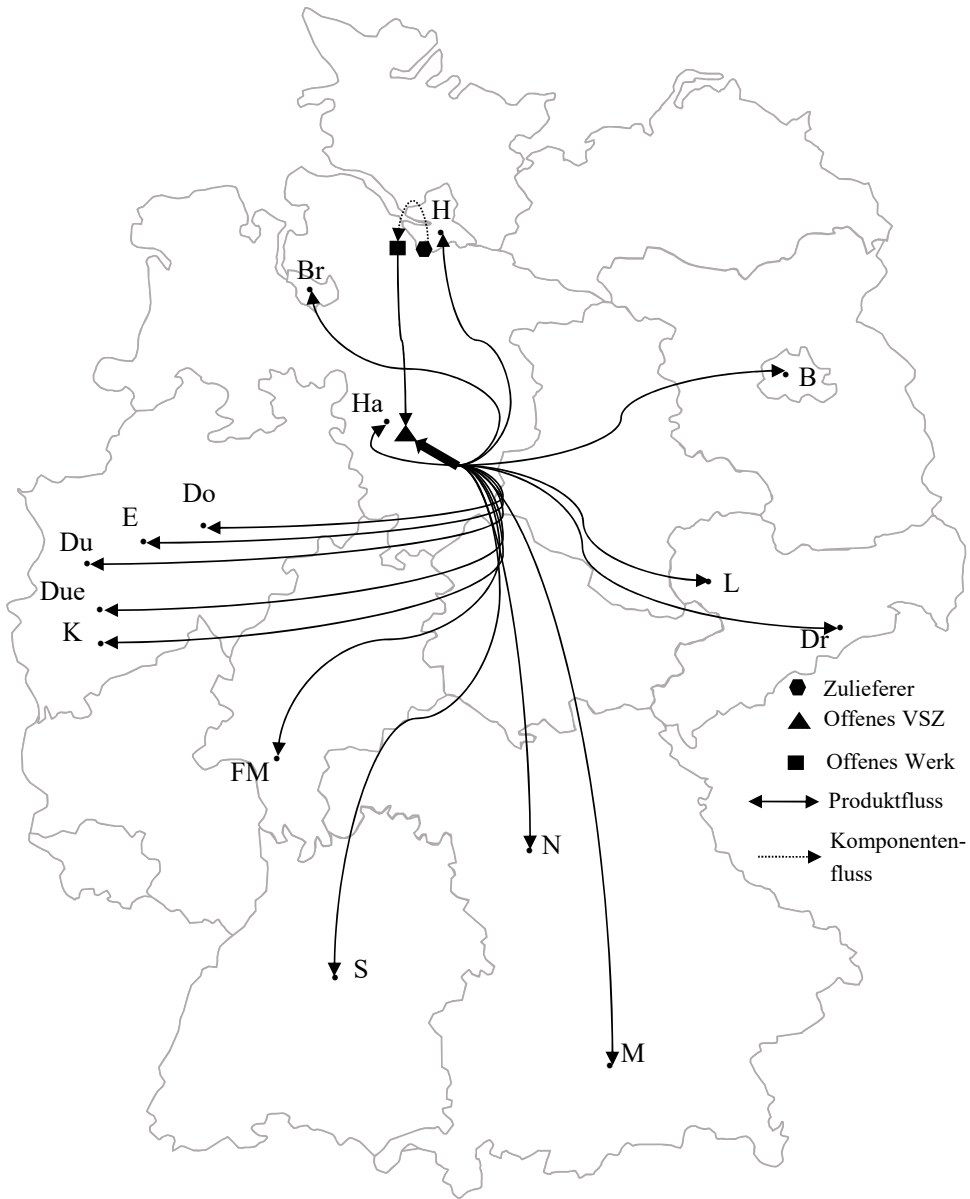


Abbildung 4.5: Optimale Standorte und Güterflüsse für $labcc_B = 16$ GE im Berliner VSZ bzw. Werk (Eigene Darstellung)

Bearbeitungszeiten wirken auf die Kosten verbunden mit der Erstellung von Gütern ein und müssen daher in der CLSC-Planung berücksichtigt werden. Wenn $dF_p = 21$ Stunden anstatt $dF_p = 1$ Stunde, $\forall p \in P$, wie im Ausgangsbeispiel, dann steigen die Kosten für die Befriedigung der gesamten Nachfrage so stark an, dass ein Teil der Nachfrage unbefriedigt bleibt. Da die Entfernung zwischen Stuttgart und Berlin die längste Strecke

zwischen einem Kunden und dem VSZ im Netzwerk ist, sind die Transportkosten und damit die Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage von Kunden in Stuttgart am höchsten. Daher bleibt bei $dF_p = 21$ Stunden, $\forall p \in P$, ein Teil der Nachfrage in Stuttgart unbefriedigt. (In Abbildung A.39 im Anhang A.5 ist die vollständige Lösung dargestellt.)

Ab $dF_p = 29$ bzw. $dV_p = 25$ Stunden, $\forall p \in P$, sind die Gesamtkosten für die Erstellung und den Absatz von Gütern durch die gestiegenen Bearbeitungszeiten so hoch, dass keine Nachfrage mehr befriedigt wird. (Die Lösungen für $dF_p = 29$ und $dV_p = 25$ Stunden, $\forall p \in P$, sind gleich und in Abbildung A.40 im Anhang A.5 dokumentiert.) Also beeinflussen neben Lohn- und Transportkosten auch Bearbeitungszeiten die Entscheidung, ob Nachfrage befriedigt wird. Diese wechselseitigen Abhängigkeiten werden im Gegensatz zur separaten Planung durch das APPR-Modell und FLCPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 bzw. 3.2.2 durch die gemeinsame Planung im FLCAPPR-Modell nun erfasst.

Die Bearbeitungszeiten $dF_p = 29$ bzw. $dV_p = 25$ Stunden, $\forall p \in P$, erscheinen für einen Kopierer sehr hoch. Allerdings ist zu beachten, dass die Produktion im FLCAPPR-Modell aggregiert abgebildet wird, wie in Abschnitt 3.1.2 erläutert wurde. D.h. die einzelnen Schritte der Bearbeitung im VSZ und Werk werden nicht einzeln mathematisch abgebildet und mit Bearbeitungszeiten gewichtet, da keine Ablaufplanung durch das FLCAPPR-Modell stattfindet. So kann die Bearbeitungszeit in einem Standort mehrere Bearbeitungsschritte enthalten; sie umfasst die Zeit, bevor eine Einheit den Standort verlässt oder gelagert wird.

Der Personalbestand in einem Standort kann durch die Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften oder durch die Standortgröße begrenzt werden. Weniger maximal mögliche Arbeitsstunden pro VSZ bzw. Werk führen zu weiteren Standorteröffnungen dieses Typs und die Gesamtkosten steigen gegenüber der Ausgangslösung an, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 für die obere (Volumen-)Kapazitätsgrenze eines Standorts festgestellt werden konnte. Für z.B. $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, anstatt 1.000.000 Stunden, wie im Ausgangsbeispiel, wird ein Werk in Hamburg und Berlin und ein VSZ in Berlin eröffnet. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.42 im Anhang A.5 dargestellt.)

D.h. Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und in Standorten verfügbares Personal beeinflussen

nicht nur die Bearbeitungsmengen in Standorten, sondern auch die Standortplanung im Netzwerk eines produzierenden Unternehmens und müssen daher bei der SC-Planung berücksichtigt werden.

Fazit und Ausblick

Die Erweiterung des FLCPR-Modells um Personalbestandsplanung führt zum FLCAPPR-Modell, dass nun neben Standorten, Kapazitäten, Transport-, Bearbeitungs-, Lager- und Beschaffungsmengen auch Personalbestände in Standorten im CLSCN über einen langfristigen Planungshorizont optimal plant. Dadurch wird im Gegensatz zum FLCPR-Modell die Lagerung von Einheiten nicht nur als zeitliche Verzögerung der Bearbeitung oder Transport und Bindung von Kapazität, sondern auch mit dem entsprechenden Einfluss auf den Personalbedarf im Standort erfasst, wie anhand der Lösungen des FLCAPPR-Modells gezeigt werden konnte.

Mit dem FLCAPPR-Modell kann außerdem der Einfluss von Bearbeitungszeiten für Produktrückgaben, von Lohnkosten und der Verfügbarkeit von Personal in WZ auf die Entscheidung zur Refabrikation beobachtet werden. Die Kosten verbunden mit Refabrikation enthalten nach dem FLCAPPR-Modell zusätzlich die mit Bearbeitungszeiten gewichteten Lohnkosten. Daher müssen die Kostenersparnisse durch die Montage wiederaufbereiteter anstatt neuer Komponenten zu nachgefragten Produkten höher sein als im FLCPR-Modell aus Abschnitt 3.2.2; sie müssen nun auch die mit Bearbeitungszeiten gewichteten Lohnkosten übersteigen.

Zudem muss auch ausreichend Personal in einem WZ vorhanden sein, um so viele zurückgegebene Produkte bearbeiten zu können, dass die Kostenersparnisse in der Beschaffung die Kosten verbunden mit Refabrikation übersteigen. Nur dann ist Refabrikation ökonomisch sinnvoll.

Weiterhin zeigte die Sensitivitätsanalyse des FLCAPPR-Modells, dass die Lohnkosten und die Verfügbarkeit von Personal auf die Standortwahl einwirken. Also müssen diese Aspekte bei der Planung der SC eines produzierenden Unternehmens berücksichtigt werden. Außerdem kann mit dem FLCAPPR-Modell bestimmt werden, wie lange und viel

die Montage im Werk und das Umschlagen im VSZ für ein nachgefragtes Produkt dauern bzw. kosten darf, sodass es ökonomisch sinnvoll ist, diese Produkt-Nachfrage zu befriedigen.

Dabei ist neben den Lohnkosten und der Bearbeitungszeit die Entfernung des Kunden zum VSZ entscheidend dafür, ob das nachgefragte Produkt erstellt und zum Kunden transportiert wird. D.h. die Standort-, Kapazitäts-, Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung hängen zusammen; diese wechselseitigen Abhängigkeiten werden in der Planung vom FLCAPPR-Modell erfasst.

Die Lösungen des FLCAPPR-Modells zeigen, dass der Personalbestand als taktische Kapazität nicht nur die Produktionsplanung, sondern auch die Standortwahl, die Ausstattung der Standorte mit Kapazitäten und Transportmengen im CLSCN beeinflusst. Also hängen die taktische und strategische Planungsebene der CLSC zusammen und müssen auch gemeinsam geplant werden.

Die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung werden im FLCAPPR-Modell auf einer strategischen Ebene kombiniert; so haben alle Entscheidungen ausschließlich langfristige Entscheidungszeitpunkte. Allerdings wird die Produktionsplanung mit dem APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 und die Standort- und Transportplanung durch das diskrete Standortplanungsmodell (siehe Abschnitt 2.2.1) unabhängig voneinander durchgeführt. Nach dem SCM werden die Planungen ebenso in unterschiedliche Ebenen mit verschiedenen, strategischen und taktischen Planungshorizonten eingeteilt, wie bereits in Abschnitt 2.1.2 erläutert.

Daher wird im folgenden Abschnitt untersucht, wie die CLSCN-Planung durch die Erweiterung des FLCAPPR-Modells um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte verbessert werden kann.

4.2 Kombinierte Planung auf zwei Planungsebenen

In diesem Abschnitt soll das (strategische) FLCAPPR-Modell so erweitert werden, dass die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung mit ihren jeweiligen Entscheidungszeitpunkten in der Planung erfasst werden. Zunächst wird eine sinnvolle Einteilung der Planungen zu langfristigen und mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten für den in dieser Arbeit untersuchten CLSC diskutiert.

Dann wird das FLCAPPR-Modell um eine taktische Planungsebene erweitert und das „Two-level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“ (FLCAPPTR2)-Modell resultiert. Dieses Modell wird wiederum mit den Daten des Kopiergeräteherstellers gelöst und es wird untersucht, ob diese Erweiterung zu einer Verbesserung der CLSC-Planung führt.

4.2.1 Einteilung der Planungsprobleme

Grundsätzlich können die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung, also Planungen der strategischen und taktischen SC-Ebene zusammen simultan oder sequenziell geplant werden, z.B. rollierend, wie in Jang et al. (2002)[94] vorgestellt. Da die bisherigen Ergebnisse in dieser Arbeit jedoch einen wechselseitigen Zusammenhang zwischen den Planungen zeigen, der nur durch einen gemeinsamen und simultanen Planungsansatz erfasst wird, wird hier zur kombinierten Planung der beiden Ebenen ein gleichzeitiger anstatt sequenzieller Ansatz verfolgt.

In Salema et al. (2009)[151] wird ein CLSC-Planungsansatz präsentiert, der zwei unterschiedliche, aber zusammenhängende Planungsebenen berücksichtigt. In [151] geben die langfristigen Entscheidungen über Standorteröffnungen den Entscheidungen über Lagerhaltung und Transport von Produkten offene Standorte vor. In dieser Arbeit sind ebenfalls langfristige Entscheidungen den weiteren Entscheidungen zu mittelfristigen Zeitpunkten übergeordnet.

Allerdings hat die zweite Planungsebene in [151] im Gegensatz zu dieser Arbeit keinen mittelfristigen, sondern einen kurzfristigen Planungshorizont. Dieser besteht aus Wochen

und Tagen anstatt Monaten. So wird die Nutzungsdauer von Produkten durch Kunden in [151] in Tagen oder Wochen anstatt Jahren gemessen. Wie bereits in Kapitel 2 diskutiert, beträgt die Nutzungsdauer eines Produkts bei Refabrikation jedoch Jahre anstatt wie z.B. bei Reparatur Tage oder Wochen. (Die Refabrikation ist eine aufwendige Wiederaufbereitungsform, daher ist nach einer kurzen Nutzungsdauer von z.B. Tagen der direkte Wiederverkauf oder eine Reparatur von zurückgegebenen Produkten ökonomisch sinnvoll [105].)

Außerdem unterstellen [151] sog. Transferzeiten, also zeitliche Verzögerungen durch die Bearbeitung und den Transport von Einheiten. Bei einem mittelfristigen Planungshorizont können solche Verzögerungen vernachlässigt werden. Eine mittelfristige Periode, wie ein Monat, ist ausreichend lang, sodass Einheiten zwischen Standorten im Netzwerk transportiert und in Standorten bearbeitet werden können.

Weiterhin wird in [151] im Gegensatz zu dieser Arbeit keine Transformation von Produktionsinput zu Produkten oder Refabrikation auf Komponentenebene abgebildet, ebenso wird keine Kapazitäts- und Personalbestandsplanung durchgeführt. Außerdem ist die Fertigung in [151] nicht auftragsbezogen, d.h. eine Lagerung von (End-)Produkten ist möglich und das untersuchte Netzwerk, sowie die Planungsziele, unterscheiden sich vom Entscheidungsproblem dieser Arbeit. Daher wird im Folgenden das FLCAPPR-Modell um eine taktische Planungsebene weiterentwickelt, die der strategischen Ebene untergeordnet ist. Zunächst wird diskutiert, wie die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung sinnvoll der strategischen und taktischen Planungsebene zugeordnet werden können.

Das FLCAPPR-Modell stellt eine Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells dar und plant Standorte, Kapazitäten, Personalbestände, Produktion und Transporte zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten. Das diskrete Standortplanungsmodell basiert wiederum auf dem Transportmodell, wie in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt und im diskreten Standortplanungsmodell werden die Transportmengen zusammen mit Standorten zu gemeinsamen Entscheidungszeitpunkten geplant. Das APPR-Modell aus Abschnitt 3.1.2 bildet die Produktion mit Refabrikation unter Einhaltung des vorgegeben Personalbestands ab.

Im SCM werden Entscheidungen bzgl. der Netzwerk-Gestaltung der strategischen Planungsebene zugeordnet. Das SCM teilt die aggregierte Produktionsplanung der taktischen Planungsebene zu, wie in Abschnitt 2.1.2 vorgestellt. Zudem ist die Transportplanung nach dem SCM ebenfalls Teil der taktischen SC-Ebene. Nun wird die Einteilung der Planungen zur strategischen oder taktischen SC-Ebene für das Entscheidungsproblem dieser Arbeit diskutiert.

Eine hierarchische Einteilung der Standort-, Kapazitäts- und Transportplanung zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten, die der Produktions- und Personalbestandsplanung zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten ein kapazitiertes Netzwerk mit Transportmengen vorgibt, ist hier nicht sinnvoll, wie nun erläutert wird.

Dieser Einteilung folgend wird Nachfrage durch Transporte von offenen VSZ ausschließlich zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten befriedigt. Daraus folgt, dass nachgefragte Produkte zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten im Werk und VSZ hergestellt bzw. umgeschlagen werden können und danach gelagert werden müssten, bevor sie zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten im Netzwerk transportiert werden. Die Fertigung in dieser Arbeit untersuchten CLSC ist jedoch auftragsbezogen, also können keine Produkte gelagert werden.

Zudem werden Entsorgungs- und Beschaffungsmengen als Transporte zwischen Zulieferern und Werken bzw. zwischen WZ oder VSZ und dem Entsorgungsstandort dargestellt und es wird erfasst, dass sie nur zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten stattfinden. Eine Lagerung von Komponenten im Werk und von Produktrückgaben im WZ führt zu zusätzlichen Lagerhaltungskosten; da das Ziel des Entscheidungsproblems Kostenminimierung ist, findet sie bei dieser Einteilung der Planungen und auftragsbezogener Fertigung nicht statt.

Eine Bearbeitung von Produktrückgaben im WZ zu mittelfristigen Perioden mit anschließender Lagerung ist nur sinnvoll, wenn sich der Personalbestand oder Lohnkosten im WZ innerhalb einer langfristigen Periode verändern. Dieser Fall wird hier nicht berücksichtigt. Folglich findet bei Standort-, Kapazitäts- und Transportplanung zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten und Produktions- und Personalbestandsplanung zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten keine Bearbeitung oder Lagerung von Einheiten im Netzwerk

in den mittelfristigen Perioden der langfristigen Periode statt.

So bleiben auch die Standorte, Kapazitäten und das Personal, das im Werk, VSZ und WZ zur Befriedigung der Nachfrage bzw. Einsammeln und Bearbeiten der Produktrückgaben benötigt wird, gegenüber dem FLCAPPR-Modell unverändert. Also hat diese Einteilung der Planungen keinen Einfluss auf den CLSC. Daher wird das FLCAPPR-Modell um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte für die Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung zum „Two-level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“ (FLCAPPTR2)-Modell erweitert. Dieses Modell wird nun vorgestellt.

4.2.2 Kombinierte Standort-, Kapazitäts-, Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung einer Closed-Loop Supply Chain auf zwei Planungsebenen

Im FLCAPPTR2-Modell findet die Transportplanung gemeinsam mit der Produktions- und Personalbestandsplanung auf der taktischen Ebene statt. D.h. Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen und Personalbestände in Standorten werden in jeder mittelfristigen Periode θ einer langfristigen Periode t optimal bestimmt, wie in Abbildung 4.6 dargestellt. Dabei geben die strategische Standort- und Kapazitätsplanung den Fluss-, Bearbeitungs- und Lagermengen und Personalbeständen offene Standorte und Kapazitäten vor.

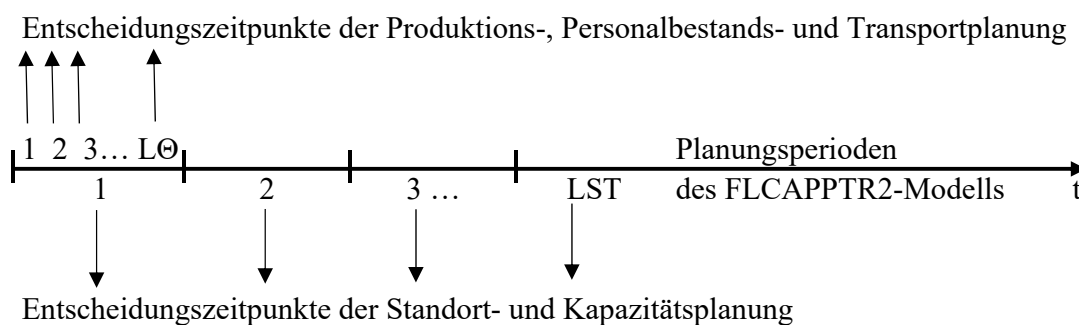


Abbildung 4.6: Planungshorizont und Entscheidungszeitpunkte des FLCAPPTR2-Modells (Eigene Darstellung)

Außerdem kann nun in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode Nachfrage befriedigt werden oder unbefriedigt bleiben. Zudem können zurückgegebene Produkte in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode im VSZ eingesammelt werden. Die Tabellen 4.3 und 4.4 enthalten die Definitionen, die durch die Erweiterung um eine taktische Planungsebene neu hinzukommen oder verändert werden müssen. Die Parameter und Variablen bzgl. der Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung werden jetzt für jede mittelfristige Periode θ in jeder langfristigen Periode t definiert.

Tabelle 4.3: Relevante Definitionen für FLCAPPTR2-Modell¹²

Variable	Definition
$Cap_{\theta t}^y$	Anzahl an Volumen-Kapazitätsschritten im offenen Standort y in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t (in m^3), $\forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST$
$EXI_{x\theta t}^{yw}$	Anzahl an x transportiert von Standort y zu Standort w auf der gleichen Netzwerkebene in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y, w \in F \cup V \cup R : y \neq w, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$I_{c\theta t}^f$	Menge von c verbleibend im Lager von Werk f am Ende der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall f \in F, c \in C, \theta \in \Theta, t \in ST$
$I_{x\theta t}^r$	Menge von x verbleibend im Lager von WZ r am Ende der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall r \in R, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$LCap_{\theta t}^y$	Verfügbarer Personalbestand an Standort y in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST$
$U_{\theta t}^{kp}$	Unbefriedigte Nachfrage von Kunde k nach Produkt p in der mittelfristigen Periode θ in der langfristigen Periode t , $\forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$X_{x\theta t}^y$	Anzahl an x bearbeitet in Standort y in der mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t , $\forall y \in F \cup R, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$X_{x\theta t}^{yw}$	Anzahl an x transportiert von Standort y zu Standort w in der mittelfristigen Periode θ der strategischen Periode t , $\forall y, w \in FD \cup V \cup RD \cup Z : y \neq w, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST$
Parameter	Definition
$h_r^{x\theta}$	Kosten pro mittelfristige Periode θ für die Lagerung einer Einheit von x im WZ r , $\forall \theta \in \Theta, r \in R, x \in C \cup P$
$h_f^{c\theta}$	Kosten pro mittelfristige Periode θ für die Lagerung einer Komponente c im Werk f , $\forall \theta \in \Theta, f \in F, c \in C$

¹²Zusätzliche und veränderte Definitionen zu Kapitel 2, 3 und Tabelle 4.1

Tabelle 4.4: Relevante Definitionen für FLCAPPTR2-Modell, fortführend

Parameter	Definition
$le\theta$	Arbeitsstunden pro Arbeitskraft in einer mittelfristigen Periode θ
$L\theta ST$	Letzte mittelfristige Planungsperiode in einer langfristigen Periode
$md_{\theta t}$	Anteil an zurückgegebenen Produkten, der nach der Sichtprüfung in der mittelfristigen Periode θ in der langfristigen Periode t mindestens zu entsorgen ist, $\forall \theta \in \Theta, t \in ST$
$N_{\theta t}^{kp}$	Nachfrage von Kunde k nach Produkt p in der mittelfristigen Periode θ in der langfristigen Periode t , $\forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST$
$rg_{kp\theta s}^t$	Rückgaberate von Kunde k für Produkt p in der mittelfristigen Periode θ in der langfristigen Periode t , welches in der langfristigen Periode s verkauft wurde, $\forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$

Das gesamte FLCAPPTR2-Modell ist im Anhang in Abschnitt A.6 aufgeführt; hier werden nur die Veränderungen gegenüber dem vorherigen FLCAPPR-Modell aufgeführt. Die Zielfunktion des FLCAPPTR2-Modells setzt sich aus den Funktionen ZF_{FLC} und $ZF_{TacAPWTR}$ zusammen, die im Folgenden erklärt werden.

$$\min ZF_{FLCAPPTR2} = ZF_{FLC} + ZF_{TacAPWTR}$$

mit

$$\begin{aligned}
ZF_{FLC} = & \sum_{t \in ST} \left(\left(1/(1+\alpha)^t \right) \cdot \left(\sum_{r \in R} f_r \cdot Y_{Et}^r + \sum_{v \in V} f_v \cdot Y_{Et}^v + \sum_{f \in F} f_f \cdot Y_{Et}^f \right. \right. \\
& + \sum_{r \in R} f_t^r \cdot Y_t^r + \sum_{v \in V} f_t^v \cdot Y_t^v + \sum_{f \in F} f_t^f \cdot Y_t^f \\
& + \sum_{r \in R} sf_r \cdot H_t^r + \sum_{v \in V} sf_v \cdot H_t^v + \sum_{f \in F} sf_f \cdot H_t^f \\
& + e \cdot \left(\sum_{r \in R} fcap_r^{Cost} \cdot CCapU_t^r + \sum_{f \in F} fcap_f^{Cost} \cdot CCapU_t^f + \sum_{v \in V} fcap_v^{Cost} \cdot CCapU_t^v \right. \\
& \left. \left. + \sum_{r \in R} fcap_r^{Rev} \cdot CCapD_t^r + \sum_{f \in F} fcap_f^{Rev} \cdot CCapD_t^f + \sum_{v \in V} fcap_v^{Rev} \cdot CCapD_t^v \right) \right) \Big) \Big)
\end{aligned} \tag{4.8}$$

und

$$\begin{aligned}
 ZF_{TacAPWTR} = & \sum_{t \in ST} \left(\left(1/(1+\alpha)^t \right) \cdot \sum_{\theta \in \Theta} \left(le\theta \cdot \left(\sum_{r \in R} labcc_r^{Cost} \cdot LCap_{\theta t}^r \right. \right. \right. \\
 & + \sum_{f \in F} labcc_f^{Cost} \cdot LCap_{\theta t}^f + \sum_{v \in V} labcc_v^{Cost} \cdot LCap_{\theta t}^v \Bigg) \\
 & + \sum_{r \in R, c \in C} c_r \cdot X_{c\theta t}^r + \sum_{f \in F, p \in P} c_f \cdot X_{p\theta t}^f \\
 & + \sum_{r \in R} \left(\sum_{p \in P} h_r^{p\theta} \cdot I_{p\theta t}^r + \sum_{c \in C} h_r^{c\theta} \cdot I_{c\theta t}^r \right) + \sum_{f \in F, c \in C} h_f^{c\theta} \cdot I_{c\theta t}^f \\
 & + c^{DEnt} \cdot \left(\sum_{v \in V, p \in P} X_{p\theta t}^{vD} + \sum_{r \in R, c \in C} X_{c\theta t}^{rD} \right) \\
 & + \sum_{z \in Z, c \in C, f \in F} (c_{zf}^c \cdot t_{zf}^c + c_z^c) \cdot X_{c\theta t}^{zf} + \sum_{r \in R, c \in C, f \in F} c_{rf}^c \cdot t_{rf}^c \cdot X_{c\theta t}^{rf} \\
 & + \sum_{f \in F, v \in V, p \in P} c_{fv}^p \cdot t_{fv}^p \cdot X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{vk}^p \cdot t_{vk}^p \cdot X_{p\theta t}^{vk} \\
 & + \sum_{k \in K, p \in P} c_k^U \cdot U_{\theta t}^{kp} \\
 & + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{kv}^p \cdot t_{kv}^p \cdot X_{p\theta t}^{kv} + \sum_{v \in V, r \in R, p \in P} c_{vr}^p \cdot t_{vr}^p \cdot X_{p\theta t}^{vr} \\
 & + \sum_{c \in C, r, s \in R: r \neq s} c_{rs}^c \cdot t_{rs}^c \cdot EXI_{c\theta t}^{rs} + \sum_{p \in P, r, s \in R: r \neq s} c_{rs}^p \cdot t_{rs}^p \cdot EXI_{p\theta t}^{rs} \\
 & + \sum_{c \in C, f, i \in F: f \neq i} c_{fi}^c \cdot t_{fi}^c \cdot EXI_{c\theta t}^{fi} + \sum_{p \in P, v, j \in V: v \neq j} c_{vj}^p \cdot t_{vj}^p \cdot EXI_{p\theta t}^{vj} \Bigg) \\
 & + \left(1/(1+\alpha)^{LST} \right) \cdot \left(\sum_{f \in F, c \in C} sh_f^c \cdot EI_c^f + \sum_{r \in R} \left(\sum_{p \in P} sh_r^p \cdot EI_p^r + \sum_{c \in C} sh_r^c \cdot EI_c^r \right) \right)
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Die Kosten der strategischen Planungsebene werden durch die Funktion ZF_{FLC} erfasst, wobei FLC für „Facility Location Capacity“ steht. Die Funktion ZF_{FLC} beinhaltet nur die Kosten der mehrperiodigen Standort- und Kapazitätsplanung. Diese Kostenterme sind bereits beim FLCPR-Modell in Abschnitt 3.2.2 aufgeführt und erklärt worden, daher wird hier auf eine weitere Erläuterung verzichtet.

Die Kosten der taktischen Planungsebene werden durch die Funktion $ZF_{TacAPWTR}$ angegeben, wobei TacAPWTR für „Tactical Aggregate Production Workforce Transpor-

tation Remanufacturing“ steht. Die einzelnen Terme wurden bereits beim FLCPR- und FLCAPPR-Modell in Abschnitt 3.2.2 bzw. 4.1 ausführlich beschrieben, daher werden hier nur die Veränderungen vorgestellt.

Nun können Einheiten in jeder mittelfristigen Periode θ einer langfristigen Periode t bearbeitet, gelagert, entsorgt, beschafft und transportiert werden. Für die Bearbeitung von Einheiten in Standorten fallen Lohnkosten an, die in den ersten beiden Zeilen stehen. Die Bearbeitungs-, Lager- und Entsorgungskosten sind in Zeile 3 – 5 aufgeführt. Die Transportkosten für Komponenten von Zulieferern und WZ zu Werken und die Beschaffungskosten von Komponenten stehen in Zeile 6. Die Transportkosten für den vor- und rückwärtsgerichteten Produktfluss werden durch die Terme in Zeile 7 bzw. 9 erfasst.

Nachfrage kann in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode befriedigt werden oder nicht; die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse für unbefriedigte Nachfrage sind in Zeile 8 angegeben. In den Zeilen 10 und 11 stehen die Kosten für den Transport von Einheiten zwischen Standorten auf einer Netzwerkebene. Die Entsorgungskosten der Endlagerbestände werden durch die Terme in der letzten Zeile erfasst.

Nun werden die Nebenbedingungen des FLCAPPTR2-Modells vorgestellt und erläutert.

Die Standort- und Kapazitätsplanung findet, wie im FLCPR- und FLCAPPR-Modell, auf der strategischen Planungsebene statt. Daher können folgende Nebenbedingungen des FLCPR-Modells aus Abschnitt 3.2.2 übernommen werden:

- Die Nebenbedingungen (3.38) – (3.42) definieren die mehrperiodige Standortplanung.
- Die Nebenbedingungen (3.69) – (3.76) stehen für die Begrenzung der Kapazität der offenen Standorte durch obere und untere Grenzen, für die Veränderung der Kapazität und Zuweisung von Kapazitätsaufbau und -abbau zu den entsprechenden Variablen.

Die Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung haben nun mittelfristige Entscheidungszeitpunkte. Daher müssen Nebenbedingungen des FLCAPPR-Modells angepasst werden und neue Nebenbedingungen kommen hinzu; sie werden nun vorgestellt. (Das vollständige FLCAPPTR2-Modell findet sich in Anhang A.6.)

Die folgenden Nebenbedingungen (4.10) – (4.17) planen die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse im Netzwerk in jeder mittelfristigen Periode θ jeder langfristigen Periode t .

$$N_{kp\theta t} - \sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{vk} = U_{\theta t}^{kp} \quad \forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.10)$$

Produkte fließen in jeder mittelfristigen Periode θ von t über VSZ zu Kunden. Wenn die Kunden-Nachfrage in einer mittelfristigen Periode θ von t durch diese Produkte nicht vollständig befriedigt wird, bleibt sie unbefriedigt und wird durch die Nebenbedingungen (4.10) der Variable $U_{\theta t}^{kp}$ zugewiesen.

$$\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{kv} = 0 \quad \forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in \{1, \dots, Mindest - 1\} \quad (4.11)$$

Vor Ende der Mindest-Nutzungsdauer von $Mindest - 1$ (langfristigen) Perioden werden keine gebrauchten Produkte zur Refabrikation gesammelt.

$$\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{kv} = \sum_{s=1}^t \left(r g_{kp\theta s}^t \cdot \sum_{v \in V, \theta \in \Theta} X_{p\theta s}^{vk} \right) \quad (4.12)$$

$$\forall t \in \{Mindest, \dots, LST\}, \theta \in \Theta, k \in K, p \in P$$

Nach der Mindest-Nutzungsdauer können Kunden ihre Produkte in VSZ in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode zurückgeben.

$$\sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{kv} = \sum_{r \in RD} X_{p\theta t}^{vr} \quad \forall v \in V, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.13)$$

In jeder mittelfristigen Periode θ in t fließen zurückgegebene Produkte von VSZ zu WZ oder zur Entsorgungseinheit.

$$\sum_{f \in F} X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{p\theta t}^{jv} = \sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{vk} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{p\theta t}^{vj} \quad \forall v \in V, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.14)$$

Alle Produkte, die in einer mittelfristigen Periode in ein VSZ hineinfließen, fließen in dieser Periode auch wieder heraus.

$$\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{fv} = X_{p\theta t}^f \quad \forall f \in F, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.15)$$

Produkte, die in einem Werk in einer mittelfristigen Periode in t montiert werden, fließen in der gleichen mittelfristigen Periode weiter zu VSZ.

$$X_{p\theta t}^{vD} \geq md_{\theta t} \cdot \sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{kv} \quad \forall v \in V, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.16)$$

$$md^c \cdot X_{c\theta t}^r \leq X_{c\theta t}^{rD} \quad \forall r \in R, c \in C, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.17)$$

Zurückgegebene Produkte, die die Sichtprüfung im VSZ nicht bestehen, und wiederaufbereitete Komponenten, die durch Refabrikation keinen neuwertigen Zustand erreichen, werden in jeder mittelfristigen Periode von t entsorgt, wie durch die Nebenbedingungen (4.16) bzw. (4.17) vorgegeben.

Die Nebenbedingungen (4.18) – (4.36) definieren die Produktions- und Personalbestandsplanung zu taktischen Entscheidungszeitpunkten.

$$X_{c\theta t}^r = \sum_{p \in P} a_{cp} \cdot X_{p\theta t}^r \quad \forall r \in R, c \in C, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (4.18)$$

$$X_{c\theta t}^f = \sum_{p \in P} b_{cp} \cdot X_{p\theta t}^f \quad \forall f \in F, c \in C, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.19)$$

Die Nebenbedingungen (4.18) und (4.19) geben an, wie viele Komponenten in jeder mittelfristigen Periode θ der langfristigen Periode t im WZ aus zurückgegebenen Produkten gewonnen bzw. im Werk zu Produkten montiert werden.

$$\sum_{c \in C} dR_c \cdot X_{c\theta t}^r \leq le\theta \cdot LCap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (4.20)$$

$$\sum_{p \in P} dF_p \cdot X_{p\theta t}^f \leq le\theta \cdot LCap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.21)$$

$$\sum_{p \in P} dV_p \cdot \sum_{k \in K} \left(X_{p\theta t}^{kv} + X_{p\theta t}^{vk} \right) \leq le\theta \cdot LCap_{\theta t}^v \quad \forall v \in V, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.22)$$

Die Arbeitsstunden, die für die Bearbeitung von Einheiten im WZ, Werk und VSZ in der mittelfristigen Periode θ in t gebraucht werden, dürfen nach den Nebenbedingungen (4.20) – (4.22) die dort verfügbaren Arbeitsstunden nicht übersteigen.

$$LCap_{\theta t}^y \leq LCapT_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.23)$$

$$le \cdot LCapT_t^y \leq LabCap_{yt}^O \cdot Y_t^y \quad \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \quad (4.24)$$

Die strategische Standortplanung gibt der taktischen Personalbestandsplanung offene Standorte vor. Dieser Zusammenhang wird durch die Nebenbedingungen (4.23) und (4.24) definiert.

Die Nebenbedingungen (4.23) geben dem taktischen Personalbestand die obere Grenze an verfügbarem Personal in offenen Standorten vor. Diese Grenze wird durch die Variablen angegeben, die in den Nebenbedingungen (4.24) bestimmt werden. Wenn ein Standort offen ist, gibt diese Variable die obere Grenze an verfügbarem Personal im jeweiligen offenen Standort wieder.

Sonst nimmt diese Variable den Wert Null an (in Verbindung mit den Variableneigenschaften von $LCapT_t^y$, die unten definiert werden) und kein Personal wird in diesem Standort geplant.

Im Gegensatz zu den bisherigen Modellen fließen Einheiten nun in jeder mittelfristigen Periode in t im Netzwerk und können die Lagerbestände im WZ und Werk verändern; die Nebenbedingungen (4.25) – (4.36) geben die Lagerbestände im Werk und WZ über den Planungshorizont an.

$$I_{x\theta t}^r = 0 \quad \forall r \in R, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in \{1, \dots, Mindest - 1\} \quad (4.25)$$

Es gibt keine rückwärtsgerichteten Produktflüsse vor Ende der minimalen Nutzungsdauer; daher kann auch keine Lagerung von Einheiten im WZ in Perioden vor Ende der minimalen Nutzungsdauer, also in $t \in \{1, \dots, Mindest - 1\}$ stattfinden.

$$\begin{aligned}
 I_{p1Mindest}^r &= \sum_{v \in V} X_{p1Mindest}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{p1Mindest}^{sr} \\
 &- \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{p1Mindest}^{rs} - X_{p1Mindest}^r \quad \forall r \in R, p \in P
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

$$\begin{aligned}
 I_{p1t}^r &= I_{pLSTt-1}^r + \sum_{v \in V} X_{p1t}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{p1t}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{p1t}^{rs} - X_{p1t}^r \\
 &\forall r \in R, p \in P, t \in \{Mindest + 1, \dots, LST\}
 \end{aligned} \tag{4.27}$$

$$\begin{aligned}
 I_{p\theta t}^r &= I_{p\theta-1t}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{p\theta t}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{p\theta t}^{rs} - X_{p\theta t}^r \\
 &\forall r \in R, p \in P, \theta \in \Theta : \theta > 1, t \in \{Mindest, \dots, LST\}
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

In jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode t , wobei $Mindest \leq t \leq LST$, kann sich der Lagerbestand an zurückgegebenen Produkten in einem WZ verändern. Es können zurückgegebene Produkte von VSZ und anderen WZ hinein- und an andere WZ herausfließen oder zur Bearbeitung entnommen werden.

Der Lagerbestand an zurückgegebenen Produkten am Ende der ersten mittelfristigen Periode in der ersten langfristigen Periode, in der Produkte zurückgegeben werden, wird durch die Nebenbedingungen (4.26) definiert. In den folgenden mittelfristigen Perioden der langfristigen Perioden können bereits gelagerte Produktrückgaben aus vorherigen Perioden vorhanden sein. Der Lagerbestand am Anfang einer langfristigen Periode, d.h. in $\theta = 1$ von t , wobei $Mindest < t \leq LST$, wird durch die Nebenbedingungen (4.27) bestimmt.

In den mittelfristigen Perioden $\theta > 1$ von der langfristigen Periode t , wobei $Mindest \leq t \leq LST$, kann sich der Lagerbestand ebenfalls verändern; diese Veränderungen werden durch die Nebenbedingungen (4.28) abgebildet.

$$\begin{aligned}
 I_{c1Mindest}^r &= \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{c1Mindest}^{sr} + X_{c1Mindest}^r \\
 &- \sum_{f \in FD} X_{c1Mindest}^{rf} - \sum_{s \in R: s \neq r} EX I_{c1Mindest}^{rs} \quad \forall r \in R, c \in C
 \end{aligned} \tag{4.29}$$

$$I_{c1t}^r = I_{cL\theta STt-1}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c1t}^{sr} + X_{c1t}^r - \sum_{f \in FD} X_{c1t}^{rf} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c1t}^{rs} \quad (4.30)$$

$$\forall r \in R, c \in C, t \in \{Mindest + 1, \dots, LST\}$$

$$I_{c\theta t}^r = I_{c\theta-1t}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{sr} + X_{c\theta t}^r - \sum_{f \in FD} X_{c\theta t}^{rf} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{rs} \quad (4.31)$$

$$\forall r \in R, c \in C, \theta \in \Theta : \theta > 1, t \in \{Mindest, \dots, LST\}$$

Der Lagerbestand an Komponenten in einem WZ kann in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode t , wobei $Mindest \leq t \leq LST$, durch Zuflüsse von anderen WZ und durch die Refabrikation erhöht und durch Abflüsse zu Werken und anderen WZ verringert werden.

Der Lagerbestand an Komponenten im WZ am Ende der ersten mittelfristigen Periode der ersten langfristigen Periode mit Produktrückgaben, also in $\theta = 1$ von $t = Mindest$, wird durch die Nebenbedingungen (4.29) angegeben. In den folgenden Perioden können Endbestände aus vorherigen Perioden vorliegen.

Der Lagerbestand an Komponenten am Ende der ersten mittelfristigen Periode der langfristigen Periode t , wobei $Mindest < t \leq LST$, wird durch die Nebenbedingungen (4.30) erfasst. Die Lagerbilanzgleichungen (4.31) bestimmen den Lagerbestand für alle taktischen Perioden $\theta > 1$ von t , wobei $Mindest \leq t \leq LST$ gilt.

$$I_{c11}^f = \sum_{z \in Z} X_{c11}^{zf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c11}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c11}^{fi} - X_{c11}^f \quad (4.32)$$

$$\forall f \in F, c \in C$$

$$I_{c1t}^f = I_{cL\theta STt-1}^f + \sum_{z \in Z} X_{c1t}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c1t}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c1t}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c1t}^{fi} - X_{c1t}^f \quad (4.33)$$

$$\forall f \in F, c \in C, t \in ST : t > 1$$

$$I_{c\theta t}^f = I_{c\theta-1t}^f + \sum_{z \in Z} X_{c\theta t}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c\theta t}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{fi} - X_{c\theta t}^f \quad (4.34)$$

$$\forall f \in F, c \in C, t \in ST, \theta \in \Theta : \theta > 1$$

In die Werke können in jeder mittelfristigen Periode $\theta \in \Theta$ einer langfristigen Periode t Komponenten von Zulieferern, WZ oder anderen Werken hineinfließen und gelagert oder

zu Produkten montiert oder zu anderen Werken transportiert werden.

Die Nebenbedingungen (4.32) geben den Lagerbestand an Komponenten am Ende der ersten mittelfristigen Planungsperiode, also in $\theta = t = 1$ an. Im Gegensatz dazu kann in den folgenden Perioden schon ein Endbestand an gelagerten Komponenten vorliegen.

Die Nebenbedingungen (4.33) geben den Lagerbestand am Ende der ersten mittelfristigen Periode $\theta = 1$ einer langfristigen Periode t an, wobei $t > 1$ gilt. Die Veränderungen des Lagerbestands in den folgenden mittelfristigen Perioden, also in $\theta > 1$ von t , werden durch die Nebenbedingungen (4.34) erfasst.

$$I_{xL\Theta STLST}^r = EI_x^r \quad \forall r \in R, x \in C \cup P \quad (4.35)$$

$$I_{cL\Theta STLST}^f = EI_c^f \quad \forall f \in F, c \in C \quad (4.36)$$

Die Endlagerbestände in WZ und Werken, also die Lagerbestände am Ende des Planungshorizonts, werden durch die Nebenbedingungen (4.35) bzw. (4.36) den Variablen EI_x^r bzw. EI_c^f zugewiesen.

Das Kapazitätslevel der Standorte wird (unverändert) langfristig bestimmt; diese Kapazität beschränkt die Durchfluss- und (ggf.) Lagermengen, die nun in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode bestimmt werden. Dieser Zusammenhang wird in den folgenden Nebenbedingungen (4.37) – (4.44) definiert.

$$Cap_{\theta t}^y \leq CapT_t^y \quad \forall y \in V \cup F \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.37)$$

Die Nebenbedingungen (4.37) weisen die langfristig geplante Standort-Kapazität einer Variable zu, die für mittelfristige Perioden definiert ist. Diese Variablen werden im Folgenden genutzt, um die mittelfristig geplanten Durchfluss- und (ggf.) Lagermengen durch die jeweils vorhandene langfristige Standort-Kapazität zu begrenzen.

$$\sum_{p \in P} g_p \cdot X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{fi} \leq e \cdot Cap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.38)$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{z \in Z} X_{c\theta t}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c\theta t}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{if} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.39)$$

Das Volumen der Mengen, die aus Werken herausfließen und in Werke hineinfließen, ist durch die verfügbare Werk-Kapazität begrenzt, wie durch die Nebenbedingungen (4.38) bzw. (4.39) erfasst.

Im Gegensatz zum FLCPR-Modell gelten diese Nebenbedingungen nun für jede mittelfristige Periode θ von t . (Eine ausführliche Erläuterung der einzelnen Terme der Nebenbedingungen (4.38) - (4.44) findet sich bereits beim FLCPR-Modell in Abschnitt 3.2.2.)

$$\sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{f \in F} X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{kv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{p\theta t}^{jv} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^v \quad (4.40)$$

$$\forall v \in V, \theta \in \Theta, t \in ST$$

Das Volumen aller Produkte, die in einer mittelfristigen Periode von t aus einem VSZ herausfließen, darf die dort verfügbare Kapazität nicht übersteigen.

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{f \in F} X_{c\theta t}^{rf} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{rs} \right) + \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p\theta t}^{rs} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.41)$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{sr} + \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p\theta t}^{sr} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.42)$$

Die Nebenbedingungen (4.41) und (4.42) begrenzen das Volumen der Mengen, die in jeder mittelfristigen Periode von t aus einem WZ heraus- bzw. in ein WZ hineinfließen.

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot I_{c\theta t}^f \leq e \cdot Cap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.43)$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot I_{c\theta t}^r + \sum_{p \in P} g_p \cdot I_{p\theta t}^r \leq e \cdot Cap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (4.44)$$

Die Lagermengen im Werk und WZ in der mittelfristigen Periode θ der Periode t sind durch die dort vorhandene Kapazität begrenzt; die Nebenbedingungen (4.43) bzw. (4.44) sichern die Einhaltung der Grenzen.

Die Variablen-Eigenschaften für Kapazitätsaufbau, -veränderungen und -verringerungen und für Standortentscheidungen, angegeben in den Nebenbedingungen (3.78) - (3.80) des FLCPR-Modells (siehe Abschnitt 3.2.2) gelten weiterhin. Die positiven ganzzahligen Entscheidungsvariablen des FLCAPPTR2-Modells werden durch die folgenden Nebenbedingungen (4.45) definiert.

$$\begin{aligned}
 & U_{\theta t}^{kp}, X_{p\theta t}^{kv}, X_{p\theta t}^{vk}, X_{p\theta t}^{vr}, X_{c\theta t}^{zf}, X_{c\theta t}^{rf}, X_{p\theta t}^{fv}, EXI_{c\theta t}^{rs}, EXI_{p\theta t}^{rs}, EXI_{c\theta t}^{fi}, EXI_{p\theta t}^{vj}, \\
 & X_{c\theta t}^r, X_{p\theta t}^r, X_{p\theta t}^f, X_{c\theta t}^f, I_{c\theta t}^f, I_{c\theta t}^r, I_{p\theta t}^r, EI_c^f, EI_c^r, EI_p^r, \\
 & LCap_{\theta t}^r, LCap_{\theta t}^f, LCap_{\theta t}^v, LCapT_t^r, LCapT_t^f, LCapT_t^v, Cap_{\theta t}^r, Cap_{\theta t}^f, Cap_{\theta t}^v, \quad (4.45) \\
 & CCapU_t^y, CapT_t^r, CapT_t^f, CapT_t^v \in \mathbb{Z}^+ \\
 & \forall p \in P, c \in C, r \in RD, k \in K, v \in V, f \in FD, z \in Z, \theta \in \Theta, t \in ST
 \end{aligned}$$

Nun werden Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen und Personalbestände im Netzwerk in jeder mittelfristigen Periode jeder langfristigen Periode bestimmt und durch positive und ganzzahlige Entscheidungsvariablen angegeben. Weiterhin sind die Variablen, die die unbefriedigte Nachfrage, Endlagerbestände und Anzahl an Kapazitätsschritten und den Kapazitätsaufbau angeben, positiv und ganzzahlig.

Beispiel und Ergebnisse

Das FLCAPPTR2-Modell wird mit den Daten des Kopiergerätehersteller-Beispiels gelöst; dabei werden die in Kapitel 3 und Abschnitt 4.1 eingeführten Daten übernommen. Zur Lösung des FLCAPPTR2-Modells müssen weitere Daten angenommen werden, die nun erläutert werden.

Das gesamte Netzwerk wird über 5 Jahre geplant, wobei jedes Jahr eine langfristige Periode darstellt. Eine langfristige Periode wird weiter in mittelfristige Perioden unterteilt. Eine Planung mit einer Unterteilung in Monate und eine monatliche Planung über 5 Jahre kann mit der in dieser Arbeit genutzten Soft- und Hardware nicht mit vertretbarem Rechenaufwand umgesetzt werden. Daher umfasst hier der taktische Planungshorizont die vier Quartale eines Jahres, also $L\theta ST = 4$. Weiterhin müssen die Produkt-Nachfrage in Berlin, Köln und Hannover um jeweils eine Einheit an P1- und P2-Nachfrage reduziert

werden, sodass die Rückgabemenge pro Quartal ganzzahlig ist. In Tabelle A.17 in Anhang A.7 stehen die nachgefragten Mengen der Kunden pro Quartal im Jahr.

Zur Vergleichbarkeit mit den bisherigen Lösungen wird unterstellt, dass die Rückgaberate unverändert 50% beträgt und sich innerhalb einer langfristigen Periode nicht verändert. Außerdem beträgt die Nutzungsdauer weiterhin eine langfristige Periode, wie in den bisherigen Tests dieser Arbeit. Im Ausgangsbeispiel gibt es keine saisonalen Schwankungen der Nachfrage oder Rückgabemenge. In der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss saisonaler Nachfrage-Schwankungen auf den CLSC untersucht.

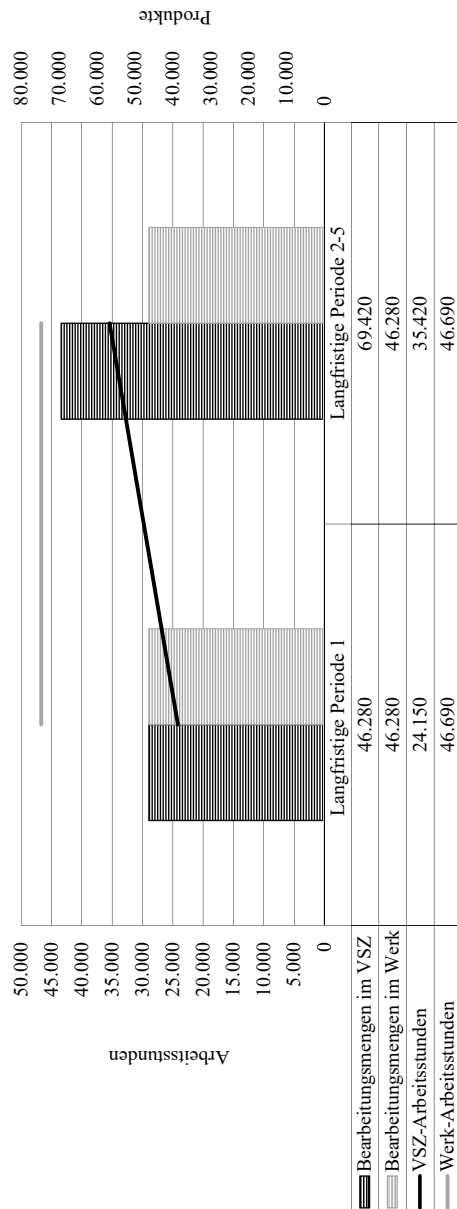
Während im FLCAPPR-Modell der Personalbestand in einem Jahr um Vielfache von $le = 1.610$ Stunden verändert werden konnte, kann er nun jedes Quartal um Vielfache von $1.610/4 \approx 400 = le\theta$ Stunden erhöht bzw. verringert werden. Durch diese Änderung kann der Personalbestand in kleineren Schritten dem Bedarf in den Standorten angepasst werden.

Für das Ausgangsbeispiel gilt $c_{kp}^U \geq 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ und nach dem FLCAPPTR2-Modell wird jede Nachfrage befriedigt. Wenn $c_{kp}^U < 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, vorliegen, dann bleibt ein Teil der Nachfrage unbefriedigt. (Die Lösung für $c_{kp}^U = 80$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, ist in Abbildung A.43 im Anhang A.7 dokumentiert.) Bei $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, sind ein offenes Werk und VSZ in Berlin optimal. (Die vollständige Lösung ist in Abbildung A.44 im Anhang A.7 dokumentiert.)

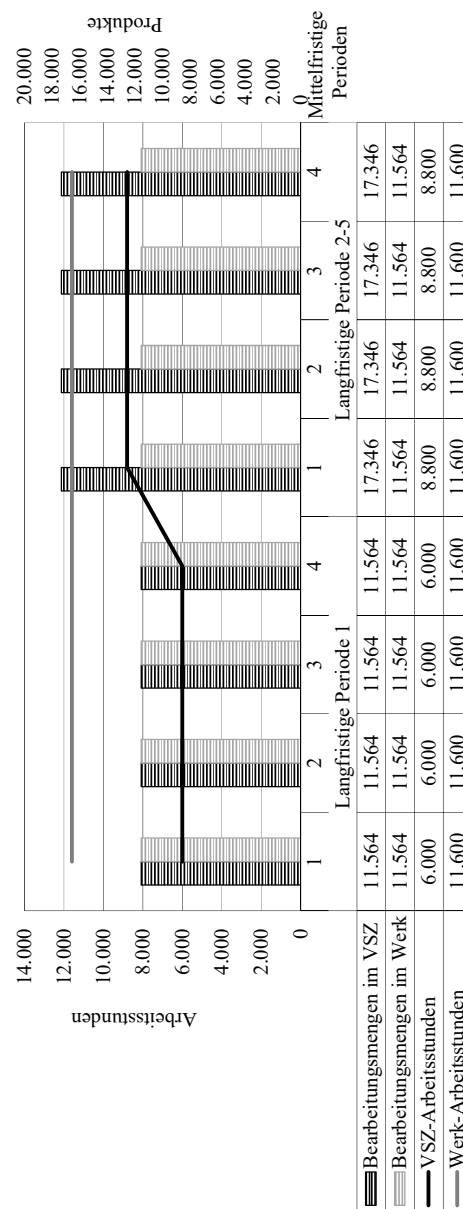
Durch die Erweiterung um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte für die Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung wird nun erfasst, dass in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode Komponenten beschafft, zu Werken transportiert und dort zu Produkten montiert werden. Dann werden sie weiter über das VSZ zu Kunden transportiert, um die Nachfrage in jeder mittelfristigen Periode zu befriedigen. Ab der zweiten langfristigen Periode werden Produkte von Kunden in jeder mittelfristigen Periode im VSZ zurückgegeben und von dort in jeder mittelfristigen Periode zur Entsorgungseinheit transportiert. Refabrikation ist ökonomisch nicht sinnvoll, wie in der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells.

In Abbildung 4.7 sind die Bearbeitungsmengen und Arbeitsstunden im Werk und VSZ der Ausgangslösung des FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells gegenüber gestellt. Die

Bearbeitungsmengen im VSZ und Werk der langfristigen Periode aus der Planung mit dem FLCAPPR-Modell werden durch das FLCAPPTR2-Modell auf die mittelfristigen Perioden aufgeteilt; Unterschiede ergeben sich durch die abweichende vorgegebene Nachfrage, wie oben beschrieben.



(a) Lösung des FLCAPPR-Modells



(b) Lösung des FLCAPPTR2-Modells

Abbildung 4.7: Bearbeitungsmengen und Arbeitsstunden im Werk und VSZ für Daten des Ausgangsbeispiels nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)

Daraus folgt nach dem FLCAPPTR2-Modell im Gegensatz zum FLCAPPR-Modell ein geringerer Bedarf an Arbeitsstunden als beim FLCAPPR-Modell. Diese werden nun in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode benötigt. Zudem können die Arbeitsstunden des Personals im FLCAPPTR2-Modell mittelfristig in kleineren Schritten als im FLCAPPR-Modell dem Bedarf angepasst werden.

Daher weicht die Summe der Arbeitsstunden über die mittelfristigen Perioden einer langfristigen Periode nach dem FLCAPPTR2-Modell (leicht) von den Arbeitsstunden des FLCAPPR-Modells für eine langfristige Periode ab. Da Lohnkosten für jede Arbeitsstunde anfallen und jede Arbeitsstunde gleich entlohnt wird, unterscheiden sich die Lohnkosten nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell nur gering, wie im Folgenden, in Abbildung 4.10 dargestellt.

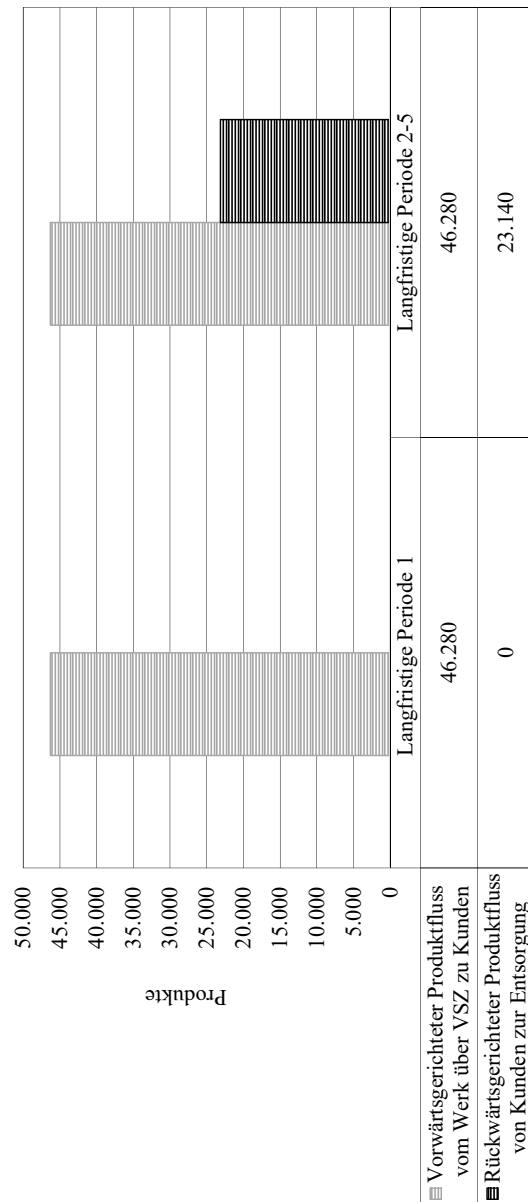
Transporte werden mit dem FLCAPPTR2-Modell für jede mittelfristige Periode einer langfristigen Periode anstatt nur zu einem langfristigen Entscheidungszeitpunkt, wie im FLPR-, FLCPR- und FLCAPPR-Modell, geplant. In Abbildung 4.8 sind die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse vom Werk über das VSZ zu Kunden bzw. von Kunden über das VSZ zur Entsorgungseinheit nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell dargestellt.

Die Transportmengen nach dem FLCAPPR-Modell werden durch das FLCAPPTR2-Modell auf die mittelfristigen Perioden aufgeteilt; Unterschiede ergeben sich nur durch die notwendigen Modifizierungen der Nachfrage-Daten, sodass ganzzahlige Nachfrage und Produktrückgaben in mittelfristigen Perioden vorliegen, wie oben beschrieben. Daher sind die Transportkosten nach dem FLCAPPTR2-Modell etwas geringer als nach dem FLCAPPR-Modell, siehe Abbildung 4.10.

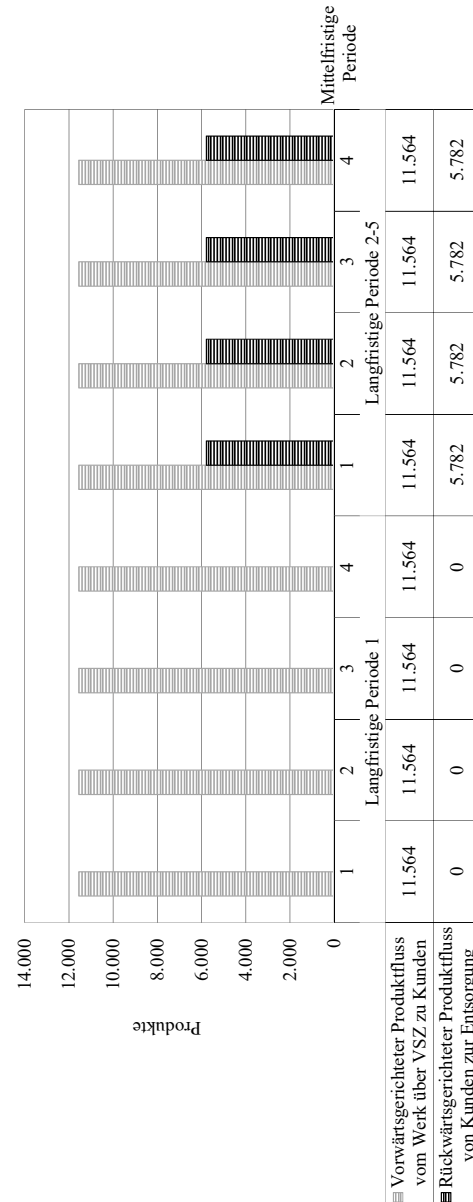
Standorte und Kapazitäten werden durch das FLCAPPTR2-Modell zu langfristigen Entscheidungszeitpunkten optimal bestimmt und sie können nicht innerhalb einer langfristigen Periode verändert werden, wie im FLCPR- und FLCAPPR-Modell. Die Kapazität entspricht der höchsten Menge, die innerhalb einer langfristigen Periode durch den jeweiligen Standort fließt.

Durch die Erweiterung um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte für die Produktions-

und Transportplanung werden im FLCAPPTR2-Modell die langfristigen Bearbeitungs- und Transportmengen auf mittelfristige Perioden unterteilt. Dadurch wird der Bedarf an Kapazitäten in Standorten mit dem FLCAPPTR2-Modell genauer bestimmt als nach dem FLCPR- und FLCAPPR-Modell.



(a) Lösung des FLCAPPR-Modells



(b) Lösung des FLCAPPTR2-Modells

Abbildung 4.8: Vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse für Daten des Ausgangsbeispiels nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)

Daher sind in der Ausgangslösung die VSZ- und Werk-Kapazität nach dem FLCAPPTR2-Modell niedriger als bei einer Planung mit dem FLCAPPR-Modell. In Abbildung 4.9 sind die Kapazitäten im Werk und VSZ nach dem FLPR-, FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell für das Ausgangsbeispiel gegenübergestellt.

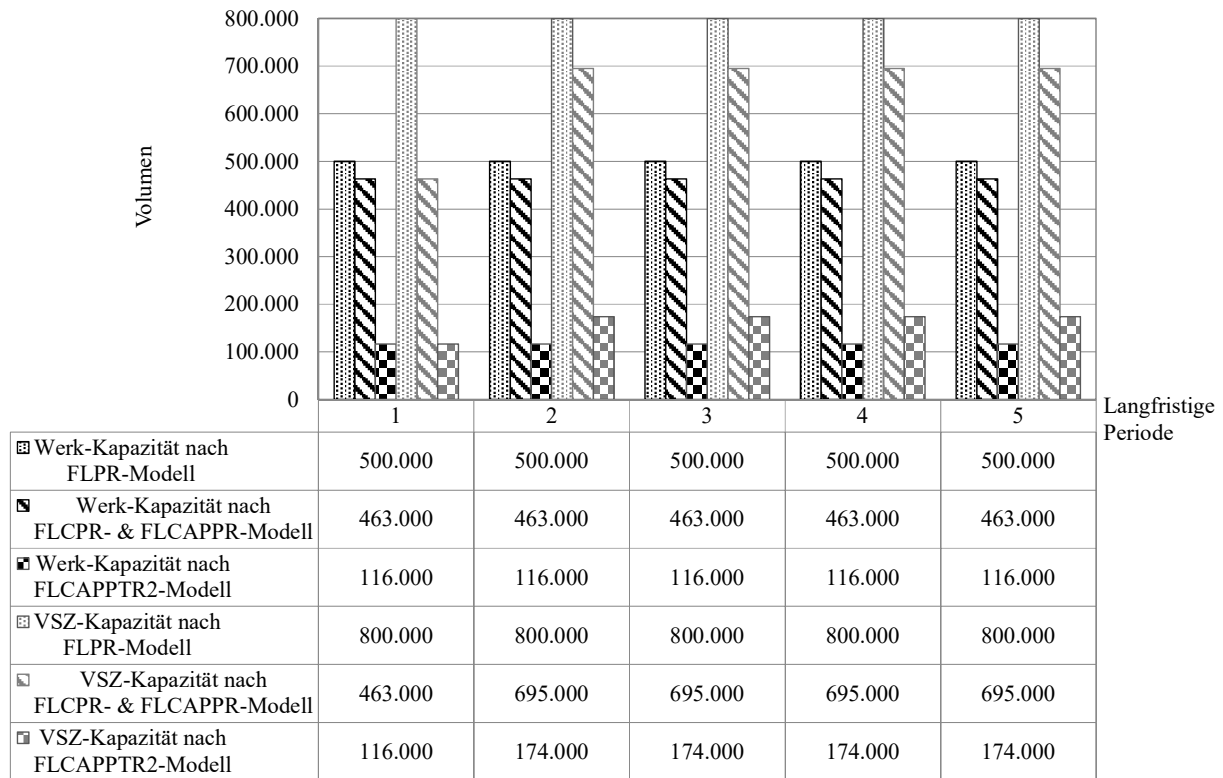


Abbildung 4.9: Vergleich der Kapazitäten im Werk und VSZ für Daten des Ausgangsbeispiels nach dem FLPR-, FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)

Es ist anzumerken, dass die Lösung des FLPR-, FLCPR- und FLCAPPR-Modells nicht vorgibt, dass alle Güter wirklich nur zu einem Zeitpunkt transportiert werden; die Kapazität wird dadurch natürlich auch nicht auf einmal zu einem Zeitpunkt benötigt. Allerdings werden in der Planung mit nur langfristigen Entscheidungszeitpunkten keine wiederholten Transporte zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten erfasst und daraus folgt aus der Planung mit einem rein strategischen Modell, wie dem FLPR-, FLCPR- und FLCAPPR-Modell, ein zu hoher Kapazitätsbedarf.

Für den Aufbau von Kapazitäten fallen einmalig Kosten an, die bei einer Planung mit dem

FLCAPPTR2-Modell nun niedriger sind als mit dem FLPR-, FLCPR- und FLCAPPR-Modell. Es finden im FLCAPPTR2-Modell häufiger Transporte als nach dem FLPR-, FLCPR- und FLCAPPR-Modell statt. Allerdings sind die Transportkosten nur von der Transportmenge abhängig und die Transportmenge nach dem FLCAPPTR2-Modell ist nur etwas geringer als nach dem FLCAPPR-Modell, wie bereits oben erläutert.

Daher sind die Gesamtkosten nach dem FLCAPPTR2-Modell niedriger als nach dem FLCAPPR-Modell. In Abbildung 4.10 sind die Kosten (ohne Standort-Eröffnungskosten) für das Ausgangsbeispiel nach dem FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell dargestellt; die diskontierten Standort-Eröffnungskosten betragen bei beiden Modellen 6.435.643,564 GE (= (5.000.000 GE + 1.500.000 GE (Werk- und VSZ-Eröffnungskosten)/(1,01¹)). (Gegenüber dem FLCPR-Modell sind die Gesamtkosten des FLCAPPTR2-Modells höher, da im FLCAPPTR2-Modell Lohnkosten berücksichtigt werden.)

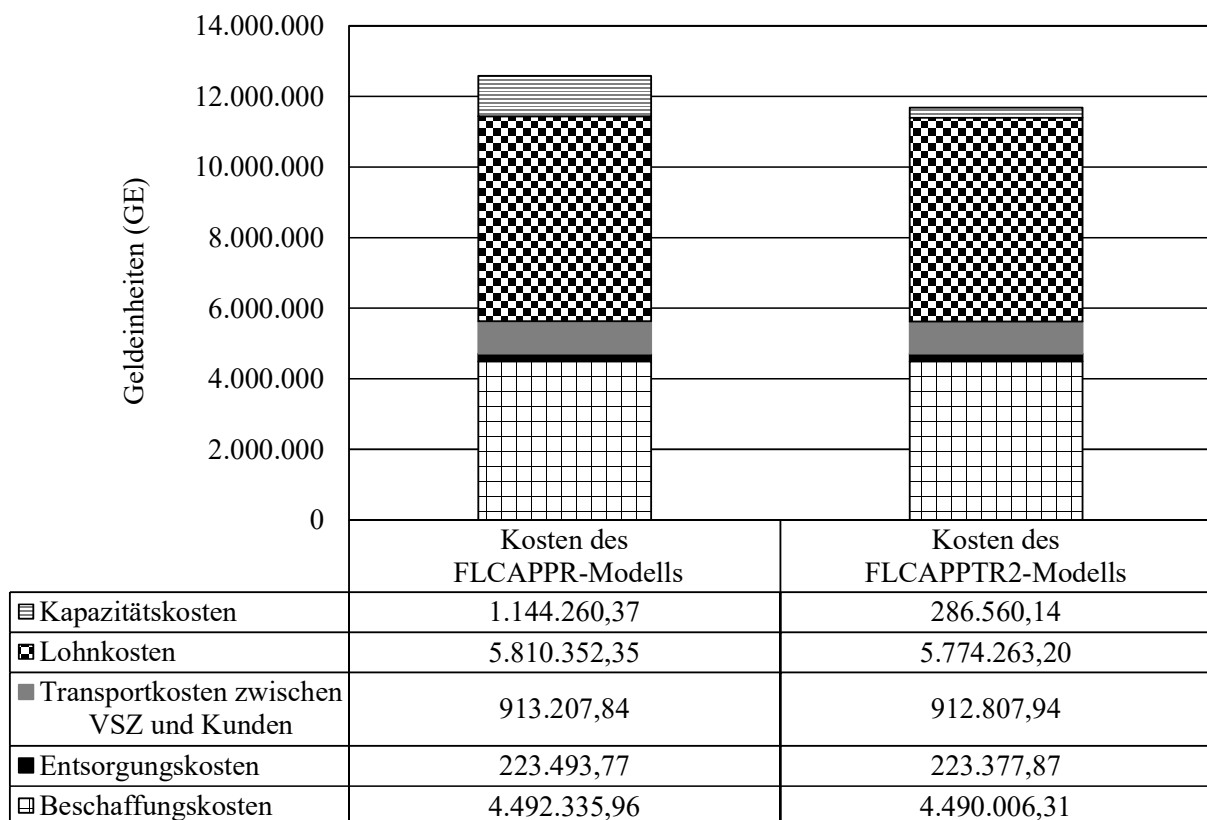


Abbildung 4.10: Vergleich der Kosten (ohne Standort-Eröffnungskosten) für das Ausgangsbeispiel nach dem FLCAPPR-Modell und dem FLCAPPTR2-Modell (Eigene Darstellung)

Daher ist die Befriedigung von Nachfrage für die Daten des Ausgangsbeispiels beim FLCAPPTR2-Modell schon bei niedrigeren Strafkosten bzw. entgangenen Erlösen für unbefriedigte Nachfrage als beim FLCAPPR-Modell ökonomisch sinnvoll; hier muss gelten, dass $c_{kp}^U \geq 81$ GE anstatt $c_{kp}^U \geq 85$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, sodass die gesamte Nachfrage befriedigt wird.

D.h. das FLCAPPTR2-Modell stellt eine Verbesserung der SC-Planung dar, da die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz von Produkten genauer erfasst werden. Dadurch wird das produzierende Unternehmen bei der Entscheidung, Produkte zur Befriedigung der Nachfrage herzustellen und zu Kunden zu transportieren, besser unterstützt. Allerdings verursacht die Erweiterung des Planungsansatzes um taktische Entscheidungszeitpunkte für die Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung eine deutliche Erhöhung des Rechenaufwands.

Für die Lösung des FLCAPPTR2-Modells mit den Daten des Ausgangsbeispiels durch Gurobi Solver in Version 6.5.1 unter den gleichen Bedingungen wie alle vorangegangenen Tests werden 3,5 Stunden benötigt. Gegenüber der Lösungszeit für das FLCAPPR-Modell (mit nur langfristigen Entscheidungszeitpunkten) mit einer Lösungszeit von 322,51 Sekunden ist es eine deutliche Erhöhung des Rechenaufwands. Allerdings dauert die Lösung des FLCAPPTR2-Modells mit einer neueren Solver-Version, mit Gurobi Solver in Version 7.0.1, nur 267,82 Sekunden. Also ermöglicht dieser Fortschritt inzwischen die Lösung mit vertretbarem Rechenaufwand.

Einfluss der zusätzlichen taktischen Planungsebene auf die Entscheidung zur Refabrikation

Im FLCAPPTR2-Modell unterscheiden sich die Entscheidungszeitpunkte der Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung von der Standort- und Kapazitätsplanung. Daher gilt der Zusammenhang zwischen Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und Kostenersparnissen in der Beschaffung mit der Entscheidung zur Refabrikation nicht mehr, der mit dem FLCAPPR-Modell festgestellt werden konnte.

Nun ist Refabrikation schon ab einer Subvention von $c_r = -27$ GE pro wiederaufbereiteter Komponente anstatt wie beim FLCAPPR-Modell ab $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$,

pro wiederaufbereiteter Komponente ökonomisch sinnvoll. In Abbildung 4.11 sind die Produkt-Transporte vom VSZ zum WZ nach dem FLCAPPTR2-Modell und nach dem FLCAPPR-Modell für $c_r = -27$ GE bzw. $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, pro wiederaufbereiteter Komponente dargestellt.

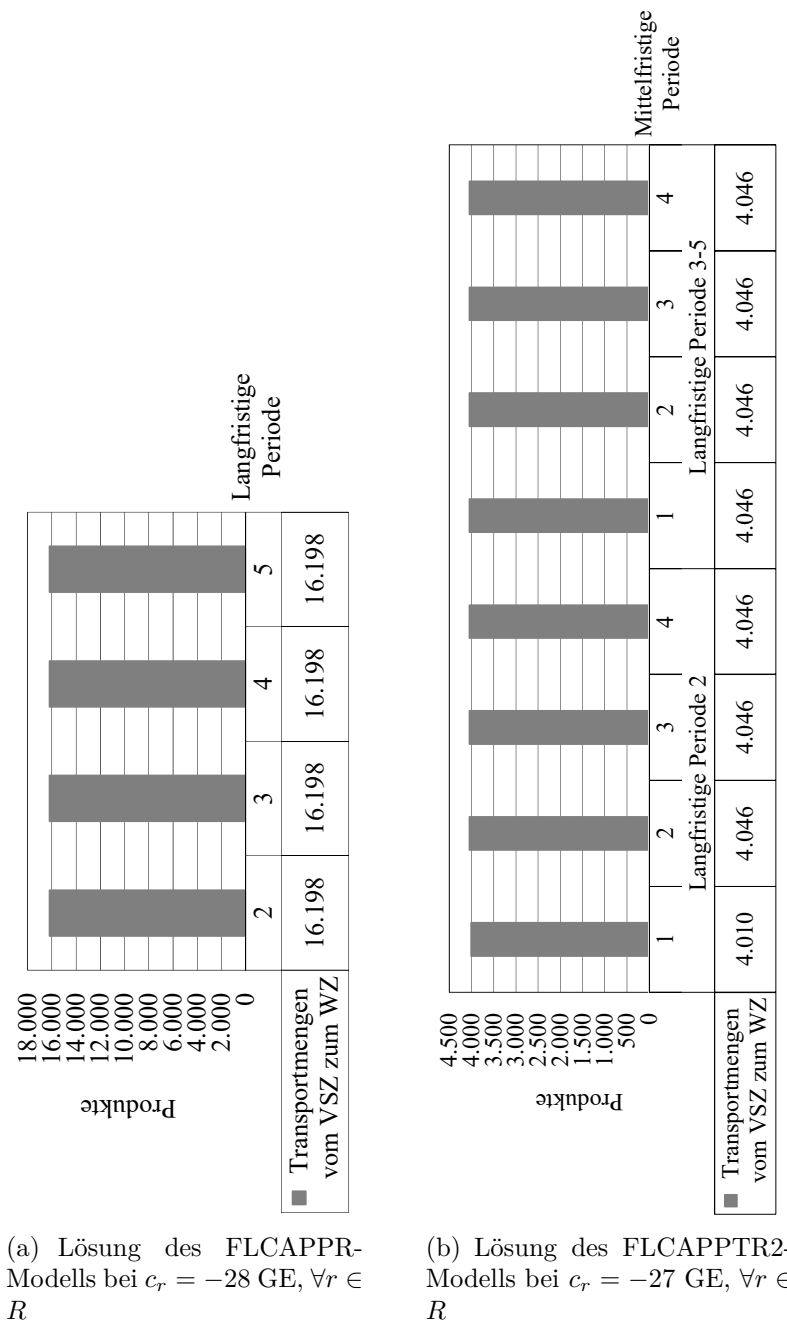


Abbildung 4.11: Transportmengen an zurückgegebenen Produkten vom VSZ zum WZ (Eigene Darstellung)

Durch das FLCAPPTR2-Modell wird abgebildet, dass zurückgegebene Produkte in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode im VSZ gesammelt, weiter zum WZ transportiert und bearbeitet oder gegebenenfalls entsorgt werden. Die Unterteilung der Transportmenge der langfristigen Periode auf die mittelfristigen Perioden, die hier vier Quartale sind, durch das FLCAPPTR2-Modell wird in Abbildung 4.11 deutlich. Die Transportmenge über den Planungshorizont weicht nur durch modifizierte Nachfrage-Daten vom FLCAPPR-Modell geringfügig ab. (Die Lösung des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27$ GE, $\forall r \in R$, ist in Abbildung A.45 im Anhang A.7 dokumentiert.)

Die maximale Flussmenge, die innerhalb der langfristigen Periode durch die Standorte fließt, ist nach dem FLCAPPTR2-Modell niedriger als nach dem FLCAPPR-Modell, siehe Abbildung 4.11. Daher werden bei einer Planung mit dem FLCAPPTR2-Modell auch geringere Kapazitäten als bei einer Planung mit dem FLCAPPR-Modell benötigt. In Abbildung 4.12 sind die WZ- und VSZ-Kapazität des FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells bei Refabrikation gegenübergestellt.

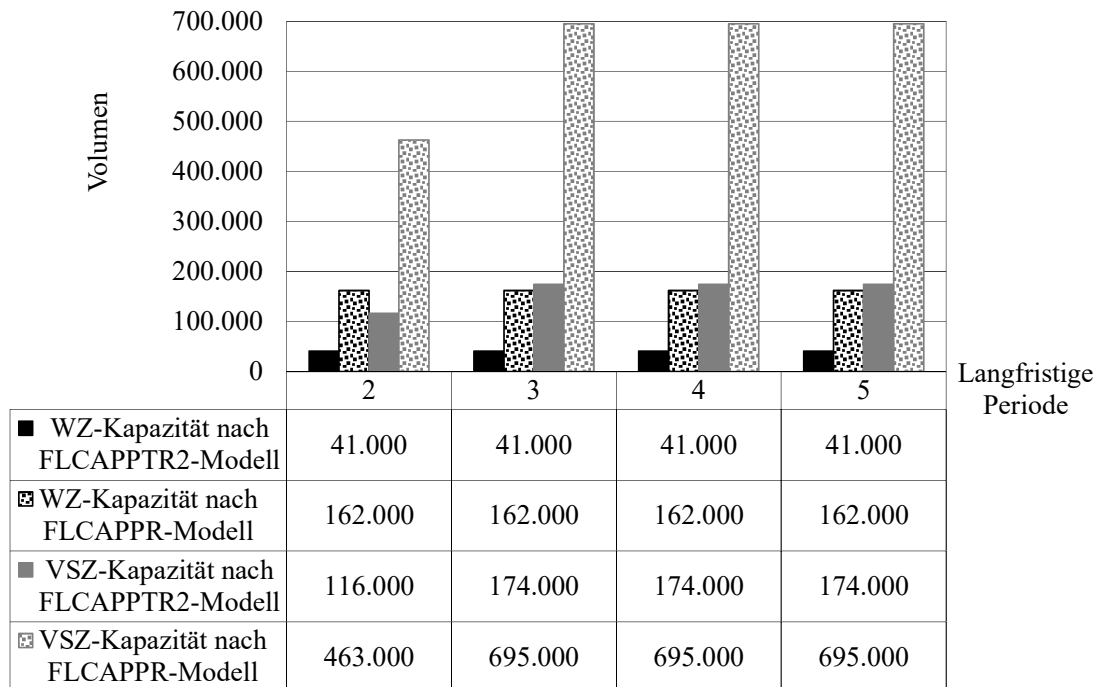


Abbildung 4.12: Vergleich der WZ- und VSZ-Kapazität des FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells bei $c_r = -28$ GE bzw. $c_r = -27$ GE, $\forall r \in R$ (Eigene Darstellung)

Im Gegensatz zu Lohn-, Transport-, Beschaffungs- und Entsorgungskosten sind Kapazitätskosten mengen-unabhängig und fallen nur einmalig für den Aufbau an; sie sind nun niedriger als im FLCAPPR-Modell, also sind die Kosten verbunden mit Refabrikation nach dem FLCAPPTR2-Modell niedriger. Dadurch ist nach dem FLCAPPTR2-Modell eine niedrigere Subvention pro wiederaufbereiteter Komponente als im FLCAPPR-Modell notwendig, damit Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist.

D.h. das FLCAPPTR2-Modell ermöglicht durch die zusätzliche taktische Planungsebene eine genauere Erfassung der Kosten verbunden mit der Einsammlung und Bearbeitung von Produktrückgaben als das FLCAPPR-Modell und verbessert damit die CLSC-Planung.

Einfluss der zusätzlichen taktischen Planungsebene auf die Standortplanung

Schon in Abschnitt 2.2.1 wurde das diskrete Standortplanungsmodell als Mittel zur Planung von SC-Netzwerken kritisch diskutiert, da es wichtige Aspekte bei der Standortwahl nicht berücksichtigt. Insbesondere wird im diskreten Standortplanungsmodell der Bedarf an Standort-Kapazitäten und der Zusammenhang zwischen Transporten und Kapazitäten nicht erfasst.

Durch die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells in Abschnitt 3.2.2 um Kapazitätsplanung zum FLCPR-Modell und in diesem Abschnitt um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte für die Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung zum FLCAPPTR2-Modell werden Standort-Kapazitäten optimal bestimmt und der Bedarf an Standort-Kapazitäten wird genauer erfasst. Dadurch wird auch die Standortplanung beeinflusst, wie nun gezeigt wird.

Wenn z.B. eine Kapazitätsobergrenze pro VSZ von $87.000m^3$, also $Cap_v^O = 87.000m^3$ anstatt $Cap_v^O = 800.000m^3$, $\forall v \in V$, wie im Ausgangsbeispiel, vorliegt, müssen nach dem FLPR-Modell, dem diskreten Standortplanungsmodell aus Abschnitt 3.1.3, 8 VSZ eröffnet werden, um jede Nachfrage zu befriedigen. Falls $c_{kp}^U = 1.000$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, gilt, ist es ökonomisch sinnvoll, jede Nachfrage zu befriedigen. (In Abbildung A.12 im Anhang A.3 ist die Lösung des FLPR-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$, und $c_{kp}^U = 1.000$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, dokumentiert.)

Dagegen gibt das FLCAPPTR2-Modell vor, dass zwei anstatt 8 offene VSZ zur Befrie-

digung der Nachfrage ausreichen, sodass jede Nachfrage befriedigt werden kann. In Abbildung 4.13 sind die optimalen Standorte und (vorwärtsgerichteten) Flussmengen zwischen Zulieferer, VSZ, Werk und Kunden für $Cap_v^O = 87.000m^3, \forall v \in V$, nach dem FLCAPPTR2-Modell dargestellt. (Zur Übersichtlichkeit fehlen die rückwärtsgerichteten Produktflüsse zwischen Kunden und VSZ.)

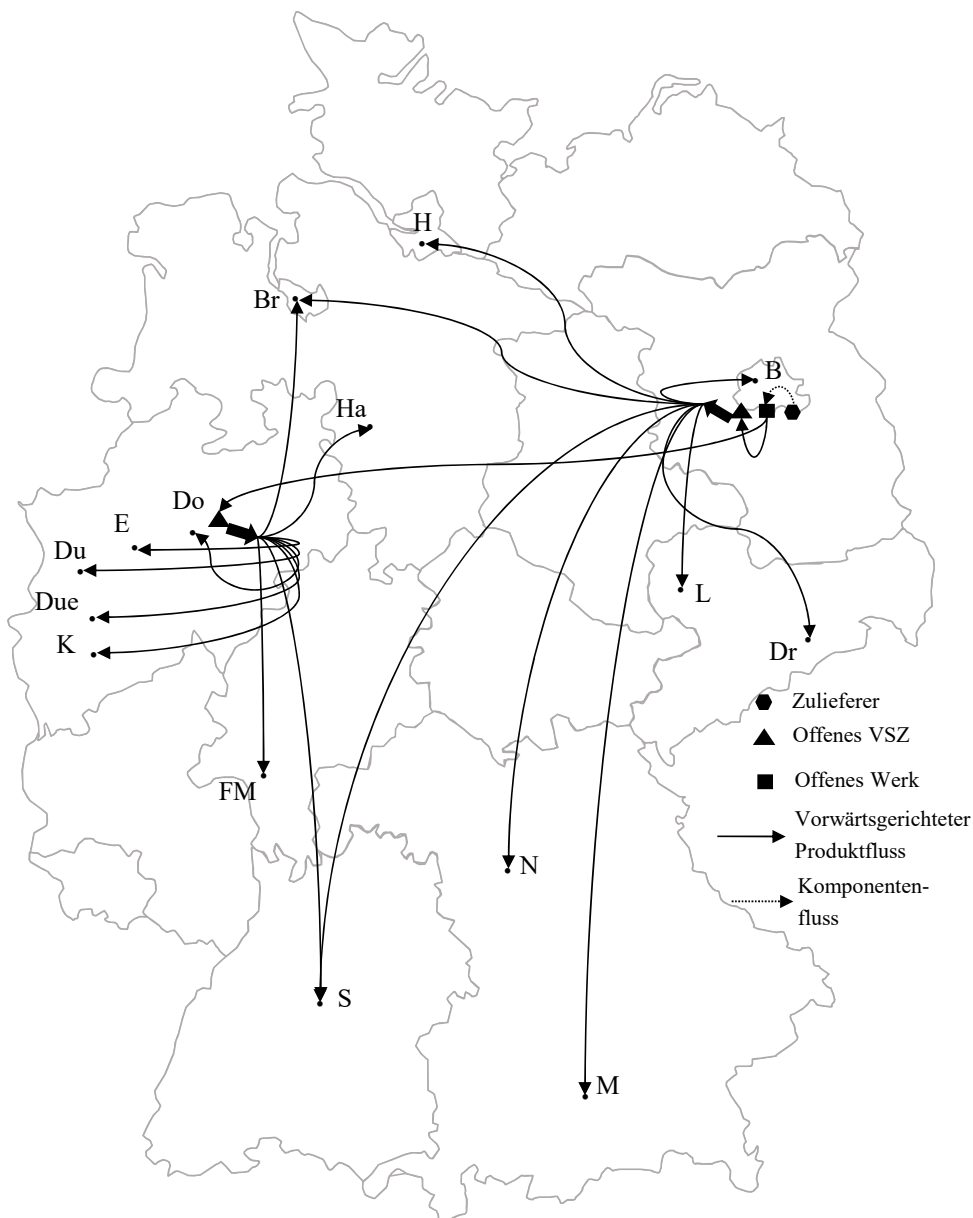


Abbildung 4.13: Optimale Standorte und Flussmengen zwischen Zulieferer, VSZ und Werk für $Cap_v^O = 87.000m^3, \forall v \in V$ (Eigene Darstellung)

(Damit es ökonomisch sinnvoll ist, jede Nachfrage zu befriedigen, müssten Strafkosten bzw. entgangene Erlöse durch unbefriedigte Nachfrage höher als in der Ausgangslösung sein, z.B. $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, betragen. Diese Lösung ist in Abbildung A.46 im Anhang A.7 aufgeführt.)

Die Eröffnungskosten pro VSZ betragen 1.500.000 GE, daher sind die Eröffnungskosten verbunden mit VSZ nach dem FLCAPPTR2-Modell um 9.000.000 GE niedriger als nach dem FLPR-Modell. Da im FLPR-Modell im Gegensatz zum FLCAPPTR2-Modell keine Lohn- und Kapazitätskosten erfasst werden und nur eine (anstatt 5) Planungsperiode(n) berücksichtigt wird (werden), sind die Gesamtkosten allerdings niedriger als nach dem FLCAPPTR2-Modell. Sie betragen nach dem FLPR-Modell 18.086.049,71 GE und nach dem FLCAPPTR2-Modell 19.406.255,871 GE, siehe Abbildung A.12 bzw. A.46.

D.h. durch die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells zum FLCAPPTR2-Modell wird der Bedarf an Kapazitäten bzw. Standorten genauer bestimmt. Dadurch wird das diskrete Standortplanungsmodell als Mittel zur Netzwerk-Planung verbessert. Die Kosten verbunden mit Standorten und deren Kapazitäten können durch die detailliertere mathematische Abbildung des Entscheidungsproblems im FLCAPPTR2-Modell besser erfasst werden.

Einfluss saisonal schwankender Nachfrage

In Abschnitt 3.2 wurde bereits der Einfluss von Nachfrageschwankungen über den gesamten Planungshorizont bzw. des Produktlebenszyklus auf die CLSC-Planung untersucht. Dabei wurde angenommen, dass die Nachfrage innerhalb einer langfristigen Periode des Planungshorizonts konstant ist. Allerdings schwankt Nachfrage nach Konsumgütern häufig saisonal [56]. Die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um eine taktische Planungsebene mit mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten ermöglicht die Berücksichtigung saisonaler Schwankungen, also Schwankungen von Nachfrage innerhalb einer langfristigen Periode.

Schon Hax und Meal (1973)[81] unterscheiden bei der Produktionsplanung zwischen Produkten der Winter- und Sommersaison und Produkten mit anderen Schwankungen über das Jahr. Das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit stammt aus der Kopiergeräteindustrie,

also sind keine wetterbedingten Schwankungen in der Nachfrage zu erwarten.

Aviv und Federgruen (2001)[188] stellen nicht wetterbedingte saisonale Schwankungen in der Nachfrage nach Druckern vom Hersteller Hewlett Packard fest. Sie beobachten Schwankungen in der Nachfrage nach Druckern am Ende des Sommers bedingt durch den Schulanfang und am Ende des Jahres wegen des Weihnachtsgeschäfts und durch Überlegungen von Unternehmen bzgl. des Jahresendbudgets [188]. D.h. beim Abschluss des Geschäftsjahres werden übriggebliebene finanzielle Mittel festgestellt, die noch investiert werden. Da keine saisonale Nachfrage-Daten für Kopiergeräte zur Verfügung stehen, wird in dieser Arbeit den Beobachtungen aus [188] gefolgt.

Im Gegensatz zu [188] werden hier unterschiedliche Produkte berücksichtigt. Es wird unterstellt, dass die Nachfrage nach den beiden Produkttypen des Kopiergeräte-Beispiels gleich saisonal schwankt und die gleichen Schwankungen innerhalb jeder langfristigen Periode im Planungshorizont beobachtet werden können. Außerdem wird die Planung für Quartale über mehrere Jahr hinweg anstatt für Monate eines Jahres, wie in [188], durchgeführt. (Eine monatliche Planung mit dem FLCAPPTR2-Modell ist nicht mit vertretbarem Rechenaufwand möglich.) Daher können die von [188] beschriebenen Schwankungen nicht übernommen werden, sondern weitere Annahmen sind notwendig. Diese Annahmen werden nun erläutert.

Der Geschäftsjahresabschlusses findet am Ende des Jahres statt; es ist zu erwarten, dass daraus folgende Aufträge erst am Anfang des Jahres beim Hersteller eingehen. Also wird hier angenommen, dass Überlegungen bzgl. des Geschäftsjahresabschlusses die Nachfrage nach Kopiergeräten am Anfang des Jahres und nicht im letzten Quartal erhöhen. Weiterhin führt das Weihnachtsgeschäft nach [188] zu einer Erhöhung der Drucker-Nachfrage im Dezember; bei Kopiergeräte-Herstellern ist kein Anstieg durch das Weihnachtsgeschäft im Dezember zu erwarten. So ist die Nachfrage, die dem Hersteller vorliegt, im ersten Quartal am höchsten.

Im zweiten Quartal nimmt die Nachfrage ab, bevor sie im dritten Quartal, also nach den allgemeinen Urlaubszeiten im Sommer und zu Beginn von Schule und Studium durch eine erhöhte Nachfrage öffentlicher Einrichtungen ansteigt. Zum Ende des Jahres ist die Nachfrage wieder geringer. In Abbildung 4.14 ist die saisonal schwankende Nachfrage und

die konstante Nachfrage aus dem Ausgangsbeispiel für eine langfristige Periode bzw. ein Jahr, die bzw. das aus vier mittelfristigen Perioden bzw. Quartalen besteht, dargestellt.

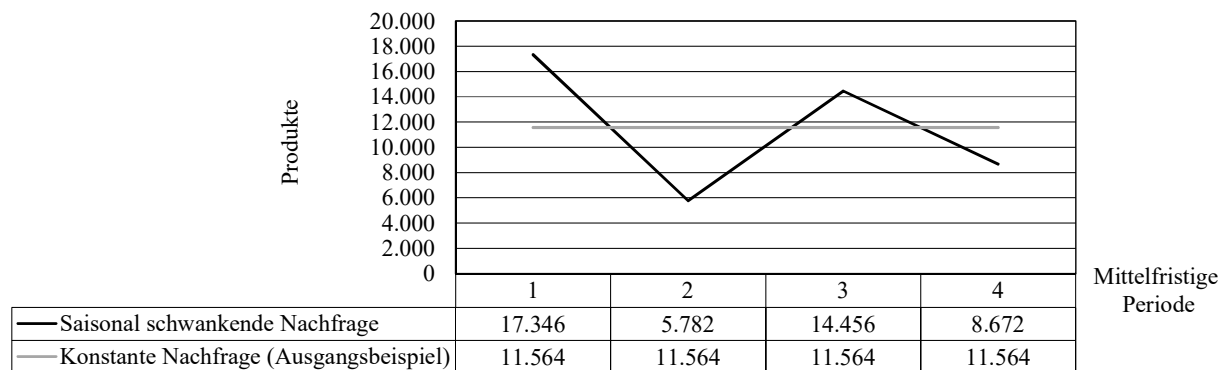


Abbildung 4.14: Saisonal schwankende und konstante Nachfrage über eine langfristige Periode (Eigene Darstellung)

Zur Vergleichbarkeit ist die Summe der saisonal schwankenden Nachfrage über die mittelfristigen Perioden, also die Nachfrage der langfristigen Periode genauso hoch wie die Nachfrage der langfristigen Periode im Ausgangsbeispiel. (In Tabelle A.18 im Anhang A.7 ist die Nachfrage der einzelnen Kunden bei saisonal schwankender Nachfrage dokumentiert.)

Die Lösung des FLCAPPTR2-Modells für diese saisonal schwankende Nachfrage gibt vor, dass die Befriedigung von Nachfrage ökonomisch nicht sinnvoll ist. Dabei gelten die Strafkosten bzw. entgangenen Erlöse pro unbefriedigte Nachfrage des Ausgangsbeispiels, d.h. $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$. (Die Lösung ist in Abbildung A.47 im Anhang A.7 aufgeführt.) Wenn höhere Strafkosten bzw. entgangene Erlöse pro unbefriedigte Nachfrage vorliegen, wie z.B. $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, wird wie in der Lösung des Ausgangsbeispiels ein Werk und VSZ in Berlin eröffnet, um Nachfrage zu befriedigen.

Im Gegensatz zur Lösung des Ausgangsbeispiels bleibt ein Teil der saisonal schwankenden Nachfrage unbefriedigt, da die Kosten für die Befriedigung dieser Nachfrage höher als die damit verbundenen Erlöse sind. Dabei sind die Transportkosten bzw. die Entfernung des Kunden-Standorts zum VSZ entscheidungsrelevant, ob die Nachfrage des Kunden befriedigt wird. (Die Lösung für $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, ist in Abbildung A.48 im Anhang A.7 aufgeführt.)

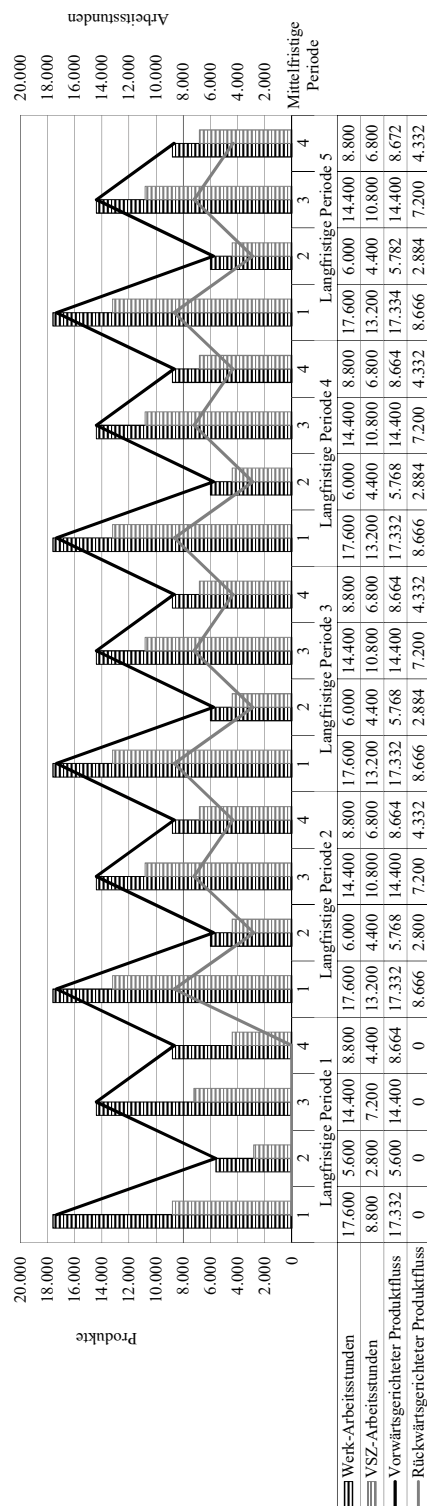


Abbildung 4.15: Vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse und Arbeitsstunden im Werk und VSZ bei saisonal schwankender Nachfrage über den Planungshorizont (Eigene Darstellung)

Da die in dieser Arbeit untersuchte Fertigung auftragsbezogen ist, können weder fertige Produkte gelagert werden, noch kann Nachfrage zurückgestellt werden, um die saisonalen Schwankungen der Nachfrage auszugleichen. Daher muss das Personal sowie Kapazitäten im Werk und VSZ ausreichen, um die Nachfrage der jeweiligen mittelfristigen Periode sofort zu befriedigen, sonst bleibt sie unbefriedigt.

In Abbildung 4.15 sind die vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüsse und die Arbeitsstunden im VSZ und Werk in den mittelfristigen Perioden bei saisonal schwankender Nachfrage abgebildet. Es zeigt sich, dass die vorwärtsgerichteten Produktflussmengen vom Werk über das VSZ zu den Kunden und die Arbeitsstunden im Werk und VSZ der saisonal schwankenden Nachfrage aus Abbildung 4.14 folgen.

Der rückwärtsgerichtete Produktfluss von Kunden über das VSZ zur Entsorgung folgt dem vorwärtsgerichteten Produktfluss um die Nutzungsdauer von einer langfristigen Periode zeitversetzt. Dadurch sind auch die Arbeitsstunden im VSZ ab der zweiten langfristigen Periode höher.

Im Gegensatz zu den Arbeitsstunden werden die Kapazitäten langfristig geplant, also können sie nicht mittelfristig an Schwankungen angepasst werden. Die VSZ- bzw. Werk-Kapazität entspricht der höchsten Menge, die innerhalb einer langfristigen Periode durch das VSZ bzw. Werk fließen. Für die saisonal schwankende Nachfrage aus Abbildung 4.14 ist die Flussmenge in der ersten mittelfristigen Periode am höchsten, siehe Abbildung 4.15. Dementsprechend resultieren nach dem FLCAPPTR2-Modell die VSZ- und Werk-Kapazitäten, die in Abbildung 4.16 dargestellt sind.

Da die höchste Flussmenge innerhalb einer langfristigen Periode bei saisonal schwankender Nachfrage höher als im Ausgangsbeispiel ist, sind die Kapazitäten des offenen VSZ und Werks höher als im Ausgangsbeispiel; in Abbildung 4.16 sind die Kapazitäten der Ausgangslösung der Kapazität bei saisonal schwankender Nachfrage gegenübergestellt.

Durch den höheren Kapazitätsbedarf sind die (tatsächlichen) Kosten verbunden mit der Nachfrage-Befriedigung bei saisonal schwankender Nachfrage höher als im Ausgangsbeispiel. Sie betragen 18.259.701,68 GE anstatt 18.122.659,02 GE (siehe Abbildung A.48 und A.44 im Anhang A.7), obwohl die Nachfrage des gesamten Planungshorizonts im Fall saisonal schwankender Nachfrage mit der im Ausgangsbeispiel übereinstimmt.

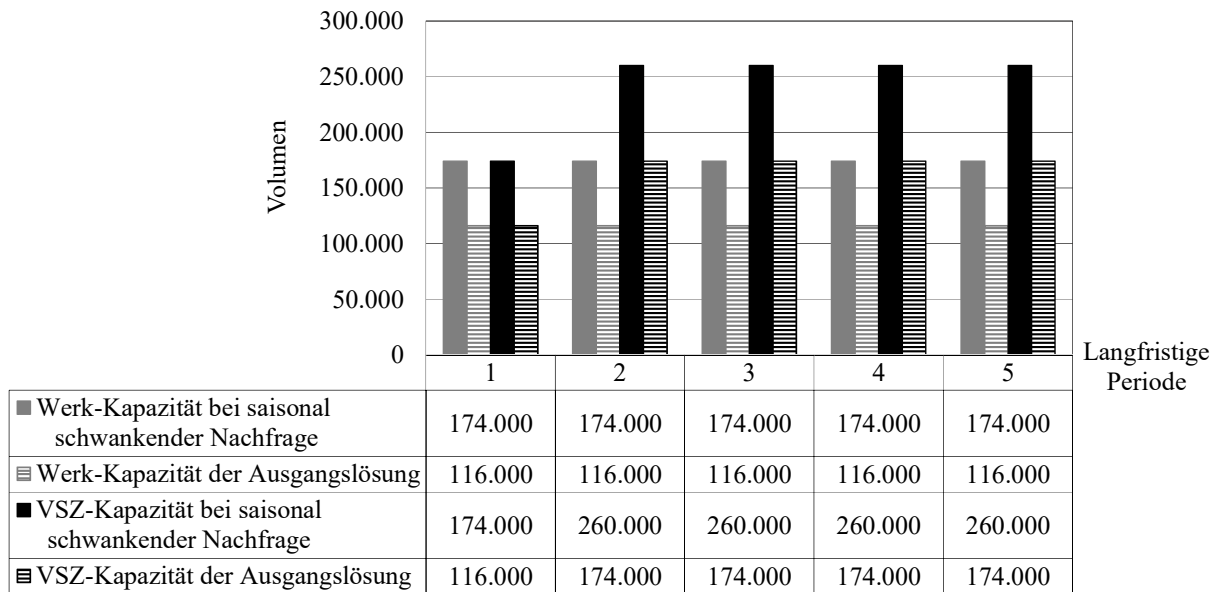


Abbildung 4.16: Werk- und VSZ-Kapazitäten bei saisonal schwankender Nachfrage und im Ausgangsbeispiel über den Planungshorizont (Eigene Darstellung)

Durch das FLCAPPTR2-Modell kann das Entscheidungsproblem der SC-Planung bei kapazitierten Standorten differenzierter als durch das FLCAPPR-Modell und, insbesondere, ein diskretes Standortplanungsmodell betrachtet werden. Die obige Lösung zeigt, dass dadurch saisonal schwankende Nachfrage und ihr Einfluss auf die Entscheidung, ob ein Netzwerkaufbau lohnenswert ist, erfasst werden können.

Die Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass durch saisonale Nachfrage-Schwankungen bei auftragsbezogener Fertigung so hohe Kapazitätskosten folgen können, dass die Befriedigung der Nachfrage ökonomisch nicht sinnvoll ist. Also sollte eine SC-Planung bei auftragsbezogener Fertigung auch die mittelfristige Planungsebene miteinbeziehen, wie im FLCAPPTR2-Modell, sodass saisonale Nachfrage-Schwankungen berücksichtigt werden können.

Fazit

Die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung in einer CLSC mit Refabrikation beeinflussen sich gegenseitig, wie mit dem FLCAPPR-Modell

in Abschnitt 4.1 gezeigt wurde. Also müssen sie gemeinsam und gleichzeitig geplant werden. Allerdings haben diese Planungen unterschiedliche, langfristige und mittelfristige Entscheidungszeitpunkte.

In diesem Abschnitt wurde eine sinnvolle Einteilung der Planungen zur strategischen und taktischen SC-Ebene mit langfristigen bzw. mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten diskutiert. Daraufhin wurde das FLCAPPR-Modell um zusätzliche mittelfristige Entscheidungszeitpunkte für die Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung zum FLCAPPTR2-Modell erweitert.

Nach dem FLCAPPTR2-Modell ist es optimal, in jeder mittelfristigen Periode einer langfristigen Periode Komponenten zu beschaffen, Güter in Standorten durch Personal zu bearbeiten und Güter im Netzwerk zu transportieren, um Nachfrage zu befriedigen. Die Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmengen und Personalbestände der reinen langfristigen Planung werden gleichmäßig auf die mittelfristigen Perioden einer langfristigen Periode aufgeteilt.

Abweichungen zur reinen langfristigen Planung mit dem FLCAPPR-Modell entstehen durch vorgegebene Parameter, wie Entsorgungsanteile und Veränderungsschritte des Personalbestands und der Kapazität, in Verbindung mit der Ganzzahligkeit-Vorgabe für Variablen. Die Beschaffungs-, Transport-, Entsorgungs- und Bearbeitungskosten sind mengenabhängig, daher verändern sich diese Kostenterme durch die Unterteilung der Mengen auf die mittelfristigen Entscheidungszeitpunkte gegenüber der Lösung mit reinen langfristigen Entscheidungszeitpunkten nicht.

Weiterhin fallen Lohnkosten für jede Arbeitsstunde verbunden mit der Bearbeitungsmenge an und werden daher über die mittelfristigen Perioden der langfristigen Planungsperioden aufsummiert. Da das Personal nun allerdings mittelfristig den Bearbeitungsmengen angepasst werden kann, kann der Bedarf an Personal genauer abgeschätzt werden und die Lohnkosten können etwas geringer als bei einer reinen langfristigen Planung sein.

Die Erweiterung um einen mittelfristigen Planungshorizont hat einen Einfluss auf die Standort- und Kapazitätsplanung und die damit verbundenen Kosten. Im Gegensatz zum diskreten Standortplanungsmodell, wie dem FLPR-Modell, aber auch dem erweiterten FLCPR- und FLCAPPR-Modell wird mit dem FLCAPPTR2-Modell erfasst, dass über

den langfristigen Planungshorizont hinweg Einheiten wiederholt, zu den mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten anstatt nur einmalig im Netzwerk transportiert werden.

Dadurch sind die einzelnen Transportmengen niedriger, die in bzw. aus Standorte hinein- bzw. herausfließen, und die maximale Flussmenge, die in der langfristigen Periode durch den Standort fließt, ist niedriger als bei einer Planung mit nur langfristigen Entscheidungszeitpunkten. Daraus folgt eine bessere Erfassung des Bedarfs an Standort-Kapazitäten. In der Sensitivitätsanalyse des FLCAPPTR2-Modells konnte gezeigt werden, dass dadurch auch weniger offene Standorte zur Befriedigung der Nachfrage benötigt werden.

Daher sind die Kapazitäts- und Standort-Eröffnungskosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage nach dem FLCAPPTR2-Modell geringer als nach dem FLCAPPR-Modell; im Gegensatz zu den Lohnkosten der Arbeitsstunden fallen die Kosten für Kapazitätsaufbau und Standorteröffnung einmalig an und Standort-Kapazitäten werden zu (ausschließlich) langfristigen Entscheidungszeitpunkten geplant. Also müssen Standort-Kapazitäten für die maximale Durchfluss- und ggf. Lagermenge innerhalb der langfristigen Periode ausreichen.

So werden die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz von Produkten zur Nachfrage-Befriedigung mit dem FLCAPPTR2-Modell genauer als mit dem FLCAPPR-Modell, also einer rein langfristigen Planung, erfasst; das FLCAPPTR2-Modell gibt niedrigere Kosten als bei einer Planung mit nur langfristigen Entscheidungszeitpunkten an. Dadurch ist es nach einer Planung mit dem FLCAPPTR2-Modell bei niedrigeren (vorgegebenen) Strafkosten bzw. entgangenen Erlösen für unbefriedigte Nachfrage als bei einer rein langfristigen Planung ökonomisch sinnvoll, Nachfrage zu befriedigen bzw. in den Markt einzutreten.

Zudem wird durch die Erweiterung um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte der Kapazitätsbedarf im WZ bei Refabrikation genauer als bei einer reinen langfristigen Planung, wie im FLCAPPR-Modell, abgebildet. So sind die Kosten verbunden mit Refabrikation nach dem FLCAPPTR2-Modell niedriger als bei einer Planung mit nur einer zeitlichen Ebene und Refabrikation ist nach dem FLCAPPTR2-Modell bei niedrigerer Subvention bzw. Kostendifferenz zu den Beschaffungskosten als beim FLCAPPR-Modell ökonomisch sinnvoll.

D.h. das FLCAPPTR2-Modell stellt eine Verbesserung gegenüber dem diskreten Standortplanungsmodell bzw. FLPR-Modell und dem FLCPR- und FLCAPPR-Modell zur CLSC-Planung dar.

Nachfrage für Konsumgüter schwankt häufig saisonal, z.B. wetterbedingt oder durch andere jährlich wiederkehrende Ereignisse, wie z.B. das Weihnachtsgeschäft, Urlaubszeiten im Sommer und zusätzliche Investitionen können aus dem Feststellen von übriggebliebenen Mitteln beim Abschluss des Geschäftsjahres folgen. Mit dem FLCAPPTR2-Modell kann eine saisonal schwankende Nachfrage, also Nachfrage-Schwankungen innerhalb einer langfristigen Periode, bei der Planung erfasst werden.

Die Lösung des FLCAPPTR2-Modells für ein Beispiel mit saisonal schwankender Nachfrage zeigte, dass sie Einfluss auf die Planung hat. In dieser Arbeit untersuchten SC ist die Fertigung auftragsbezogen, daher können Nachfrage-Schwankungen nicht durch die Lagerhaltung von Produkten ausgeglichen werden. Außerdem kann Nachfrage nicht zurückgestellt werden, also muss sie immer sofort befriedigt werden. Dafür muss genügend Personal zur Verfügung stehen und die Kapazitäten der Standorte müssen ausreichen.

Während Arbeitsstunden in Standorten mittelfristig saisonal schwankender Nachfrage angepasst werden, können Kapazitäten nur langfristig verändert werden. Die (langfristige) Kapazität muss für die höchste saisonale Nachfrage ausreichen und Kapazitäten sind mit vergleichsweise hohen (einmaligen) Kosten verbunden. Dadurch können die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage durch saisonale Schwankungen so hoch ansteigen, dass es für das produzierende Unternehmen nicht mehr lohnenswert ist, überhaupt Produkte herzustellen und abzusetzen.

Also ist eine langfristige SC-Planung mit Berücksichtigung der mittelfristigen Planungsebene, wie im FLCAPPTR2-Modell, gerade bei einer auftragsbezogenen Fertigung sinnvoll.

5 Zusammenfassung, Limitationen und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein quantitativer Ansatz zur Planung der CLSC eines produzierenden Unternehmens entwickelt. Das Unternehmen ist gesetzlich zur Produktrücknahme verpflichtet und kann die zurückgegebenen Produkte bearbeiten, um daraus wiederaufbereitete, neuwertige Komponenten zu gewinnen. Diese können als Alternative zu extern beschafften Komponenten zur auftragsbezogenen Fertigung von neuwertigen, modularen Produkten genutzt werden.

In Kapitel 1 und 2 dieser Arbeit wurde in die Thematik von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen und das Entscheidungsproblem dieser Arbeit eingeführt sowie ein Modell aus der Literatur zur CLSC-Planung präsentiert. Es zeigte sich, dass der bisherige quantitative Ansatz zur CLSC-Planung, also das diskrete Standortplanungsmodell, erweitert werden muss, sodass das Entscheidungsproblem der CLSC-Planung vollständig erfasst wird.

Daher wurde dieses Modell sukzessive in Kapitel 3 und 4 weiterentwickelt; in Abbildung 5.1 sind alle Modelle, die in dieser Arbeit neu entwickelt wurden, und ihre Beziehung zueinander dargestellt. Diese Modelle und die Erkenntnisse, die durch diese Modelle gewonnen werden konnten, werden im Folgenden in Abschnitt 5.1 zusammengefasst.

Im Anschluss daran werden in Abschnitt 5.2 die Limitationen der in dieser Arbeit entwickelten Modelle und gewonnenen Ergebnisse diskutiert und ein Ausblick auf weitere Forschungsaufgaben gegeben.

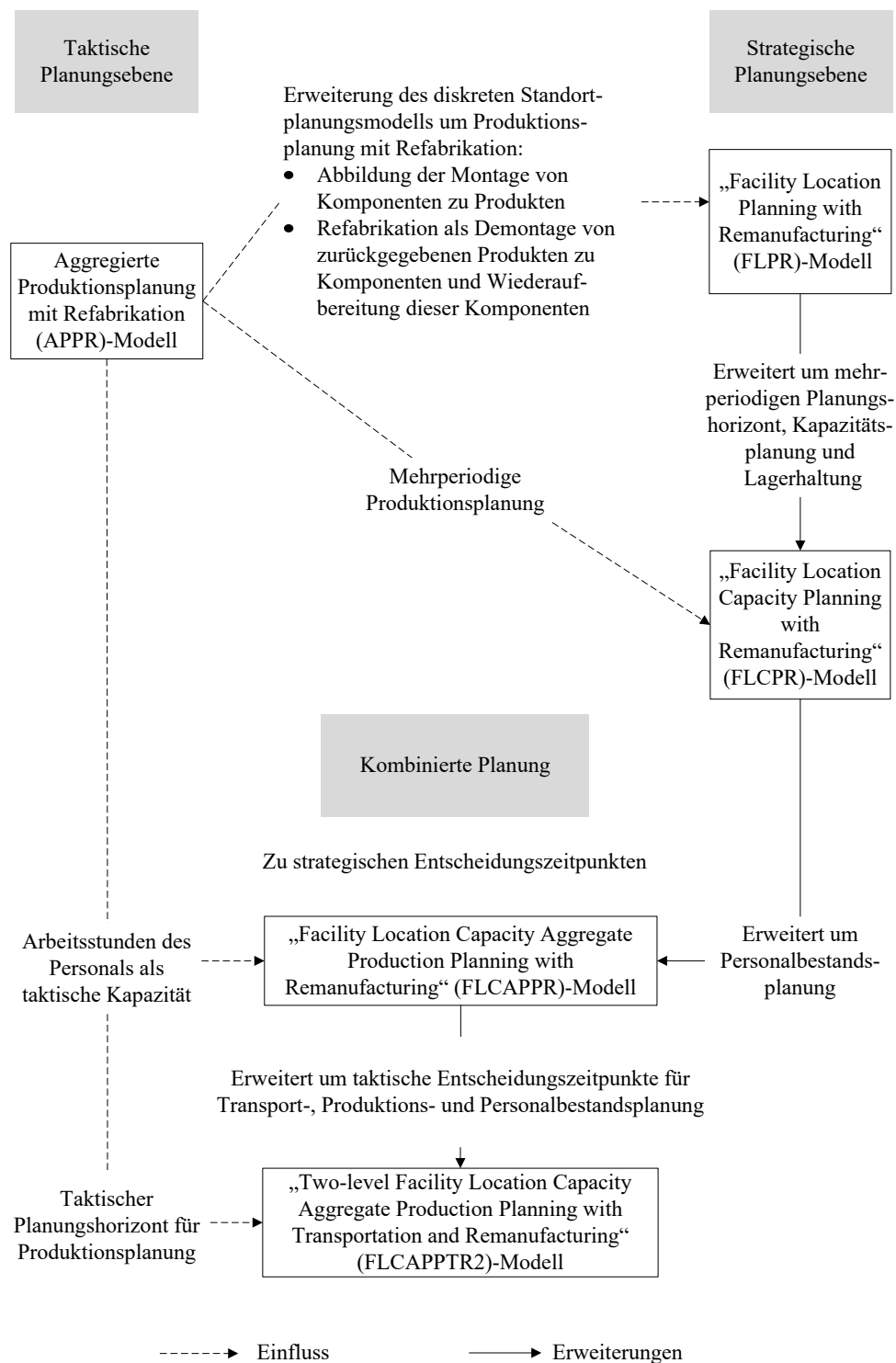


Abbildung 5.1: Überblick über die Entwicklung der neuen mathematischen Modelle, die in dieser Arbeit dokumentiert wurde (Eigene Darstellung)

5.1 Zusammenfassung

Produzierende Unternehmen übernehmen aus gesetzlicher Verpflichtung, ökonomischem Interesse oder gesellschaftlichem Engagement Verantwortung für ihre gebrauchten Produkte; die unterschiedliche Motivation von produzierenden Unternehmen zur Übernahme von Produkt-Verantwortung wurde in Abschnitt 1.3 diskutiert.

Produktrückgaben können die SC eines produzierenden Unternehmens erweitern oder unabhängig von der SC des produzierenden Unternehmens entstehen neue SC mit (ausschließlich) rückwärtsgerichteten Produktflüssen. Die Tätigkeiten und Akteure in diesen SC unterscheiden sich von denen in traditionellen SC, in denen Produkte ausschließlich vorwärts fließen. In Abschnitt 2.1 wurden diese Unterschiede vorgestellt. Weiterhin wurden in diesem Abschnitt unterschiedliche SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen diskutiert.

Diese SC weichen voneinander ab, da die Rückgabe von Gütern aus unterschiedlichen Gründen von Kunden oder unternehmensintern stattfindet, die Rücknahme und Rückführung dieser Rückgaben von unterschiedlichen Akteuren durchgeführt wird und es für die Rückgaben unterschiedliche Verwertungsformen gibt. Die unterschiedlichen Verwertungsformen für Rückgaben wurden ebenfalls in Abschnitt 2.1 präsentiert.

Daraus ergeben sich unterschiedliche Netzwerkstrukturen für SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen. In Abhängigkeit von der Motivation des produzierenden Unternehmens zur Produkt-Rücknahme, der Wiederverwertungsform und den beteiligten Akteuren werden diese SC-Netzwerke in Abschnitt 2.1.1 in unterschiedliche Typen kategorisiert.

Durch rückwärtsgerichtete Produktflüsse entstehen neue Planungsprobleme für das SCM; diese Probleme sind abhängig vom Netzwerktyp und wurden in Abschnitt 2.1.2 vorgestellt. Sie können je nach ihrem Planungshorizont in die strategische, taktische oder operative Planungsebene des SCM eingeteilt werden, wie in Abschnitt 2.1.2 diskutiert wurde.

Untersuchungsgegenstand und Ziel dieser Arbeit sowie Stand der Forschung

In dieser Arbeit wurden quantitative Ansätze zur Planung einer CLSC mit Refabrikation auf Komponentenebene und auftragsbezogener Fertigung von modularen Produkten

unter beschränkten Kapazitäten entwickelt. Modulare Produkte und auftragsbezogene Fertigung sind die Grundlagen für eine erfolgreiche flexible Massenproduktion („mass customization“), wie in Abschnitt 1.1 diskutiert. Die flexible Massenproduktion stellt eine Lösung für den Zielkonflikt zwischen dem (klassischen) Kostenminimierungsziel und der Fertigung unterschiedlicher oder sogar kundenspezifischer Produkte dar. CLSC mit Refabrikation auf Komponentenebene und auftragsbezogener Fertigung von modularen Produkten können z.B. in der Kopiergeräte-Industrie bei Océ [107] und Xerox [102] beobachtet werden.

Das Netzwerk dieser CLSC besteht aus Standorten, in denen Produkte neu aus Komponenten montiert und über weitere Standorte zu Kunden transportiert werden. Durch gesetzliche Vorgaben ist das produzierende Unternehmen zur Einsammlung von Produktrückgaben verpflichtet. Diese werden entweder entsorgt oder zu Komponenten demontiert und wiederaufbereitet, sodass neuwertig wiederaufbereitete Komponenten als Produktionsinput wieder in den vorwärtsgerichteten Fluss integriert werden können.

In dieser CLSC stellt Refabrikation eine alternative Quelle zur externen Beschaffung von Produktionsinput dar. Diese Kreislaufführung von Gütern führt zu besonderen Planungsanforderungen; diese Anforderungen wurden in Abschnitt 2.1.2 erläutert und von den Planungsanforderungen anderer SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen abgegrenzt. Bisherige quantitative Ansätze erfassen diese speziellen Planungsanforderungen nicht. In Abschnitt 2.1.3 wurden quantitative Ansätze aus der Literatur zur Unterstützung der Planung von SC mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen präsentiert und die in dieser Arbeit entwickelten Ansätze davon abgegrenzt.

Die Ansätze, die in dieser Arbeit entwickelt wurden, basieren auf dem diskreten Standortplanungsmodell, das in Abschnitt 2.2.1 eingeführt und danach in Abschnitt 2.2.2 kritisch diskutiert wurde. In Abschnitt 2.3.1 wurden diskrete Standortplanungsmodelle zur CLSCN-Planung aus der Literatur diskutiert und danach wurde in Abschnitt 2.3.2 das diskrete Standortplanungsmodell von Salema et al. (2007)[150] (korrigiert) vorgestellt.

Das Modell von Salema et al. (2007)[150] bestimmt Standorte und Transportmengen in einem Netzwerk mit vor- und rückwärtsgerichteten Produktflüssen unter Berücksichtigung von Strafkosten bzw. entgangenen Erlösen für unbefriedigte Nachfrage optimal.

Die Bedeutung und Wirkung von Strafkosten bzw. entgangenen Erlösen für unbefriedigte Nachfrage im diskreten Standortplanungsmodell wurde in Abschnitt 2.3.3 erläutert. Danach wird das Modell mit Beispieldaten eines Kopiergeräteherstellers aus [52] gelöst.

Durch die Berücksichtigung von Strafkosten bzw. entgangenen Erlösen für unbefriedigte Nachfrage zusätzlich zu den Eröffnungskosten von Standorten und Transportkosten für Güter im Netzwerk führt ein diskretes Standortplanungsmodell nicht nur zu einem kostenoptimalen, sondern auch ökonomisch sinnvollen Netzwerk für den Entscheidungsträger. Ökonomisch sinnvoll bedeutet, dass die Erlöse durch die Befriedigung von Nachfrage die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage übersteigen.

Die Ergebnisse des Modells von Salema et al. (2007)[150] für das Beispiel des Kopiergeräteherstellers belegen diese Wirkung. Weiterhin kann in der Sensitivitätsanalyse des Modells von Salema et al. (2007)[150] die Bedeutung der Standort-Kapazitäten für das Netzwerk und die Entscheidung zur Befriedigung von Nachfrage festgestellt werden. Zudem kann beobachtet werden, dass vor- und rückwärtsgerichtete Produktflüsse in der CLSC zusammenhängen und daher gemeinsam (anstatt getrennt) geplant werden müssen.

Die Rückführung und Re-Integration von Produktrückgaben in den vorwärtsgerichteten Produktfluss zur Befriedigung von Nachfrage ist ökonomisch nur sinnvoll, wenn dadurch Kostenersparnisse in der Beschaffung generiert werden können und diese die Kosten verbunden mit der Rückführung und Re-Integration übersteigen. Außerdem kann gezeigt werden, dass dafür ausreichend Produktrückgaben und Kapazitäten in den relevanten Standorten vorhanden sein müssen. In Abschnitt 2.3.4 werden die Ergebnisse des Modells von Salema et al. (2007)[150] zusammengefasst und notwendige Erweiterungen zur angemessenen Erfassung des Entscheidungsproblems vorgestellt.

Durch das Modell von Salema et al. (2007)[150] werden nur Standorte und Transporte und keine Beschaffung von Produktionsinput, Produktherstellung, Refabrikation oder Kapazitäten geplant. So werden die speziellen Planungsprobleme einer CLSC mit auftragsbezogener Fertigung von modularen Produkten und Refabrikation auf Komponentenebene, die in Abschnitt 2.1.1 und 2.1.2 herausgearbeitet wurden, vernachlässigt. Weiterhin ist kritisch, dass die Auswahl von Standorten und die Bestimmung von Transportmengen im Netzwerk nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150] nur von kapazitätsunabhängigen

Standort-Eröffnungskosten und Transportkosten abhängt.

D.h. das diskrete Standortplanungsmodell ist zur Planung der SC eines produzierenden Unternehmens und, insbesondere, zur CLSC-Planung ungeeignet, wie in Abschnitt 2.2.2, 2.2.3 und 2.3.4 erläutert. Daher wird in dieser Arbeit das diskrete Standortplanungsmodell schrittweise in Kapitel 3 und 4 erweitert, sodass ein geeignetes Modell zur CLSC-Planung resultiert.

Vom diskreten Standortplanungsmodell zum FLPR-Modell

In Abschnitt 3.1 wird die Standort- und Transportplanung basierend auf dem diskreten Standortplanungsmodell um Produktionsplanung mit Refabrikation erweitert. Da es in der bisherigen Literatur keine zum Entscheidungsproblem dieser Arbeit passenden Ansätze zur integrierten Standort-, Transport- und Produktionsplanung gibt, wie in Abschnitt 3.1.1 erläutert, musste in dieser Arbeit ein eigener Ansatz zur kombinierten Planung entwickelt werden.

Dafür wurde in Abschnitt 3.1.2 die (aggregierte) Produktionsplanung zur taktischen SC-Planung eingeführt, von der operativen SC-Planung abgegrenzt und quantitative Ansätze zur taktischen Produktionsplanung vorgestellt. Die bisherigen deterministischen Ansätze zur Produktionsplanung mit Lagerhaltungsmanagement in CLSC wurden ebenfalls diskutiert. Keiner dieser Ansätze bildet eine Produktion und Refabrikation bei auftragsbezogener Fertigung von modularen Produkten unter beschränkten Kapazitäten über einen diskreten und endlichen Planungshorizont ab. Also musste in dieser Arbeit zunächst ein eigenes mathematisches Modell zur Produktionsplanung mit Refabrikation entwickelt werden, bevor ein kombiniertes Modell zur Standort-, Transport- und Produktionsplanung aufgestellt werden konnte.

Dazu wurde in Abschnitt 3.1.2 die Produktion und Refabrikation des Kopiergeräteherstellers Xerox basierend auf [102] vorgestellt, da das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit die CLSC eines Kopiergeräteherstellers ist. Danach wurde dieses Produktions- bzw. Wiederaufbereitungssystem aggregiert mathematisch abgebildet; das APPR-Modell zur aggregierten Produktionsplanung mit Refabrikation auf Komponentenebene bei auftragsbezogener Fertigung von modularen Produkten unter beschränkten Kapazitäten über einen

diskreten Planungshorizont resultiert daraus.

Das APPR-Modell gehört zur taktischen SC-Planung und bildet daher die Produktion und Refabrikation in einem Standort ab. In dieser Arbeit wird allerdings die gesamte SC betrachtet, die aus einem Netzwerk aus mehreren Standorten für Produktion und Refabrikation besteht. In Abschnitt 3.1.3 wurde das CLSCN basierend auf dem Kopiergerätehersteller-Beispiel in [52] und [102] präsentiert.

Danach wurde das diskrete Standortplanungsmodell dieses CLSCN um die Produktionsplanung nach dem APPR-Modell zum FLPR-Modell erweitert. Mit dem FLPR-Modell können zusätzlich zu Standorten und Transportmengen, Beschaffungs- und Bearbeitungsmengen optimal bestimmt werden. Im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] wird nun die Transformation von Produktionsinput bzw. Komponenten zu Produkten und die Refabrikation als Prozess aus Demontage und Wiederaufbereitung abgebildet. So werden das „Dual Sourcing“ im CLSC und modulare Produkte, die sich in ihrer Zusammensetzung aus Komponenten unterscheiden, bei der SC-Planung erfasst.

Die Lösung des FLPR-Modells für das Kopiergerätehersteller-Beispiel zeigt die Vorteile der Erweiterungen gegenüber dem Modell von Salema et al. (2007)[150]. Die Planung nach dem FLPR-Modell führt zwar zu höheren Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage als im Modell von Salema et al. (2007)[150]. Allerdings vernachlässigt das Modell von Salema et al. (2007)[150] Beschaffungskosten, die im FLPR-Modell berücksichtigt werden. Ohne diese Kosten sind die Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage nach dem FLPR-Modell niedriger als nach dem Modell von Salema et al. (2007)[150].

Die Beschaffungsentscheidung beeinflusst das Netzwerk und dieser Einfluss wird mit dem FLPR-Modell im Gegensatz zum Modell von Salema et al. (2007)[150] bei der Planung erfasst. In der Sensitivitätsanalyse des FLPR-Modells wurde der Zusammenhang zwischen der Beschaffungsentscheidung, der Standortplanung und den Kapazitäten der Standorte weiter untersucht und belegt. Nur durch die erweiterte mathematische Abbildung des Entscheidungsproblems im FLPR-Modell wird dieser Zusammenhang bei der Planung berücksichtigt.

Außerdem liefert das FLPR-Modell auch weitere Erkenntnisse über das Entscheidungspro-

blem. Das FLPR-Modell bildet die Verpflichtung des produzierenden Unternehmens zur Produktrücknahme und die Einsammlung der Rückgaben in Standorten, von denen Produkte auch vorwärts zu Kunden verteilt werden, ab. So wird die gesetzliche Verpflichtung durch die WEEE-Richtlinien [41] [42] und die Refabrikation des Kopiergeräteherstellers Xerox, die in King et al. (2006)[102] beschrieben wird, erfasst. Der Einfluss der Verpflichtung zur Produktrücknahme von gebrauchten Produkten auf das CLSCN konnte in der Sensitivitätsanalyse gezeigt werden. Also sollte die Motivation des Entscheiders für die Produktrücknahme bei der quantitativen Modellierung berücksichtigt werden.

Übereinstimmend mit dem Modell von Salema et al. (2007)[150] wurde mit dem FLPR-Modell der Einfluss der Kapazitäten auf das CLSCN festgestellt. Allerdings werden Kapazitäten durch die Modelle, die auf dem diskreten Standortplanungsmodell basieren, nicht optimal bestimmt, sondern werden bei der Planung vorgegeben. Zudem sind die Kosten verbunden mit offenen Standorten im diskreten Standortplanungsmodell unabhängig von deren Kapazität. So werden Standort-Kapazitäten den Durchflussmengen der Standorte nicht angepasst und Überkapazitäten können vorliegen, wie die Lösungen des Modells von Salema et al. (2007)[150] und des FLPR-Modells zeigen. Überkapazitäten stellen ein Problem für den Erfolg von Refabrikation dar, wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert.

Zudem können durch zu niedrige Kapazitäten pro Standort die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz der nachgefragten Produkte oder mit Refabrikation durch zusätzliche Standort-Eröffnungskosten so ansteigen, dass die Befriedigung von Nachfrage oder Refabrikation ökonomisch nicht sinnvoll ist. In den Sensitivitätsanalysen des Modells von Salema et al. (2007)[150] und des FLPR-Modells konnte dieser Zusammenhang beobachtet werden. Also müssen Kapazitäten in die Planung miteinbezogen werden.

Weiterhin berücksichtigen das Modell von Salema et al. (2007)[150] und das FLPR-Modell nur eine Planungsperiode. So kann die Produkt-Nachfrage und die Rückgabe nicht über die Produkt-Lebensdauer, also den Zeitraum, in dem Nachfrage nach Produkten vorliegt, beobachtet werden und der Einfluss von zeitlichen Effekten auf den Erfolg von Refabrikation, der in Abschnitt 2.1.2 vorgestellt wurde, wird vernachlässigt.

Zudem haben Entscheidungen über Standorte und Transporte eine unterschiedliche zeitliche Dimension, die durch ein einperiodiges diskretes Standortplanungsmodell nicht ab-

gebildet werden kann. Nachfrage kann durch Produkt-Transporte von einmal eröffneten Standorten in jeder Periode der Produkt-Lebensdauer befriedigt werden. In dieser Arbeit wird sogar eine auftragsbezogene Fertigung untersucht; dieser Aspekt wird durch das einperiodige diskrete Standortplanungsmodell vernachlässigt. Daher wurde das FLPR-Modell zum FLCPR-Modell weiter entwickelt.

Vom FLPR-Modell zum FLCPR-Modell

In Abschnitt 3.2 wurde das FLCPR-Modell vorgestellt. Mit dem FLCPR-Modell können Standorte, Kapazitäten, Beschaffungs-, Bearbeitungs-, Lager- und Transportmengen in einem CLSCN über einen Planungshorizont, der die Lebensdauer von Produkten erfasst, optimal geplant werden. Die Bedeutung von Lagerhaltung und die Erfassung durch mathematische Modelle wurde in Abschnitt 3.2.1 diskutiert. Dann wurde das FLCPR-Modell vorgestellt und mit den Daten des Anwendungsbeispiels gelöst.

Die Ergebnisse des FLCPR-Modells für das Beispiel des Kopiergeräteherstellers zeigten, dass durch die Kapazitätskosten Überkapazitäten im CLSCN verhindert werden. Durch sog. Kapazitätserlöse in der Zielfunktion wird Kapazitätsabbau erfasst. So können Standort-Kapazitäten über den Planungshorizont verändert werden und den optimalen Durchfluss- bzw. (ggf.) Lagermengen angepasst werden. Zudem sind die Kosten verbunden mit offenen Standorten nun abhängig von der genutzten Kapazität. Weiterhin wurde in der Sensitivitätsanalyse des FLCPR-Modells der wechselseitige Zusammenhang zwischen Standort-, Kapazitäts-, Produktions- und Transportplanung festgestellt.

Bisherige quantitative Ansätze in der Literatur, wie z.B. von [99] [186] [90] für die Produktionsplanung oder von [52] [53] [55] [150] für die Standort- und Transportplanung im CLSC, planen keine Kapazitäten. Desweiteren wird die Produktionsplanung getrennt von der Standort- und Transportplanung im CLSC durchgeführt. Daher konnten bisherige Ansätze keine Zusammenhänge zwischen diesen Planungen erfassen.

Der mehrperiodige Planungsansatz des FLCPR-Modells ermöglicht außerdem die Berücksichtigung der Dauer, die ein Produkt vom Kunden genutzt wird, bevor es zurückgegeben wird. Diese Nutzungsdauer stellt eine zeitliche Verzögerung zwischen dem vor- und rückwärtsgerichteten Produktfluss dar, die zu einem Ungleichgewicht zwischen Nachfrage nach

Produkten bzw. Produktionsinput und dem Angebot von Produktionsinput durch Refabrikation führen kann.

Aus der Sensitivitätsanalyse des FLCPR-Modells konnte gefolgert werden, dass Produkt-Nachfrage lang genug vorliegen und die Nutzungsdauer im Vergleich zur Produktlebensdauer kurz genug sein muss, damit Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Denn nur unter diesen Bedingungen werden so viele Produkte im Planungshorizont zurückgegeben, dass daraus ausreichend wiederaufbereitete Komponenten zur Montage von nachgefragten Produkte gewonnen werden können. Dann übersteigen die Kostenersparnisse in der Beschaffung die mit Refabrikation verbundenen Kosten.

Bei zu kurzer Produktlebensdauer oder zu langer Nutzung können Produktrückgaben bzw. die darin enthaltenen Komponenten nach der Nutzung nicht mehr zur Fertigung von nachgefragten Produkten genutzt werden. Diese Ergebnisse stimmen mit den Merkmalen, die Lund (1998)[120] und Guide (2000)[73] bei empirischen Studien für den Erfolg von Refabrikation festgestellt haben, die in Abschnitt 2.1.1 vorgestellt wurden, überein. Durch das FLCPR-Modell werden diese Aspekte bei der CLSC-Planung berücksichtigt.

Allerdings werden die Kostenersparnisse in der Beschaffung nicht durch die Produktrückgaben verursacht, sondern durch die Komponenten, die durch Demontage von Produktrückgaben zu Komponenten und Wiederaufbereitung dieser gewonnen werden. So hat ebenfalls das Produkt-Design Einfluss auf die Entscheidung, ob Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Wenn z.B. ein Produkttyp nur kurz genutzt und der andere Produkttyp lange genutzt wird, kann die Erhöhung der Anzahl an Komponenten, die gemeinsam für die Herstellung der unterschiedlichen Produkte genutzt werden, im Produkttyp mit kurzer Nutzung dazuführen, dass Refabrikation ökonomisch sinnvoll wird. (Natürlich sollte die Änderung des Produkt-Designs ebenfalls ökonomisch sinnvoll sein.)

Durch die mehrperiodige, kombinierte Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung wird der Einfluss der Produkt-Nutzungsdauer durch Kunden und des Produkt-Designs auf die Entscheidung zur Refabrikation im FLCPR-Modell erfasst. Außerdem ist der zeitliche Verlauf der Nachfrage dafür relevant, ob Refabrikation ökonomisch sinnvoll ist. Die Sensitivitätsanalysen des FLCPR-Modells haben gezeigt, dass mehr oder weniger Nachfrage nicht zwangsläufig zu mehr bzw. weniger wiederaufbereiteten Komponenten in

der Fertigung führt. Sondern die Entwicklung der Nachfrage über den Planungshorizont muss in die langfristige CLSC-Planung miteinbezogen werden.

Wenn z.B. die Nachfrage über den Planungshorizont ansteigt, steigt auch die Rückgabemenge – immer um die Nutzungsdauer verzögert. Dadurch werden die Produkte der Periode mit der höchsten Nachfrage bei zu langer Nutzungsdauer oder zu kurzer Produktlebensdauer nach Ende des Planungshorizonts zurückgegeben (z.B. wenn ein Unternehmen sein eigenes Produkt für einen Produktnachfolger aus dem Markt nimmt). So können aus den Produktrückgaben bzw. wiederaufbereiteten Komponenten keine Kostenersparnisse in der Beschaffung durch Refabrikation erzielt werden.

Weiterhin können die Standort-Kapazitäten bei zu hohem Nachfragewachstum nicht mehr ausreichen und weitere Standort-Eröffnungen beeinflussen Beschaffungs-, Bearbeitungs- und Transportmengen im CLSCN. Wenn eingesammelte Produktrückgaben für die Refabrikation oder wiederaufbereitete Komponenten für die Produktion in eine andere Stadt transportiert werden müssen, steigen die Kosten verbunden mit Refabrikation an. Dann kann die Entsorgung der Produktrückgaben und die externe Beschaffung vom Zulieferer vor Ort günstiger sein. (Die Eröffnung eines zweiten Standorts zur Refabrikation ist für die Daten dieser Arbeit nie ökonomisch sinnvoll, da die Kostenersparnisse durch Refabrikation die Kosten verbunden mit einem zweiten Standort nicht decken.)

Nur eine gemeinsame Planung der Standorte, Kapazitäten und Transporte mit Beschaffung, Produktion und Refabrikation über einen mehrperiodigen Planungshorizont erfasst diese Zusammenhänge. In der Sensitivitätsanalyse des FLCPR-Modells wurde zudem der Einfluss des PLZ auf die Entscheidung zur Refabrikation untersucht; dazu wurden drei unterschiedliche PLZ vorgestellt. Traditionell wird schwankende Nachfrage in Massenmärkten durch eine Glockenkurven-ähnliche Funktion abgebildet, wie in Abschnitt 2.1.2 erläutert.

Schwach schwankende Nachfrage kann bei langlebigen Produkten und stark schwankende Nachfrage kann bei kurzlebigen Produkten, also in Märkten mit schnellem Technologie-wandel, beobachtet werden. Der PLZ kann auch durch Marketingmaßnahmen, wie z.B. die Penetrationsstrategie, die durch niedrige Preise bei der Markteinführung der Produkte möglichst schnell hohe Nachfrage erreichen will, beeinflusst werden, wie in Abschnitt 3.2.2

diskutiert.

Die Entscheidung zur Refabrikation wird durch die in dieser Arbeit untersuchten PLZ nicht beeinflusst. Denn die oben beschriebenen negativen Effekte durch Nachfrageanstieg und -rückgang können bei entsprechend kurzer Nutzungsdauer über den PLZ ausgeglichen werden, da im PLZ die Nachfrage zunächst ansteigt, bevor sie wieder abnimmt.

Nur mit einem mehrperiodigen Planungsansatz, wie im FLCPR-Modell, werden diese zeitlichen Effekte bei der quantitativen Planung berücksichtigt und eine mehrperiodige gemeinsame Planung von Standorten, Kapazitäten, Produktion und Transporten ist notwendig, um die wechselseitigen Abhängigkeiten zu erfassen. So kann z.B. untersucht werden, ob Rückgabezeitpunkte bzw. Nutzungsdauern, vorgegeben durch Leasingverträge oder Rückkauf-Aktionen, zu lohnenswerter Refabrikation führen.

Außerdem konnte mit dem FLCPR-Modell festgestellt werden, dass Umverteilung, also der Transport zwischen Standorten einer Netzwerkebene unter bestimmten Bedingungen optimal ist. In der Literatur wird Umverteilung in der Regel als Mittel beschrieben, um Diskrepanzen zwischen dem Lagerbestand an Produkten in Standorten und der Nachfrage des Standorts auszugleichen [86]. Durch Umverteilung können die Lagerbestände in Standorten auf einer Netzwerkebene zusammengelegt werden. Dadurch soll der Kundenservice verbessert und die Kosten verbunden mit der Nachfrage-Befriedigung verringert werden [38].

Da in dieser Arbeit eine SC mit auftragsbezogener Fertigung untersucht wird, können keine gelagerten Produkte umverteilt werden. Allerdings ist die Umverteilung von gelagerten Komponenten zwischen Werken optimal, wenn das Angebot an Komponenten von externen Zulieferern geographisch und zeitlich begrenzt ist und entsprechende Transportkosten für Umverteilung vorliegen. Zudem reichen die wiederaufbereiteten Komponenten aus den Produktrückgaben nicht zur Herstellung der gesamten nachgefragten Produkte aus.

Dann werden die zur Befriedigung der Nachfrage benötigten Komponenten beschafft und in Werk-Standorten gelagert, wodurch in den folgenden Perioden ausreichend Komponenten zur Herstellung der nachgefragten Produkte zur Verfügung stehen. Wenn der Transport zwischen Werken günstiger als der Transport zwischen Werken und VSZ ist, werden

zur Transportkostenminimierung Komponenten zwischen Werken umverteilt. Durch die gemeinsame Planung von Beschaffung, Produktion, Kapazitäten und Standorten im Netzwerk durch das FLCPR-Modell kann dieser Zusammenhang erfasst werden.

In dieser Arbeit konnten keine Daten festgestellt werden, die eine Umverteilung von Gütern auf den anderen Netzwerkebenen zur Folge haben. Dabei ist zu beachten, dass das FLCPR-Modell Umverteilung nur vorgibt, wenn es langfristig ökonomisch sinnvoll ist. In dieser Arbeit werden keine Unsicherheiten bzgl. der Nachfrage, wie z.B. in [86] für eine Produktionsplanung mit Lagerhaltung oder Standortausfälle durch Umweltbedingungen berücksichtigt; die Planung ist deterministisch. D.h. Erweiterungen des FLCPR-Modells um z.B. Unsicherheiten bzgl. der Nachfrage oder Standortausfälle können dazu führen, dass Umverteilung auch auf den anderen Netzwerkebenen ökonomisch sinnvoll ist.

Im FLPR- und FLCPR-Modell wurde die Kapazität der Standorte in Volumen angegeben, allerdings werden in diesen Modellen neben den Durchfluss- und (ggf.) Lagermengen auch die Bearbeitungsmengen im CLSCN bestimmt. Daher muss zusätzlich auch eine Kapazität berücksichtigt werden, die die Bearbeitungsmengen beschränkt, um das Planungsproblem des Entscheiders, also eines produzierenden Unternehmens, vollständig zu erfassen. Also wurde das FLCPR-Modell um eine taktische Kapazität weiterentwickelt.

Vom FLCPR-Modell zum FLCAPPR-Modell

Refabrikation ist nach [73] [96] eine arbeitsintensive Wiederaufbereitungsform und Refabrikation im Anwendungsbeispiel ist ebenfalls arbeitsintensiv [102], wie in Kapitel 2 und Abschnitt 3.1.2 erläutert wurde. Daher wurde das FLCPR-Modell in Abschnitt 4.1 um Personalbestandsplanung zum FLCAPPR-Modell erweitert. Dann wurde dieses Modell ebenfalls zur Planung des Kopiergerätehersteller-Beispiels genutzt.

Die Ergebnisse des FLCAPPR-Modells zeigten, dass die Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung mit der Personalbestandsplanung im CLSC zusammenhängen. Im FLCAPPR-Modell wird die Lagerhaltung als Alternative zur (sofortigen) Bearbeitung von Einheiten und damit auch zeitlichen Verschiebung von Personaleinsatz und als Alternative zum (sofortigen) Transport von Einheiten und damit Bindung von Kapazität in Volumen erfasst.

Zudem konnte anhand der Sensitivitätsanalyse der Einfluss von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und verfügbarem Personal in potentiellen Standorten auf die Standortauswahl und Entscheidung zur Refabrikation festgestellt werden. D.h. die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung sollten gemeinsam und gleichzeitig in einem Modell, wie dem FLCAPPR-Modell, anstatt getrennt oder sequentiell in unterschiedlichen Modellen geplant werden.

Im FLCAPPR-Modell werden alle Planungen auf einer Ebene durchgeführt, d.h. jede Entscheidung wird zu langfristigen Zeitpunkten gefällt. Dagegen werden nach dem diskreten Standortplanungsmodell und dem APPR-Modell die Standort- und Transportplanung und Produktions- und Personalbestandsplanung getrennt voneinander durchgeführt. Das SCM ordnet die Standort-, Kapazitäts-, Transport-, Produktions- und Personalbestandsplanung der strategischen oder taktischen SC-Planungsebene zu.

Die Planungen haben also unterschiedliche Planungshorizonte mit lang- oder mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten anstatt einem gemeinsamen langfristigen Entscheidungszeitpunkt, wie im FLCAPPR-Modell. Insbesondere die auftragsbezogene Fertigung, die in dieser Arbeit untersuchten SC vorliegt, wird durch einen gemeinsamen langfristigen Entscheidungszeitpunkt vernachlässigt. Daher wurde das FLCAPPR-Modell in dieser Arbeit um mittelfristige Entscheidungszeitpunkte weiterentwickelt.

Vom FLCAPPR-Modell zum FLCAPPTR2-Modell

In Abschnitt 4.2.1 wurde eine sinnvolle Einteilung der Planungen in die strategische und taktische Ebene diskutiert. Daraufhin wurde in Abschnitt 4.2.2 das FLCAPPTR2-Modell entwickelt. Nach dem FLCAPPTR2-Modell werden Standorte und Kapazitäten im Netzwerk langfristig geplant und die Produktions-, Personalbestands- und Transportplanung findet zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten unter Einhaltung der langfristig bestimmten Standorte und Kapazitäten statt.

Die Lösung des FLCAPPTR2-Modells für das Kopiergerätehersteller-Beispiel zeigte, dass durch die Berücksichtigung von zusätzlichen mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten die Kosten verbunden mit der Erstellung und dem Absatz nachgefragter Produkte und mit Refabrikation genauer bestimmt werden. Denn das FLCAPPTR2-Modell bildet ab, dass

Einheiten zur Befriedigung der Nachfrage zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten innerhalb einer langfristigen Periode beschafft, bearbeitet, gelagert und transportiert werden. Zudem können Produkte zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten der langfristigen Periode zurückgegeben und danach bearbeitet, entsorgt, gelagert und transportiert werden.

Daraus folgt eine niedrigere maximale Flussmenge durch Standorte und ggf. Lagermenge in Standorten in der langfristigen Periode, für die die Standort-Kapazität optimal bestimmt wird. Zudem kann nun der Personalbestand zu mittelfristigen Entscheidungszeitpunkten der langfristigen Periode verändert werden. Dadurch werden die benötigten Arbeitsstunden und der Kapazitätsbedarf im Netzwerk genauer erfasst, als bei einem rein strategischen Modellierungsansatz, wie im FLCPR- und FLCAPPR-Modell. Außerdem hat die Sensitivitätsanalyse des FLCAPPTR2-Modells verdeutlicht, dass dadurch auch der Bedarf an offenen Standorten besser abgebildet wird.

Dadurch sind die Kapazitätskosten und die Kosten verbunden mit Standorten nach dem FLCAPPTR2-Modell geringer als bei einer Planung mit diskreten Standortplanungsmodellen, wie dem Modell von Salema et al. (2007)[150] und dem FLPR-Modell und denen um Kapazitätsplanung erweiterten Modellen, dem FLCPR- und FLCAPPR-Modell. Daher stellt das FLCAPPTR2-Modell eine Verbesserung gegenüber dem diskreten Standortplanungsmodell und den vorangegangenen Modellen dieser Arbeit zur CLSC-Planung dar. So führt eine Planung mit dem FLCAPPTR2-Modell zu ökonomisch sinnvollen Handlungsempfehlungen für das Entscheidungsproblem dieser Arbeit.

Außerdem kann nun saisonal schwankende Nachfrage bei der SC-Planung berücksichtigt werden. Damit wird eine realistische Abbildung des Entscheidungsproblems erreicht, denn die Nachfrage nach Konsumgütern schwankt häufig saisonal. Die Lösung des FLCAPPTR2-Modells für nicht wetterbedingte saisonal schwankende Nachfrage, die an der Untersuchung der Nachfrage eines Druckerherstellers in [188] angelehnt ist, zeigt, dass durch die Schwankungen die Kosten verbunden mit der Befriedigung der Nachfrage stark ansteigen können.

Da im in dieser Arbeit untersuchten SC die Fertigung auftragsbezogen ist, können keine Produkte gelagert werden und Nachfrage kann nicht zurückgestellt und in einer folgen-

den Periode befriedigt werden. So können saisonale Nachfrage-Schwankungen nicht über die mittelfristigen Perioden einer langfristigen Periode geglättet werden. Also müssen das Personal und die Kapazitäten in den Standorten immer ausreichen, um die Nachfrage der jeweiligen mittelfristigen Periode befriedigen zu können, sonst gehen die mit der Nachfrage-Befriedigung verbundenen Erlöse verloren.

Während die Arbeitsstunden des Personals, falls ausreichend geeignet qualifizierte Arbeitskräfte im Standort vorhanden sind, mittelfristig angepasst werden können, werden die Standort-Kapazitäten langfristig bestimmt. Sie können nicht mittelfristig verändert werden und sind mit hohen Kosten verbunden. Dadurch können die Kosten verbunden mit der Nachfrage-Befriedigung durch saisonale Schwankungen so stark ansteigen, dass ein SC mit auftragsbezogener Fertigung nicht mehr lohnenswert ist.

Dieser negative Aspekt von auftragsbezogener Fertigung kann nur durch die differenzierte Abbildung der SC-Planung im FLCAPPTR2-Modell beobachtet werden; diese Erkenntnisse können nur durch die Erweiterung des diskreten Standortplanungsmodells um Produktions-, Kapazitäts- und Personalbestandsplanung und um eine mittelfristige Planungsebene zum FLCAPPTR2-Modell gewonnen werden.

5.2 Limitationen und Ausblick

Das FLCAPPTR2-Modell, sowie alle weiteren Modelle zur CLSC-Planung, die in dieser Arbeit präsentiert wurden, wurden genutzt, um die CLSC eines Kopiergeräteherstellers zu planen. Grundsätzlich können die Modelle auch zur Planung von CLSC in anderen Industrien angewendet werden; allerdings müssen deren Produkte und Netzwerke vergleichbare Charakteristika aufweisen.

D.h. eine gesetzliche Verpflichtung zur Produktrücknahme liegt vor (siehe Abschnitt 1.3 für gesetzliche Vorgaben zur Produktrücknahme), das Produkt kann in Komponenten demontiert und diese Komponenten können wiederaufbereitet werden (siehe Abschnitt 2.1.1 für die Produkthanforderungen von Refabrikation), neue und zurückgegebene Produkte fließen durch einen gemeinsamen Standort im Netzwerk und die Fertigung ist auftragsbe-

zogen.

Falls die Produktrücknahme nicht gesetzlich vorgegeben ist und getrennte Standorte für das Verteilen und Einsammeln zu planen sind, wie im Modell von Salema et al. (2007)[150] aus Abschnitt 2.3.2, muss das FLCAPPTR2-Modell entsprechend angepasst werden. (Dadurch werden auch die Ergebnisse beeinflusst, wie in Abschnitt 3.1 diskutiert wurde.)

Weiterhin wird in dieser Arbeit die CLSC eines produzierenden Unternehmens untersucht: Produkte werden aus Komponenten hergestellt und Refabrikation findet auf Komponentenebene statt. Wenn nur der Transport von Produkten zu Kunden geplant werden muss, muss natürlich das diskrete Standortplanungsmodell auch nicht um Produktionsplanung erweitert werden. (Das Modell von Salema et al. (2007)[150] aus Abschnitt 2.3.2 plant nur Transporte.)

Refabrikation wird in den Modellen, die in dieser Arbeit entwickelt wurden, als Demontage zurückgegebener Produkte zu Komponenten und Wiederaufbereitung dieser Komponenten abgebildet, wie in Abschnitt 3.1 erläutert. Daher können die Modelle, die in dieser Arbeit entwickelt wurden, auch für die Planung von CLSC mit Ausschachtung und Modernisierung genutzt werden (siehe Abschnitt 2.1 für die Definition der unterschiedlichen Wiederverwertungsformen). Dann werden nicht alle Komponenten wiederverwendet, sondern nur eine Auswahl an Komponenten wird wiederaufbereitet und zur Herstellung von neuen Produkten genutzt. Dafür müssen nur die Daten für den Parameter, der die Menge an einer Komponente angibt, die in einem zurückgegebenen Produkt enthalten ist, entsprechend angepasst werden.

Dagegen sind die Modelle, die in dieser Arbeit entwickelt wurden, nicht zur Planung von Netzwerken mit Recycling oder Wiederverwendung, wie z.B. bei wieder-befüllbaren Behältnissen, geeignet. Die Planungsanforderungen der verschiedenen Wiederverwertungsformen sind zu unterschiedlich; in Kapitel 2.1 sind die speziellen Planungsanforderungen unterschiedlicher Netzwerke mit rückwärtsgerichteten Produktflüssen in Abhängigkeit der Wiederverwertungsformen herausgearbeitet worden.

Weiterhin ist die Annahme einer auftragsbezogenen Fertigung für die Übertragbarkeit der Ergebnisse der dynamischen Modelle dieser Arbeit, also des FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells, relevant. Wenn diese Annahme nicht zutrifft, dann können das

FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell durch entsprechende Nebenbedingungen für den Lagerbestand an fertigen Produkten und Kostenparameter für die Lagerhaltung in der Zielfunktion erweitert werden. Dadurch werden natürlich auch die Ergebnisse beeinflusst.

Limitationen in Bezug auf die Ergebnisse

Weitere Limitationen gibt es hinsichtlich der Ergebnisse, die in dieser Arbeit gewonnen werden konnten. Das Anwendungsbeispiel dieser Arbeit, der CLSC des Kopiergeräteherstellers, wurde aus der Literatur übernommen und vereinfacht abgebildet. So wurden im Anwendungsbeispiel nur Standorte in Deutschland berücksichtigt und kein multi-nationales Netzwerk geplant, obwohl die Refabrikation des Kopiergeräteherstellers Xerox in Großbritannien stattfindet, wie in King et al. (2006)[102] beschrieben.

Außerdem wurde in dieser Arbeit unterstellt, dass der Planungshorizont (maximal) fünf Jahre lang ist. Zudem wird in dieser Arbeit die Produktion und Refabrikation vereinfacht dargestellt. So wurden in dieser Arbeit zwei unterschiedliche Kopiergeräte, die nur aus 3 Komponenten montiert werden, betrachtet, obwohl ein Kopiergerät bzw. seine Komponenten aus mehreren Einzelteilen besteht, wie in Abschnitt 3.1.2 bereits erklärt wurde.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Weiterentwicklung des diskreten Standortplanungsmodells, um eine Verbesserung der quantitativen CLSC-Planung zu erreichen. Durch die Vereinfachungen bzgl. des Anwendungsbeispiels konnte jedes Modell in dieser Arbeit analytisch optimal gelöst und die Ergebnisse konnten im Rahmen dieser Arbeit anschaulich erklärt werden. Weiterhin konnten Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, die die Vor- und Nachteile der jeweiligen Modelle und die Notwendigkeit zur jeweiligen Erweiterung zeigen.

Die optimale Lösung des finalen Modells dieser Arbeit, des FLCAPPTR2-Modells, kann für die betrachtete Größenordnung mit einem aktuellen Solver (ab Gurobi Solver 7.0.1) in vertretbarer Rechenzeit erreicht werden. Eine optimale Lösung des FLCAPPTR2-Modells für einen Planungshorizont von z. B. 10 Jahren oder ein multi-nationales Netzwerk mit mehr potentiellen Standorten als im Anwendungsbeispiel dieser Arbeit ist mit der gegebenen Soft- und Hardware jedoch nicht optimal mit vertretbarem Rechenaufwand zu

erreichen.

Der weitere Fortschritt in Soft- und Hardware wird das optimale Lösen des Modells mit größeren Datensätzen ermöglichen. Dann kann das FLCAPPTR2-Modell für die Planung eines größeren Netzwerks, mit mehr Produkten und Komponenten genutzt werden und Erweiterungen des FLCAPPTR2-Modells wären dann lösbar. Daher werden nun sinnvolle Erweiterungen der Modellierung diskutiert.

Ausblick

Das diskrete Standortplanungsmodell und die Modelle, die in dieser Arbeit entwickelt wurden, erfassen die variablen Produktions- und Transportkosten als lineare Funktionen der Bearbeitungs- bzw. Transportmengen. So werden positive Skaleneffekte einer Massenproduktion ignoriert. Ebenfalls wird in der Personalbestandsplanung im FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell angenommen, dass die Produktivität des Personals konstant ist. D.h. die erwartete Leistungsfähigkeit pro Arbeitskraft gemessen in bearbeiteten Einheiten verändert sich über den Planungshorizont nicht.

Aber die Produktivität steigert sich mit mehr Erfahrung; dieses Lernen konnte in diversen empirischen Studien quantitativ festgestellt werden, z.B. in [24]. In Ebert (1976)[37] wird ein Ansatz zur Produktionsplanung mit steigender Produktivität gezeigt. In Moon (1989)[126] werden die variablen Kosten in den Verteilzentren eines dreistufigen Vertriebsnetzwerks als konkave Funktionen der Transportmengen abgebildet, um positive Skaleneffekte abzubilden.

Die Erweiterung des FLCAPPTR2-Modells um steigende Produktivität nach [37] oder konkave Kosten nach [126] führt zu einem nicht mehr linearen Modell und das Lösen des entsprechenden nicht-linearen Modells wird deutlich schwieriger.

Durch die vereinfachte Abbildung der Produktion in den Modellen, die in dieser Arbeit entwickelt werden, wird nicht berücksichtigt, dass im Fall des Kopiergeräteherstellers die Refabrikation eine SC-interne Alternative zur externen Beschaffung von Komponenten von Zulieferern darstellt und darüber zur Reduzierung des Rohstoffeinsatzes in der Produktion führen kann. In dieser Arbeit, wie in der Literatur zur Standortplanung in CLSC, z.B. von [52] [53] [55] [150], wurde unterstellt, dass stets ausreichend Rohstoffe bzw. Kom-

ponenten oder Produkte zur Befriedigung von Nachfrage zur Verfügung stehen.

Es gibt keine Unsicherheiten bzgl. des Angebots an Produktionsinput und seines Preises bzw. der Beschaffungskosten. Allerdings werden auch in Kopiergeräten Rohstoffe, wie z.B. Nichteisenmetalle, verbaut, deren Angebot knapp ist, wie bereits in Abschnitt 1.3 diskutiert. Also kann das Angebot eines Zulieferers beschränkt sein, da die Rohstoffe zur Herstellung des Produktionsinputs knapp sind, und sich die Preise für den Produktionsinput durch schwankende Rohstoffpreise über den Planungshorizont verändern.

Durch eine Abbildung der Produktion als eine Transformation vom Rohstoff (anstatt Komponente) zum Endprodukt, wie in Paquet et al. (2004)[135] und in Abschnitt 3.1.1 diskutiert, kann der Kopiergerätehersteller in seine Planung Rohstoffpreise bzw. die Knappheit von Rohstoffen mit einbeziehen. Wenn diese Aspekte bei der Planung berücksichtigt werden, kann sich die Bewertung der ökonomischen Vorteile von Refabrikation als alternativer Beschaffungsquelle zu externen Zulieferern verändern.

Zudem ist die Fertigung in der in dieser Arbeit untersuchten CLSC auftragsbezogen, was eine Eigenschaft des „mass customization“ ist, wie in Abschnitt 1.1 erläutert. D.h. erst nach Auftragseingang wird mit der Erstellung des Produkts angefangen. Dafür muss ausreichend Produktionsinput zur Verfügung stehen. Lange Lieferzeiten von Zulieferern oder sogar der Ausfall eines Zulieferers kann die Erstellung des nachgefragten Produkts lange verzögern und zum Verlust von Nachfrage führen. Also muss gerade bei Produkten, die auftragsbezogen hergestellt werden, der Produktionsinput gesichert sein.

D.h. es kann für ein produzierendes Unternehmen sinnvoll sein, das FLCAPPTR2-Modell um eine detaillierte Produktionsplanung zu erweitern, um Rohstoffpreise oder sogar den Ausfall externer Zulieferer bei der Entscheidung zur Refabrikation zu berücksichtigen.

Ebenfalls kann eine Erweiterung des FLCAPPTR2-Modells um die Wahl des Produkt-Designs, wie z.B. im multikriteriellen Entscheidungsmodell von Krikke et al. (2003)[108] (das in Abschnitt 3.1.1 diskutiert wurde), sinnvoll sein. So kann ein produzierendes Unternehmen mit der quantitativen CLSC-Planung feststellen, welches Produkt-Design dazu führt, dass Refabrikation lohnenswert ist.

Bei der in dieser Arbeit untersuchten Fertigung von Xerox werden die Kopiergeräte nach der Montage in einem weiteren Schritt den Kundenbedürfnissen angepasst (siehe Erläu-

terungen in Abschnitt 3.1.2) und nur eine geringfügige Individualisierung der Produkte findet statt. So wurde dieser Schritt in der aggregierten Produktionsplanung in den Modellen dieser Arbeit nicht erfasst.

Die Herstellung individualisierter Produkte bedeutet aber eigentlich eine deutlich stärkere Differenzierung, wie von Pine et al. (1995)[138] hervorgehoben. Mit der Herstellung individualisierter Produkte sind hohe Produktionskosten verbunden. Außerdem gibt es einige weitere Herausforderungen an das Management, die mit der Umstellung einer Massenproduktion auf eine individualisierte Massenfertigung verbunden sind, wie z. B. in [137] [138] beschrieben.

Also kann es für ein produzierendes Unternehmen sinnvoll sein, die Abbildung der Produktion im FLCAPPTR2-Modell weiterzuentwickeln, um die Individualisierung der Produkte nach Kundenwünschen abzubilden. So kann bei einer quantitativen Planung mit dem FLCAPPTR2-Modell festgestellt werden, ob individualisierte Produkte ökonomisch überhaupt sinnvoll sind.

Desweiteren werden in den Modellen dieser Arbeit, wie in diskreten Standortplanungsmodellen für CLSCN üblich, z.B. in [52] [53] [55] [150], vereinfachende Annahmen über die Qualität der Produktrückgaben getroffen. Es wird ein produktunabhängiger Entsorgungsanteil an Produktrückgaben vorgegeben. Allerdings haben Produktrückgaben eine unterschiedliche Qualität.

Die Nutzungsdauer und das Nutzungsverhalten des Kunden bestimmt den Zustand der Produktrückgabe. Durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Qualitätskategorien für Produktrückgaben in der Modellierung, wie im Modell von Jayaraman (2006)[96] zur Planung einer Handy-Refabrikation, können diese Qualitätsunterschiede bei der Planung erfasst werden. So können Bearbeitungszeiten sowie -kosten in Abhängigkeit von der Qualitätskategorie der Produktrückgaben modelliert werden. Dadurch werden die Kosten verbunden mit Refabrikation genauer bestimmt und die Planung verbessert.

Außerdem wurde in dieser Arbeit angenommen, dass jede Komponente wiederaufbereitet werden kann, unabhängig davon, ob sie bereits wiederaufbereitet wurde. Die Lebensdauer der Komponenten in den mehrperiodigen Modellen dieser Arbeit wird nur durch die Lebensdauer der Produkte begrenzt.

Ferrer (1997)[45] haben diese Zusammenhänge für PKWs, Autoreifen und Karkassen untersucht. Sie stellen fest, dass die Lebensdauer eines PKWs 11-12 Jahre beträgt und im Durchschnitt in diesem Zeitraum dreimal die Reifen des Autos ausgetauscht werden müssen. Die Lebensdauer eines Reifens beträgt 150.000 km; dagegen können die Karkassen von Auto-Reifen 500.000 km leisten.

Also haben die Karkassen eine längere Lebensdauer als die Reifen. Sie ist mit der PKW-Lebensdauer vergleichbar. D.h. in der Lebensdauer eines PKWs könnten Karkassen dreimal zur Erstellung neuwertiger Reifen für den PKW wiederverwendet werden [45] [62].

Für die in dieser Arbeit untersuchten Kopiergeräte liegen solche Daten nicht vor und die Annahme der wiederholten Refabrikation ist kritisch. Denn wenn die Komponenten nicht wiederholt neuwertig wiederaufbereitet werden können, wird die Menge an wiederaufbereiteten Komponenten und dadurch die Kostenersparnisse in der Beschaffung durch die Modelle dieser Arbeit höher als in der Realität erfasst. Also sollte die Anzahl der Wiederverwendungszyklen bei Kopiergeräten untersucht werden und das FLCAPPTR2-Modell entsprechend um Komponenten-Lebensdauer bzw. die Anzahl an Wiederverwendungszyklen für Komponenten erweitert werden.

Zur Vereinfachung der Personalbestandsplanung im FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modell wurden Fixkosten für Neueinstellungen, die durch die Werbung und das Anlernen von Mitarbeitern entstehen, vernachlässigt. Außerdem wird unterstellt, dass alle Mitarbeiter in Vollzeit arbeiten, da keine Teilzeit zugelassen wurde.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Erfassung des Einflusses von Lohnkosten, Bearbeitungszeiten und die knappe Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal in potentiellen Standorten auf die CLSCN-Planung. D.h. eine detaillierte Personalbestandsplanung findet nicht statt. Falls dies relevant für das produzierende Unternehmen als Entscheidungsträger ist, muss das FLCAPPR- bzw. FLCAPPTR2-Modell dementsprechend erweitert werden.

Eine kritische Annahme aller Modelle dieser Arbeit ist, dass alle Parameter, wie z.B. zukünftige Nachfrage, Rückgabemengen und Bearbeitungszeiten, bekannt und eindeutig bestimmt sind. D.h. die Modelle, die in dieser Arbeit präsentiert werden, sind deterministi-

sche Modelle. Allerdings stellen Unsicherheiten ein Problem für erfolgreiche Refabrikation dar [73].

Unsicherheit kann z.B. durch die Erweiterung des FLCAPPTR2-Modells um Szenarioplanung, also der Berücksichtigung von unterschiedlichen Szenarien für Nachfrage, Rückgabemengen und Bearbeitungszeiten (wie durch Qualitätskategorien für Rückgaben), erfasst werden. Eine solche Erweiterung des FLCAPPTR2-Modells erhöht den Rechenaufwand allerdings deutlich. Außerdem erfasst Szenarioplanung das Problem der Unsicherheit nur begrenzt.

Zur realistischen Abbildung von Unsicherheiten müsste das Problem stochastisch modelliert werden. Von z.B. Gayon et al. (2017)[58] werden die Ankünfte von Nachfrage und Produktrückgaben und die Bearbeitungszeiten in den Standorten einer CLSC als stochastische Prozesse erfasst. Allerdings vernachlässigt dieser Modellierungsansatz die Standort- und Kapazitätsplanung, die Transformation von Komponenten zu Produkte und die Refabrikation auf Komponentenebene über einen endlichen Planungshorizont, wie bereits in Abschnitt 2.1.3 diskutiert wurde. Es bleibt Aufgabe weiterer Forschung herauszufinden, wie die Unsicherheiten einer CLSC sinnvoll in der Standort-, Kapazitäts-, Transport- und Produktionsplanung über die endliche Produkt-Lebensdauer erfasst werden können.

Schließlich muss angemerkt werden, dass der Hersteller Unsicherheiten über die Ankunft von Produktrückgaben, den Zustand der Produktrückgaben und darüber die benötigte Zeit für die Refabrikation durch die Erfassung von Daten über die Lebens- und Nutzungsdauern bzw. Funktionsfähigkeit der Produkte und deren Komponenten verringern kann. Durch bereits vorhandene Technologie in den Produkten, wie z.B. RFID-Chips oder die Steuereinheit eines Kopiergeräts, sollte es mittlerweile Herstellern möglich sein, mehr Daten über die Produkte und deren Nutzung zu erfassen.

Mit diesen Daten kann die Bestimmung der Parameter für das Lösen des FLCAPPTR2-Modells verbessert werden und dadurch können noch bessere Handlungsempfehlungen für den Entscheider erreicht werden.

Literaturverzeichnis

- 1 Ahiska, S. S., King, R. E., Inventory optimization in a one product recoverable manufacturing system, *International Journal of Production Economics*, 124, 11-19, (2010)
- 2 Akçali E., Çetinkaya, S., Üster, H., Network design for reverse and closed-loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches, *Networks*, 53, 231-248, (2009)
- 3 Akinc, U., Note – Multi-activity facility design and location problems, *Management Science*, 31, 275-283, (1985)
- 4 Akinc, U., Khumawala, B. M., An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem, *Management Science*, 23, 585-594, (1977)
- 5 Alumur, S. A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Verter, V., Multi-period reverse logistics network design, *European Journal of Operational Research*, 220, 67-78, (2012)
- 6 Anderson, C. R., Zeithaml, C. P., Stage of the product life cycle, business strategy, and business performance, *Academy of Management Journal*, 27, 5-24, (1984)
- 7 Aras, N., Boyaci, T., Verter, V., The effect of categorizing returned products in remanufacturing, *IIE Transactions*, 36, 319-331, (2004)
- 8 Aras, N., Verter, V., Boyaci, T., Coordination and priority decisions in hybrid manufacturing/remanufacturing systems, *Production and Operations Management*, 15, 528-543, (2006)
- 9 Axsäter, S., On the design of the aggregate model in a hierarchical production planning system, *Engineering and Process Economics*, 4, 89-97, (1979)
- 10 Barros, A. I., Dekker, R., Scholten, V., A two-level network for recycling sand: a case study, *European Journal of Operational Research*, 110, 199-214, (1998)
- 11 Batterienverordnung (BattV), Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren vom 27. März 1998, BGBl. I 2001, 1486, (1998)
- 12 Baumol, W. J., Wolfe, P., A warehouse-location problem, *Operations Research*, 6, 252-263, (1958)
- 13 Beamon, B. M., Supply chain design and analysis: Models and methods, *International Journal of Production Economics*, 55, 281-294, (1998)
- 14 Beltrán, J. L., Krass, D., Dynamic lot sizing with returning items and disposals, *IIE Transactions*, 34, 437-448, (2002)

- 15 Berry, B., Automakers want to recycle all of the car, *Iron Age*, 8, 28-9, (1992)
- 16 Billatos, S. B., Nevrekar V. V., Challenges and practical solutions to designing for the environment, In: *ASME Design for Manufacturability Conference*, Chicago, 49-64, (1994)
- 17 Bishop, P., Tough Times, *Cranes Today Magazine*, <http://www.cranestodaymagazine.com/features/tough-times>, letzter Zugriff am 01.06.2016
- 18 Blumberg, D. F., *Introduction to management of reverse logistics and closed loop supply chain processes*, CRC Press, (2004)
- 19 Bowman, E. H., Production scheduling by the transportation method of linear programming, *Operations Research*, 4, 100-103, (1956)
- 20 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/fachkraeftesicherung.html>, letzter Zugriff am 15.02.2020
- 21 Buzzell, R., Competitive Behavior and Product Life Cycles. In: Wright, J., Goldstucker, J., (Hrsg.), *New Ideas for Successful Marketing*, American Marketing Association, Chicago, (1966)
- 22 Christopher, M., *Logistics & Supply Chain Management*, Financial Times Prentice Hall, Harlow, (2011)
- 23 Colucci, F., Competitive edge: Helicopter suppliers must modernize, says defense industrial policy chief, *National Defense*, 90, 24-25, (2005)
- 24 Conway, R. W., Schultz, A., The Manufacturing Progress Function, *The Journal of Industrial Engineering*, 10, 39-54, (1959)
- 25 Dantzig, G., Ein Transportproblem. In: *Lineare Programmierung und Erweiterungen*, 42-49, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (1966)
- 26 Da Silveira, G., Borenstein, D., Fogliatto, F. S., Mass customization: Literature review and research directions, *International Journal of Production Economics*, 72, 1-13, (2001)
- 27 Daskin, M. S., Snyder, L. V., Berger, R. T., Facility location in supply chain design. In: Langevin, A., Riopel, D. (Hrsg.), *Logistics systems: Design and optimization*, 39-65, Springer-Verlag, US, (2005)
- 28 Davis, S. M., From „future perfect“: Mass customizing, *Planning Review*, 17, 16-21, (1989)
- 29 Dean, J., Pricing Policies for New Products, *Harvard Business Review*, 54, 141–153, (1976)
- 30 de Brito, M. P., Dekker, R., Modelling product returns in inventory control - exploring the validity of general assumptions, *International Journal of Production Economics*, 81, 225-241, (2003)

- 31 Debo, L. G., Canan Savaskan, R., Van Wassenhove, L. N., Coordination in closed-loop supply chains. In: Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.), Reverse logistics, Quantitative models for closed-loop supply chains, 295-311, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (2004)
- 32 DeCroix, G. A., Song, J. S., Zipkin, P., A series system with returns: Stationary analysis, Operations Research, 53, 350-362, (2005)
- 33 DeCroix, G. A., Optimal policy for a multiechelon inventory system with remanufacturing, Operations Research, 54, 532-543, (2006)
- 34 DeCroix, G. A., Song, J. S., Zipkin, P. H., Managing an assemble-to-order system with returns, Manufacturing & Service Operations Management, 11, 144-159, (2009)
- 35 Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L. N., Quantitative Models for Reverse Logistics Decision Making. In: Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.), Reverse logistics, Quantitative models for closed-loop supply chains, 4-29, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (2004)
- 36 Domschke, W., Drexl, A., Logistik: Standorte, Oldenbourg, 4.Auflage, München, (2004)
- 37 Ebert, R. J., Aggregate planning with learning curve productivity, Management Science, 23, 171-182, (1976)
- 38 Eppen, G., Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. Management Science, 25, 498-501, (1979)
- 39 European Union, Commission Directive 98/101/EC of 22 December 1998 adapting to technical progress Council Directive 91/157/EEC on batteries and accumulators containing certain dangerous substances, Official J. European Union, L001 0001-0002, (1998)
- 40 European Union, Directive 2000/53/EC European Parliament and Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles. Official J. European Union, L269 34-42, (2000)
- 41 European Union, Directive 2002/95/EC European Parliament and Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS), Official J. European Union, L37 19-23, (2003a)
- 42 European Union, Directive 2002/96/EC European Parliament and Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE), Official J. European Union, L37 24-38, (2003b)
- 43 European Working Group on Reverse Logistics (REVLOG), (1998)
- 44 Feichtinger, G., Hartl, R. F., Optimale Kontrolle ökonomischer Prozesse, DeGruyter, Berlin New York, (1986)
- 45 Ferrer, G., The economics of tire remanufacturing, Resources, Conservation and Recycling, 19, 221-255, (1997)

- 46** Ferrer, G., The economics of personal computer remanufacturing, *Resources, Conservation and Recycling*, 21, 79-108, (1997)
- 47** Ferrer, G., Whybark, D., Material planning for a remanufacturing facility, *Production and Operations Management*, 10, 112-124, (2001)
- 48** Ferrer, G., Swaminathan, J. M., Managing new and differentiated remanufactured products, *European Journal of Operational Research*, 203, 370-379, (2010)
- 49** Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., Van Wassenhove, L. N., Quantitative models for reverse logistics: A review, *European Journal of Operational Research*, 103, 1 - 17, (1997)
- 50** Fleischmann, M., Quantitative models for reverse logistics, Ph.D. thesis, Erasmus University Rotterdam, (2000)
- 51** Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., Flapper, S. D. P., A characterisation of logistics networks for product recovery, *Omega*, 28, 653-666, (2000)
- 52** Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Van Wassenhove, L. N., The impact of product recovery on logistics network design, *Production and Operations Management*, 10, 156 -173, (2001)
- 53** Fleischmann, M., Reverse logistics network structures and design. In: Guide, Jr., V. D. R., Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.), *Business Aspects of Closed-Loop Supply Chains*, 117-148, Carnegie Mellon University Press, Pittsburgh, (2003)
- 54** Fleischmann, M., Van Nunen, J. A., Gräve, B., Integrating closed-loop supply chains and spare-parts management at IBM, *Interfaces*, 33, 44-56, (2003)
- 55** Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Beullens, P., Dekker, R., Reverse Logistics Network Design. In: Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.), *Reverse logistics quantitative models for closed-loop supply chains*, 65-94, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (2004)
- 56** Fleischmann, B., Meyr, H., Wagner, M., Advanced planning. In: Stadtler, Hartmut, Kilger, Christoph (Hrsg.), *Supply chain management and advanced planning*, 81-106, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (2005)
- 57** <http://fortune.com/2017/03/03/apple-cobalt-child-labor/>, letzter Zugriff am 24.07.2017
- 58** Gayon, J. P., Vercraene, S., Flapper, S. D. P., Optimal control of a production-inventory system with product returns and two disposal options, *European Journal of Operational Research*, 262, 499-508, (2017)
- 59** Georgiadis, P., Athanasiou, E., Flexible long-term capacity planning in closed-loop supply chains with remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 225, 44-58, (2013)
- 60** Gemeinsames Rücknahmesystem für Geräte-Altbatteie (GRS) Stiftung, <http://www.grs-batterien.de/>, letzter Zugriff am 01.05.2017

- 61** Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, Kreislaufwirtschaft und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), BGBl. I, 2705, (1994)
- 62** Geyer, R., Van Wassenhove, L. N., Atasu, A., The economics of remanufacturing under limited component durability and finite product life cycles, *Management Science*, 53, 88-100, (2007)
- 63** Gomez, F., Guzman, J. I., Tilton, J. E., Copper recycling and scrap availability, *Resources Policy*, 32, 183-190, (2007)
- 64** Google Maps: Google Maps. <https://maps.google.com>. Version: 2015, , letzter Zugriff am 12.01.2015
- 65** Gou, Q., Liang, L., Huang, Z., Xu, C., A joint inventory model for an open-loop reverse supply chain, *International Journal of Production Economics*, 116, 28-42, (2008)
- 66** Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH (DSD), <https://www.gruener-punkt.de/>, letzter Zugriff am 01.05.2017
- 67** Gungor, A., Gupta, S. M., Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey, *Computers & Industrial Engineering*, 36, 811-853, (1999)
- 68** Guide, Jr., V. D. R., Srivastava, R., Buffering from material recovery uncertainty in a recoverable manufacturing environment, *Journal of the Operational Research Society*, 48, 519-529, (1997)
- 69** Guide, Jr., V. D. R., Srivastava, R., Kraus, M., Scheduling policies for remanufacturing, *International Journal of Production Economics*, 48, 187-204, (1997a)
- 70** Guide Jr., V. D. R., Srivastava, R., Kraus, M., Product structure complexity and scheduling of operations in recoverable manufacturing, *International Journal of Production Research*, 35, 3179-3200, (1997b)
- 71** Guide, Jr., V. D. R., Srivastava, R., Inventory buffers in recoverable manufacturing, *Journal of Operations Management*, 16, 551-568, (1998)
- 72** Guide, Jr., V. D. R., Jayaraman, V., Srivastava, R., Production planning and control for remanufacturing: a state-of-the-art survey, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15, 221-230, (1999)
- 73** Guide Jr., V. D. R., Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs, *Journal of Operations Management*, 18, 467-483, (2000)
- 74** Guide Jr., V. D. R., Jayaraman, V., Product acquisition management: current industry practice and a proposed framework, *International Journal of Production Research*, 38, 3779-3800, (2000)
- 75** Guide Jr., V. D. R., Van Wassenhove, L. N., The reverse supply chain, *Harvard Business Review*, 80, 25-26, (2002)

- 76** Guide Jr., V. D. R., Harrison, T. P., Van Wassenhove, L. N., The challenge of closed-loop supply chains, *Interfaces*, 33, 3-6, (2003)
- 77** Guide Jr., V. D. R., Van Wassenhove, L. N., Closed-loop supply chains: an introduction to the feature issue (part 1), *Production and Operations Management*, 15, 345-350, (2006)
- 78** Guide Jr., V. D. R., Van Wassenhove, L. N., OR FORUM - The evolution of closed-loop supply chain research, *Operations Research*, 57, 10-18, (2009)
- 79** Guiltinan, J. P., Nwokoye, N. G., Developing Distribution Channels and Systems in the Emerging Recycling Industries, *International Journal of Physical Distribution*, 6, 28-38, (1975)
- 80** Gurobi Optimization, Inc., <https://www.gurobi.com/products/whats-new/whats-new-in-the-latest-version>, letzter Zugriff am 08.05.2017
- 81** Hax, A. C., Meal, H. C., Hierarchical integration of production planning and scheduling, Boston, MA: Massachusetts Institute of Technology, Operations Research Center, (1973)
- 82** Hanssman, F., Hess, S. W., A linear programming approach to production and employment scheduling, *Management Science*, 1, 46-51, (1960)
- 83** Harris, F. W., How Many Parts to Make at Once Factory, *The Magazine of Management* 10, 135-136, (1913). Nachdruck in *Operations Research* 38, 947-950, (1990)
- 84** Hart, C. W., Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits, *International Journal of Service Industry Management*, 6, 36-45, (1995)
- 85** Hearnshaw, E. J. S., Wilson, M. M. J., A complex network approach to supply chain network theory, *International Journal of Operations & Production Management*, 33, 442-469, (2013)
- 86** Herer, Y. T., Tzur, M., Yücesan, E., The multilocation transshipment problem, *IIE Transactions*, 38, 185-200, (2006)
- 87** Heyman, D. P., Optimal disposal policies for a single-item inventory system with returns, *Naval Research Logistics*, 24, 385-405, (1977)
- 88** Hitchcock, F. L., The distribution of a product from several sources to numerous localities, *Journal of Mathematical Physics* (Ab Ausgabe 48 in 1969 *Studies in Applied Mathematics*), 20, 224-230, (1941)
- 89** Holt, C. C., Modigliani, F., Simon, H. A., A linear decision rule for production and employment scheduling, *Management Science*, 2, 1-30, (1955)
- 90** Hsueh, C. F., An inventory control model with consideration of remanufacturing and product life cycle, *International Journal of Production Economics*, 133, 645-652, (2011)
- 91** Hundal, M. S., DFE: current status and challenges for the future. In: *ASME Design for Manufacturability Conference*, Chicago, 89-98, (1994)

- 92** Ilgin, M. A., Gupta, S. M., Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art, *Journal of Environmental Management*, 91, 563-591, (2010)
- 93** Inderfurth, K., Simple optimal replenishment and disposal policies for a product recovery system with leadtimes, *OR Spektrum*, 19, 111-122, (1997)
- 94** Jang, Y. J., Jang, S. Y., Chang, B. M., Park, J., A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network, *Computers & Industrial Engineering*, 43, 263-281, (2002)
- 95** Jayaraman, V., A closed-loop logistics model for remanufacturing, *Journal of the Operational Research Society*, 50, 497-508, (1999)
- 96** Jayaraman, V., Production planning for closed-loop supply chains with product recovery and reuse: an analytical approach, *International Journal of Production Research*, 44, 981-998, (2006)
- 97** Kelle, P., Silver, E. A., Purchasing policy of new containers considering the random returns of previously issued containers, *IIE Transactions*, 21, 349-354, (1989)
- 98** Kiesmüller, G. P., Van der Laan, E. A., An inventory model with dependent product demands and returns, *International Journal of Production Economics*, 72, 73-87, (2001)
- 99** Kiesmüller, G. P., Minner, S., Kleber, R., Managing dynamic product recovery: an optimal control perspective. In: Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L. N. (Hrsg.), *Reverse logistics quantitative models for closed-loop supply chains*, 221-247, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (2004)
- 100** Kim, H. J., Lee, D. H., Xirouchakis, P., Two-phase heuristic for disassembly scheduling with multiple product types and parts commonality, *International Journal of Production Research*, 44, 195-212, (2006)
- 101** Kim, H. J., Lee, D. H., Xirouchakis, P., Disassembly scheduling: literature review and future research directions, *International Journal of Production Research*, 45, 4465-4484, (2007)
- 102** King, A., Miemczyk, J., Bufton, D., Photocopier remanufacturing at Xerox UK. A description of the process and consideration of future policy issues, *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*, 173-186, Springer-Verlag, Niederlande, (2006)
- 103** Kistner, K. P., Steven, M., *Produktionsplanung*, Physica-Verlag, Heidelberg, (1993)
- 104** Klausner, M., Grimm, W. M., Hendrickson, C., Reuse of electric motors in consumer products: Design and analysis of an electronic data log, *Journal of Industrial Ecology*, 2, 89-102, (1998)
- 105** Klausner, M., Grimm, W. M., Horvath, A., Integrating product takeback and technical service. In: *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 48-53, (1999)

- 106** Klose, A., Standortplanung in distributiven Systemen: Modelle, Methoden, Anwendungen, Physica-Verlag, Heidelberg, (2001)
- 107** Krikke, H., van Harten, A., Schuur, P. C., Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers, *OR Spectrum*, 21, 381-409, (1999)
- 108** Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., Van Wassenhove, L. N., Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators, *International Journal of Production Research*, 41, 3689-3719, (2003)
- 109** Krikke, H., le Blanc, I., van de Velde, S., Product modularity and the design of closed-loop supply chains, *California Management Review*, 46, 23-39, (2004)
- 110** Kotler, P., Competitive strategies for new product marketing over the life cycle, *Management Science*, 12, B104-B119, (1965)
- 111** Kotler, P., From mass marketing to mass customization, *Planning Review* 17, 10-14, (1989)
- 112** Kroon, L., Vrijens, G., Returnable containers: an example of reverse logistics, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25, 56-68, (1995)
- 113** Kumar, S., Craig, S., Dell, Inc.'s closed loop supply chain for computer assembly plants, *Information Knowledge Systems Management*, 6, 197-214, (2007)
- 114** Lambert, D. M., Stock, J. R., *Strategic Physical Distribution Management*, Richard D. Irwin Inc., Homewood, IL, (1982)
- 115** le Blanc, I., van Krieken, M., Krikke, H., Fleuren, H., Vehicle routing concepts in the closed-loop container network of ARN—a case study, *OR Spectrum*, 28, 53-71, (2006)
- 116** Lee, S. M., Moore, L. J., A practical approach to production scheduling, *Journal of Production and Inventory Management*, 15, 79-92, (1974)
- 117** Love, R. F., Morris, J. G., Wesolowsky, G. O., *Facility Location: Model & methods*, 1-93, Elsevier Science Amsterdam, (1988)
- 118** Louwers, D., Kip, B. J., Peters, E., Souren, F., Flapper, S. D. P., A facility location allocation model for reusing carpet materials, *Computers & Industrial Engineering*, 36, 855-869, (1999)
- 119** Luczak, H., *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, (1999)
- 120** Lund, R. T., Remanufacturing: An American resource. In: *International Congress Environmentally Conscious Design and Manufacturing*, Rochester, NY und USA, (1998)
- 121** Mabini, M. C., Pintelon, L. M., Gelders, L. F., EOQ type formulations for controlling repairable inventories, *International Journal of Production Economics*, 28, 21-33, (1992)
- 122** Mahadevan, B., Pyke, D. F., Fleischmann, M., Periodic review, push inventory policies for remanufacturing, *European Journal of Operational Research*, 151, 536-551, (2003)

- 123** Marín, A., Pelegrín, B., The return plant location problem: Modelling and resolution, *European Journal of Operational Research*, 104, 375-392, (1998)
- 124** Melo, M. T., Nickel, S., Da Gama, F. S., Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning, *Computers & Operations Research*, 33, 181-208, (2005)
- 125** Minner, S., Kleber, R., Optimal control of production and remanufacturing in a simple recovery model with linear cost functions, *OR-Spektrum*, 23, 3-24, (2001)
- 126** Moon, S., Application of generalized Benders decomposition to a nonlinear distribution system design problem, *Naval Research Logistics*, 36, 283-295, (1989)
- 127** Morgan, S. D., Gagnon, R. J., A systematic literature review of remanufacturing scheduling. *International Journal of Production Research*, 51(16), 4853-4879, (2013)
- 128** Muckstadt, J. A., Isaac, M. H., An analysis of single item inventory systems with returns, *Naval Research Logistics*, 28, 237-254, (1981)
- 129** Neus, W., Einführung in die Betriebswirtschaftslehre aus institutionenökonomischer Sicht, J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen, (2003)
- 130** Nam, S. J., Logendran, R., Aggregate production planning – a survey of models and methodologies, *European Journal of Operational Research*, 61, 255-272, (1992)
- 131** Östlin, J., Sundin, E., Björkman, M., Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing, *International Journal of Production Economics*, 115, 336-348, (2008)
- 132** Olhager, J., Rudberg, M., Wikner, J., Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning, *International Journal of Production Economics*, 69, 215-225, (2001)
- 133** Owen, J. V., Environmentally conscious manufacturing, *Manufacturing Engineering*, 111, 44-55, (1993)
- 134** Owen, S. H., Daskin, M. S., Strategic facility location: A review, *European Journal of Operational Research*, 111, 423-447, (1998)
- 135** Paquet, M., Martel, A., Desaulniers, G., Including technology selection decisions in manufacturing network design models, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17, 117-125, (2004)
- 136** Perl, J., Sirisoponsilp, S., Distribution networks: Facility Location, transportation and inventory, *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 18, 18 - 26, (1988)
- 137** Pine, B. J., Victor, B., Boynton, A. C., Making mass customization work, *Harvard Business Review*, 71, 108-11, (1993)
- 138** Pine, B. J., Peppers, D., Rogers, M., Do you want to keep your customers forever?, *Harvard Business Review*, 73, 103-114, (1995)

- 139** Pishvaei, M. S., Torabi, S. A., A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, 161, 2668-2683, (2010)
- 140** Porter, M. E., Kramer, M. R., The link between competitive advantage and corporate social responsibility, *Harvard Business Review*, 84, 78-92, (2006)
- 141** Puterman, M. L., *Markov Decision Processes: discrete stochastic dynamic programming*, John Wiley & Sons., (1994)
- 142** Richter, K., The EOQ repair and waste disposal model with variable setup numbers, *European Journal of Operational Research*, 95, 313-324, (1996a)
- 143** Richter, K., The extended EOQ repair and waste disposal model, *International Journal of Production Economics*, 45, 443-447, (1996b)
- 144** Richter, K., Sombrutzki, M., Remanufacturing planning for the reverse Wagner/Whitin models, *European Journal of Operational Research*, 121, 304-315, (2000)
- 145** Rink, D. R., Swan, J. E., Product life cycle research: A literature review, *Journal of Business Research*, 7, 219-242, (1979)
- 146** Rogers, E., *The Diffusion of Innovations*, The Free Press, New York, (1962)
- 147** Rogers, D. S., Tibben-Lembke, R. S., *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, (1999)
- 148** Rogers, D. S., Lambert, D. M., Croxton, K. L., García-Dastugue, S. J., The returns management process, *The International Journal of Logistics Management*, 13, 1-18, (2002)
- 149** Sabharwal, S., Garg, S., Determining cost effectiveness index of remanufacturing: A graph theoretic approach, *International Journal of Production Economics*, 144, 521-532, (2013)
- 150** Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P., Novais, A. Q., An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 179, 1063-1077, (2007)
- 151** Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P., Novais, A. Q., A strategic and tactical model for closed-loop supply chains, *OR Spectrum*, 31, 573-599, (2009)
- 152** Schierenbeck, H., *Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre*, Oldenbourg Verlag, München Wien, (2014)
- 153** Scheuing, E. E., The Product Life Cycle as an Aid in Strategy Decisions, *Management International Review*, 9, 111-124, (1969)
- 154** Schrady, D. A., A deterministic inventory model for reparable items, *Naval Research Logistics*, 14, 391-398, (1967)
- 155** Schroeder, R. G., Larson, P. D., A reformulation of the aggregate planning problem, *Journal of Operations Management*, 6, 245-256, (1986)

- 156** Schultmann, F., Engels, B., Rentz, O., Closed-Loop supply chains for spent batteries, *Interfaces*, 33, 57-71, (2003)
- 157** Shen, Z. M., Integrated supply chain design models: a survey and future research directions, *Journal of Industrial and Management Optimization*, 3, 1-27, (2007)
- 158** Silver, E. A., A tutorial on production smoothing and work force balancing, *Operations Research*, 15, 985-1010, (1967)
- 159** Silver, E. A., Pyke, D. F., Peterson, R., Inventory management and production planning and scheduling, Wiley-Verlag, New York, (1998)
- 160** Simpson, V. P., Optimum solution structure for a repairable inventory problem, *Operations research*, 26, 270-281, (1978)
- 161** Souza, G. C., Ketzenberg, M. E., Two-stage make-to-order remanufacturing with service-level constraints, *International Journal of Production Research*, 40, 477-493, (2002)
- 162** Souza, G. C., Ketzenberg, M. E., Guide, V. D. R., Capacitated remanufacturing with service level constraints, *Production and Operations Management*, 11, 231-248, (2002)
- 163** Souza, G. C., Closed-loop supply chains: a critical review, and future research, *Decision Sciences*, 44, 7-38, (2013)
- 164** Srivastava, S. K., Network design for reverse logistics, *Omega*, 36, 535-548, (2008)
- 165** Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Gemeindeverzeichnis-Sonderveröffentlichung Gebietsstand: 31.12.2011, Großstädte (mit mindestens 100 000 Einwohnerinnen und Einwohnern) in Deutschland nach Bevölkerung am 31.12.2011 auf Grundlage des Zensus 2011 und früherer Zählungen, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/GrosstaedteEinwohner.html>, letzter Zugriff am 15.01.2015
- 166** Steinke, L., Fischer, K., Integrated Facility Location, Capacity, and Production Planning in a Multi-Commodity Closed Supply Chain Network. In: Mattfeld, D., Spengler, T., Brinkmann, J., Grunewald, M. (Hrsg.), *Logistics Management*, 103-119, Springer-Verlag Berlin, (2016)
- 167** Steinke, L., Fischer, K., Extension of multi-commodity closed-loop supply chain network design by aggregate production planning, *Logistics Research*, 9, 1-24, (2016)
- 168** Taleb, K. N., Gupta, S. M., Disassembly of multiple product structures, *Computers & Industrial Engineering*, 32, 949-961, (1997)
- 169** Taleb, K. N., Gupta, S. M., Brennan, L., Disassembly of complex product structures with parts and materials commonality, *Production Planning & Control*, 8, 255-269, (1997)
- 170** Taubert, W. H., A search decision rule for the aggregate scheduling problem, *Management Science*, 14, 343-359, (1968)

- 171** <https://techcrunch.com/2017/07/17/samsung-plans-to-recover-157-tonnes-of-rare-metals-including-gold-from-galaxy-note-7s/>, letzter Zugriff am 24.07.2017
- 172** <https://techcrunch.com/2017/04/19/apple-vows-to-use-only-recycled-materials-but-greenpeace-says-iphones-should-also-last-longer/>, letzter Zugriff am 24.07.2017
- 173** Teunter, R. H., Economic ordering quantities for recoverable item inventory systems, Naval Research Logistics (NRL), 48, 484-495, (2001)
- 174** Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., Van Wassenhove, L., Strategie issues in product recovery management, California Management Review, 37, 114-135, (1995)
- 175** Toktay, L. B., van der Laan, E. A., de Brito, M. P., Managing product returns: the role of forecasting. In: Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L.N. (Hrsg.), Reverse logistics quantitative models for closed-loop supply chains, 45-64, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, (2004)
- 176** Vereinte Nationen (United Nations), Sustainable Development Goals, Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>, letzter Zugriff am 29.11.2019
- 177** Van der Laan, E., Dekker, R., Salomon, M., Ridder, A., An (s,Q) inventory model with remanufacturing and disposal, International Journal of Production Economics, 46, 339-350, (1996)
- 178** Van der Laan, E., Salomon, M., Dekker, R. van Wassenhove, L. N., Inventory control in hybrid systems with remanufacturing, Management Science, 45, 733-747, (1999)
- 179** Van Roy, T. J., Erlenkotter, D., A dual-based procedure for dynamic facility location, Management Science, 28, 1091-1105, (1982)
- 180** VDI-Gesellschaft Produktionstechnik, Lexikon der Produktionsplanung und -steuerung: Begriffszusammenhänge und Begriffsdefinitionen, VDI-Verlag, Düsseldorf, (1992)
- 181** Vercraene, S., Yon, J. P. G., Jemai, Z., Control of a two-stage production/inventory system with products returns, IFAC Proceedings Volumes, 43, 232-237, (2010)
- 182** Vercraene, S., Gayon, J. P., Optimal control of a production-inventory system with product returns, International Journal of Production Economics, 142, 302-310, (2013)
- 183** Vercraene, S., Gayon, J. P., Flapper, S. D., Coordination of manufacturing, remanufacturing and returns acceptance in hybrid manufacturing/remanufacturing systems, International Journal of Production Economics, 148, 62-70, (2014)
- 184** Verpackungsverordnung vom 12. Juni 1991 (BGBl. I 1234), geändert am 21. August 1998 (BGBl. I 2379), letzte Änderung von Artikel 1 der Verordnung 17. Juli 2014 (BGBl. I 1061), 2379, (2014)
- 185** Wagner, H. M., Whitin, T. M., Dynamic version of the economic lot size model, Management science, 5, 89-96, (1958)

- 186** Walther, G., Steinborn, J., Spengler, T., Variantenvielfalt und Lebenszyklusbetrachtungen im Remanufacturing. In: Heyde, F., Löhne, A., Tammer, C. (Hrsg.), *Methods of Multicriteria Decision Theory and Applications*, 179-204, Shaker Verlag, (2009)
- 187** Wang, J., Zhao, J., Wang, X., Optimum policy in hybrid manufacturing/remanufacturing system, *Computers & Industrial Engineering*, 60, 411-419, (2011)
- 188** Aviv, Y., Federgruen, A., Capacitated Multi-Item Inventory Systems with Random and Seasonally Fluctuating Demands: Implications for Postponement Strategies, *Management Science* 47, 512-531, (2001)
- 189** Zhang, S., Forssberg, E., Arvidson, B., Moss, W., Aluminum recovery from electronic scrap by High-Force® eddy-current separators, *Resources, Conservation and Recycling*, 23, 225-241, (1998)
- 190** Zhang, J., Liu, X., Tu, Y. L., A capacitated production planning problem for closed-loop supply chain with remanufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54, 757-766, (2011)
- 191** Zimmermann, H. J., *Operations Research, Methoden und Modelle, Für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte und Informatiker*, Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, (2005)
- 192** Zipkin, P., Bounds on the effect of aggregating variables in linear programs, *Operations Research*, 28, 403-418, (1980)
- 193** Zipkin, P., Mass customization, *MIT Sloan Management Review*, (2001)
- 194** Zumkeller, M., Schultmann, F., Fröhling, M., Rentz, O., Tragfähige Alternative - Die kosteneffiziente Kreislaufführung von Kunststoffen bietet einen Ansatz zur Umsetzung der Produktverantwortung in der Automobilindustrie, *Müllmagazin* 18, 18-20, (2005)

Anhang

A Anhang

A.1 Distanzmatrizen

Für die Planung der Standorte im Netzwerk müssen die Entfernungen zwischen allen Standorten und Standorten und Kunden vorgegeben werden. Diese Distanzen werden aus [64] entnommen und gerundet; sie werden im folgenden aufgelistet.

A.1.1 Distanzmatrizen für Netzwerk nach Salema et al.(2007)[150]

	F	K	M	H	B
Du	250	72	634	378	548
Nu	225	406	170	608	440
Ha	349	293	632	151	286
L	391	497	430	396	190
Dr	460	570	460	497	193
Br	442	315	747	124	390
E	250	72	634	361	531
Do	221	94	606	345	493
Due	229	39	613	403	559
S	204	367	221	656	633
F	0	190	392	492	546
K	190	0	575	425	573
M	392	575	0	775	585
H	492	425	775	0	289
B	546	573	585	289	0

Tabelle A.1: Distanzen zwischen potentiellen DZ- und Werk-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B
Du	0	466	267	491	590	267	23	58	27	426	250	72	634	378	548
Nu	461	0	465	285	317	584	465	436	445	211	225	406	170	608	440
Ha	266	464	0	263	367	127	251	212	278	512	349	293	632	151	286
L	485	282	265	0	115	373	450	416	482	477	391	497	430	396	190
Dr	583	312	365	112	0	473	549	514	581	507	460	570	460	497	193
Br	266	578	122	367	471	0	256	234	291	626	442	315	747	124	390
E	22	466	250	452	551	251	0	38	35	426	250	72	634	361	531
Do	57	437	212	417	516	234	37	0	70	418	221	94	606	345	493
Due	28	445	278	484	583	292	35	70	0	405	229	39	613	403	559
S	422	211	513	478	510	632	426	0	406	0	204	367	221	656	633
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0

Tabelle A.2: Distanzen zwischen potentiellen DZ-Standorten und Kunden und zwischen potentiellen VZ-Standorten und Kunden
(in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0

Tabelle A.3: Distanzen zwischen potentiellen Werk- und VZ-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

A.1.2 Distanzmatrizen für das Mehr-Güter-Netzwerk des FLPR-, FLCPR-, FLCAPPR- und FLCAPPTR2-Modells

	F	K	M	H	B
F	0	190	393	496	550
K	190	0	575	425	573
M	392	574	0	775	585
H	492	425	775	0	288
B	546	573	585	289	0

Tabelle A.4: Distanzen zwischen Zulieferern und potentiellen Werk-Standorten (in km)
(Eigene Darstellung)

	F	K	M	H	B
F	0	190	393	496	550
K	190	0	575	425	573
M	392	574	0	775	585
H	492	425	775	0	288
B	546	573	585	289	0

Tabelle A.5: Distanzen zwischen potentiellen Werk-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0

Tabelle A.6: Distanzen zwischen potentiellen Werk- und VSZ-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B
Du	0	466	267	491	590	267	23	58	27	426	250	72	634	378	548
Nu	461	0	465	285	317	584	465	436	445	211	225	406	170	608	440
Ha	266	464	0	263	367	127	251	212	278	512	349	293	632	151	286
L	485	282	265	0	115	373	450	416	482	477	391	497	430	396	190
Dr	583	312	365	112	0	473	549	514	581	507	460	570	460	497	193
Br	266	578	122	367	471	0	256	234	291	626	442	315	747	124	390
E	22	466	250	452	551	251	0	38	35	426	250	72	634	361	531
Do	57	437	212	417	516	234	37	0	70	418	221	94	606	345	493
Due	28	445	278	484	583	292	35	70	0	405	229	39	613	403	559
S	422	211	513	478	510	632	426	0	406	0	204	367	221	656	633
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0

Tabelle A.7: Distanzen zwischen potentiellen VSZ-Standorten und Kunden bzw. zwischen Kunden und potentiellen VSZ-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B
Du	0	466	267	491	590	267	23	58	27	426	250	72	634	378	548
Nu	461	0	465	285	317	584	465	436	445	211	225	406	170	608	440
Ha	266	464	0	263	367	127	251	212	278	512	349	293	632	151	286
L	485	282	265	0	115	373	450	416	482	477	391	497	430	396	190
Dr	583	312	365	112	0	473	549	514	581	507	460	570	460	497	193
Br	266	578	122	367	471	0	256	234	291	626	442	315	747	124	390
E	22	466	250	452	551	251	0	38	35	426	250	72	634	361	531
Do	57	437	212	417	516	234	37	0	70	418	221	94	606	345	493
Due	28	445	278	484	583	292	35	70	0	405	229	39	613	403	559
S	422	211	513	478	510	632	426	0	406	0	204	367	221	656	633
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0

Tabelle A.8: Distanzen zwischen potentiellen VSZ-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B	„Dis (Disposal)“
Du	0	466	267	491	590	267	23	58	27	426	250	72	634	378	548	2,5
Nu	461	0	465	285	317	584	465	436	445	211	225	406	170	608	440	2,5
Ha	266	464	0	263	367	127	251	212	278	512	349	293	632	151	286	2,5
L	485	282	265	0	115	373	450	416	482	477	391	497	430	396	190	2,5
Dr	583	312	365	112	0	473	549	514	581	507	460	570	460	497	193	2,5
Br	266	578	122	367	471	0	256	234	291	626	442	315	747	124	390	2,5
E	22	466	250	452	551	251	0	38	35	426	250	72	634	361	531	2,5
Do	57	437	212	417	516	234	37	0	70	418	221	94	606	345	493	2,5
Due	28	445	278	484	583	292	35	70	0	405	229	39	613	403	559	2,5
S	422	211	513	478	510	632	426	0	406	0	204	367	221	656	633	2,5
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550	2,5
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573	2,5
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585	2,5
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288	2,5
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0	2,5

Tabelle A.9: Distanzen zwischen potentiellen VSZ- und WZ-Standorten und Entsorgungseinheit (in km) (Eigene Darstellung)

	Du	Nu	Ha	L	Dr	Br	E	Do	Due	S	F	K	M	H	B
Du	0	466	267	491	590	267	23	58	27	426	250	72	634	378	548
Nu	461	0	465	285	317	584	465	436	445	211	225	406	170	608	440
Ha	266	464	0	263	367	127	251	212	278	512	349	293	632	151	286
L	485	282	265	0	115	373	450	416	482	477	391	497	430	396	190
Dr	583	312	365	112	0	473	549	514	581	507	460	570	460	497	193
Br	266	578	122	367	471	0	256	234	291	626	442	315	747	124	390
E	22	466	250	452	551	251	0	38	35	426	250	72	634	361	531
Do	57	437	212	417	516	234	37	0	70	418	221	94	606	345	493
Due	28	445	278	484	583	292	35	70	0	405	229	39	613	403	559
S	422	211	513	478	510	632	426	0	406	0	204	367	221	656	633
F	245	224	353	395	466	444	249	223	228	204	0	190	393	496	550
K	67	407	292	497	574	314	71	93	40	367	190	0	575	425	573
M	629	169	632	430	462	751	633	604	612	219	392	574	0	775	585
H	376	607	151	396	500	123	366	344	400	655	492	425	775	0	288
B	547	437	286	190	193	394	531	493	558	632	546	573	585	289	0

Tabelle A.10: Distanzen zwischen potentiellen WZ-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

	F	K	M	H	B
Du	250	72	634	378	548
Nu	225	406	170	608	440
Ha	349	293	632	151	286
L	391	497	430	396	190
Dr	460	570	460	497	193
Br	442	315	747	124	390
E	250	72	634	361	531
Do	221	94	606	345	493
Due	229	39	613	403	559
S	204	367	221	656	633
F	0	190	392	492	546
K	190	0	575	425	573
M	392	575	0	775	585
H	492	425	775	0	289
B	546	573	585	289	0

Tabelle A.11: Distanzen zwischen potentiellen WZ- und Werk-Standorten (in km) (Eigene Darstellung)

A.2 Lösungen des Modells von Salema et al. (2007)[150]¹³

Ausgangslösung für Modell von Salema et al. (2007)			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YDZ[B]	1	7138327,7	
YVZ[B]	1		
YF[B]	1		
Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,B,B,Du]	1	XFVZK[P1,B,B,S]	1
XFVZK[P2,B,B,Du]	1	XFVZK[P2,B,B,S]	1
XFVZK[P1,B,B,Nu]	1	XFVZK[P1,B,B,FM]	1
XFVZK[P2,B,B,Nu]	1	XFVZK[P2,B,B,FM]	1
XFVZK[P1,B,B,Ha]	1	XFVZK[P1,B,B,K]	1
XFVZK[P2,B,B,Ha]	1	XFVZK[P2,B,B,K]	1
XFVZK[P1,B,B,L]	1	XFVZK[P1,B,B,M]	1
XFVZK[P2,B,B,L]	1	XFVZK[P2,B,B,M]	1
XFVZK[P1,B,B,Dr]	1	XFVZK[P1,B,B,H]	1
XFVZK[P2,B,B,Dr]	1	XFVZK[P2,B,B,H]	1
XFVZK[P1,B,B,Br]	1	XFVZK[P1,B,B,B]	1
XFVZK[P2,B,B,Br]	1	XFVZK[P2,B,B,B]	1
XFVZK[P1,B,B,E]	1	XFVZK[P1,B,B,Due]	1
XFVZK[P2,B,B,E]	1	XFVZK[P2,B,B,Due]	1
XFVZK[P1,B,B,Do]	1		
XFVZK[P2,B,B,Do]	1		
Anteil an der Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k transportiert über DZ...			
...zum Entsorgungsstandort		...zum Werk	
XKDZF[P1,Du,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Du,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Du,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Du,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Nu,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Nu,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Nu,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Nu,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Ha,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Ha,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Ha,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Ha,B,B]	0,4

Abbildung A.1: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für die Ausgangslösung unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

¹³Für eine bessere Übersichtlichkeit fehlen in allen Lösungen, die in dieser Arbeit im Anhang präsentiert werden, die Variablen mit Nullwerten. Wenn die Gesamtkosten einer Lösung Strafkosten enthalten, werden diese angegeben. Sonst bestehen die Gesamtkosten nur aus den (tatsächlichen) Kosten verbunden mit der Befriedigung von Nachfrage.

XKDZF[P1,L,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,L,B,B]	0,4
XKDZF[P2,L,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,L,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Dr,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Dr,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Dr,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Dr,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Br,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Br,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Br,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Br,B,B]	0,4
XKDZF[P1,E,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,E,B,B]	0,4
XKDZF[P2,E,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,E,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Do,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Do,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Do,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Do,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Due,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Due,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Due,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Due,B,B]	0,4
XKDZF[P1,S,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,S,B,B]	0,4
XKDZF[P2,S,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,S,B,B]	0,4
XKDZF[P1,FM,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,FM,B,B]	0,4
XKDZF[P2,FM,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,FM,B,B]	0,4
XKDZF[P1,K,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,K,B,B]	0,4
XKDZF[P2,K,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,K,B,B]	0,4
XKDZF[P1,M,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,M,B,B]	0,4
XKDZF[P2,M,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,M,B,B]	0,4
XKDZF[P1,H,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,H,B,B]	0,4
XKDZF[P2,H,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,H,B,B]	0,4
XKDZF[P1,B,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,B,B,B]	0,4
XKDZF[P2,B,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,B,B,B]	0,4

Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für die Ausgangslösung unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für $c^u = 143$ GE pro Produkt und Kunde			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			7.103.980
Anteil an Nachfrage von Kunde k nach Produkt p, der unbefriedigt bleibt			
U[Du,P1]	1	U[Do,P2]	1
U[Du,P2]	1	U[Due,P1]	1
U[Nu,P1]	1	U[Due,P2]	1
U[Nu,P2]	1	U[S,P1]	1
U[Ha,P1]	1	U[S,P2]	1
U[Ha,P2]	1	U[FM,P1]	1
U[L,P1]	1	U[FM,P2]	1
U[L,P2]	1	U[K,P1]	1
U[Dr,P1]	1	U[K,P2]	1
U[Dr,P2]	1	U[M,P1]	1
U[Br,P1]	1	U[M,P2]	1
U[Br,P2]	1	U[H,P1]	1
U[E,P1]	1	U[H,P2]	1
U[E,P2]	1	U[B,P1]	1
U[Do,P1]	1	U[B,P2]	1
Anteil an der Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k, der nicht eingesammelt wird			
W[Du,P1]	1	W[Do,P2]	1
W[Du,P2]	1	W[Due,P1]	1
W[Nu,P1]	1	W[Due,P2]	1
W[Nu,P2]	1	W[S,P1]	1
W[Ha,P1]	1	W[S,P2]	1
W[Ha,P2]	1	W[FM,P1]	1
W[L,P1]	1	W[FM,P2]	1
W[L,P2]	1	W[K,P1]	1
W[Dr,P1]	1	W[K,P2]	1
W[Dr,P2]	1	W[M,P1]	1
W[Br,P1]	1	W[M,P2]	1
W[Br,P2]	1	W[H,P1]	1
W[E,P1]	1	W[H,P2]	1
W[E,P2]	1	W[B,P1]	1
W[Do,P1]	1	W[B,P2]	1

Abbildung A.2: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] unter $c_{kp}^U = 143$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)

Lösung des Modells von Salema et al. (2007) für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte für jedes Werk			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)			17.171.924
Standort-Variablen			
YDZ[B]	1	YF[H]	1
YVZ[Ha]	1	YF[B]	1
YF[K]	1		
Anteil an Nachfrage nach Produkt transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,H,Ha,B]	0,194210526	XFVZK[P1,B,Ha,H]	0,115666667
XFVZK[P1,H,Ha,Du]	1	XFVZK[P1,B,Ha,Nu]	1
XFVZK[P2,H,Ha,Du]	1	XFVZK[P2,B,Ha,Nu]	1
XFVZK[P1,H,Ha,Ha]	1	XFVZK[P1,B,Ha,L]	1
XFVZK[P2,H,Ha,Ha]	1	XFVZK[P2,B,Ha,L]	1
XFVZK[P2,H,Ha,Br]	1	XFVZK[P1,B,Ha,Dr]	1
XFVZK[P1,H,Ha,E]	1	XFVZK[P2,B,Ha,Dr]	1
XFVZK[P2,H,Ha,E]	1	XFVZK[P1,B,Ha,Br]	1
XFVZK[P1,H,Ha,Do]	1	XFVZK[P1,B,Ha,FM]	1
XFVZK[P2,H,Ha,Do]	1	XFVZK[P2,B,Ha,FM]	1
XFVZK[P1,H,Ha,Due]	1	XFVZK[P1,B,Ha,M]	1
XFVZK[P2,H,Ha,Due]	1	XFVZK[P2,B,Ha,M]	1
XFVZK[P1,H,Ha,S]	1	XFVZK[P2,B,Ha,H]	1
XFVZK[P2,H,Ha,S]	1	XFVZK[P2,K,Ha,B]	1
XFVZK[P1,H,Ha,K]	1	XFVZK[P1,K,Ha,H]	0,884333333
XFVZK[P2,H,Ha,K]	1	XFVZK[P1,K,Ha,B]	0,805789474
Anteil an der Rückgabemenge von Produkt von Kunde transportiert über DZ...			
...zum Entsorgungsstandort		...zum Werk	
XKDZF[P1,Du,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Du,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Du,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Du,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Nu,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Nu,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Nu,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Nu,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Ha,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Ha,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Ha,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Ha,B,B]	0,4
XKDZF[P1,L,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,L,B,B]	0,4
XKDZF[P2,L,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,L,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Dr,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Dr,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Dr,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Dr,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Br,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Br,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Br,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Br,B,B]	0,4
XKDZF[P1,E,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,E,B,B]	0,4
XKDZF[P2,E,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,E,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Do,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Do,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Do,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Do,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Due,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Due,B,B]	0,4

Abbildung A.3: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte, $\forall f \in F$, unter $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

XKDZF[P2,Duc,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Duc,B,B]	0,4
XKDZF[P1,S,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,S,B,B]	0,4
XKDZF[P2,S,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,S,B,B]	0,4
XKDZF[P1,FM,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,FM,B,B]	0,4
XKDZF[P2,FM,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,FM,B,B]	0,4
XKDZF[P1,K,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,K,B,B]	0,4
XKDZF[P2,K,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,K,B,B]	0,4
XKDZF[P1,M,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,M,B,B]	0,4
XKDZF[P2,M,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,M,B,B]	0,4
XKDZF[P1,H,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,H,B,B]	0,4
XKDZF[P2,H,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,H,B,B]	0,4
XKDZF[P1,B,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,B,B,B]	0,4
XKDZF[P2,B,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,B,B,B]	0,4

Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $Cap_f^O = 16.667$ Produkte, $\forall f \in F$, unter $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für $Cap_v^O = 5.000$ Produkte für jedes VZ			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)			20.576.889,76
Standort-Variablen			
YDZ[FM]	1	YVZ[FM]	1
YVZ[Ha]	1	YVZ[K]	1
YVZ[L]	1	YVZ[M]	1
YVZ[Dr]	1	YVZ[H]	1
YVZ[Due]	1	YVZ[B]	1
YVZ[S]	1	YF[FM]	1
Anteil an Nachfrage nach Produkt transportiert vom Werk über VZ zu Kunden			
XFVZK[P1,FM,K,K]	1	XFVZK[P2,FM,FM,FM]	1
XFVZK[P2,FM,K,K]	1	XFVZK[P1,FM,B,B]	0,445614035
XFVZK[P1,FM,K,E]	0,541666667	XFVZK[P2,FM,B,B]	0,431578947
XFVZK[P1,FM,Ha,Ha]	1	XFVZK[P1,FM,S,Do]	1
XFVZK[P2,FM,Ha,Ha]	1	XFVZK[P2,FM,S,Do]	1
XFVZK[P1,FM,Ha,Br]	1	XFVZK[P1,FM,S,S]	1
XFVZK[P2,FM,Ha,Br]	1	XFVZK[P2,FM,S,S]	1
XFVZK[P1,FM,Ha,H]	0,333333333	XFVZK[P1,FM,Due,Du]	1
XFVZK[P1,FM,L,L]	1	XFVZK[P2,FM,Due,Du]	1
XFVZK[P2,FM,L,L]	1	XFVZK[P2,FM,Due,E]	1
XFVZK[P2,FM,L,B]	0,568421053	XFVZK[P1,FM,Due,Due]	1
XFVZK[P1,FM,Dr,Dr]	1	XFVZK[P2,FM,Due,Due]	1
XFVZK[P2,FM,Dr,Dr]	1	XFVZK[P1,FM,Due,E]	0,458333333
XFVZK[P1,FM,Dr,B]	0,554385965	XFVZK[P1,FM,M,M]	1
XFVZK[P1,FM,FM,Nu]	1	XFVZK[P2,FM,M,M]	1
XFVZK[P2,FM,FM,Nu]	1	XFVZK[P1,FM,H,H]	0,666666667
XFVZK[P1,FM,FM,FM]	1	XFVZK[P2,FM,H,H]	1
Anteil an der Rückgabemenge von Produkten von Kunden transportiert über DZ...			
...zum Entsorgungsstandort		...zum Werk	
XKDZF[P1,Du,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Du,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,Du,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Du,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,Nu,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Nu,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,Nu,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Nu,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,Ha,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Ha,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,Ha,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Ha,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,L,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,L,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,L,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,L,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,Dr,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Dr,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,Dr,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Dr,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,Br,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Br,FM,FM]	0,4

Abbildung A.4: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $Cap_{vz}^O = 5.000$ Produkte, $\forall vz \in VZ$, unter $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

XKDZF[P2,Br,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Br,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,E,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,E,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,E,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,E,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,Do,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Do,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,Do,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Do,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,Due,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Due,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,Due,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Due,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,S,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,S,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,S,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,S,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,FM,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,FM,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,FM,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,FM,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,K,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,K,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,K,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,K,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,M,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,M,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,M,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,M,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,H,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,H,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,H,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,H,FM,FM]	0,4
XKDZF[P1,B,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P1,B,FM,FM]	0,4
XKDZF[P2,B,FM,Dis]	0,6	XKDZF[P2,B,FM,FM]	0,4

Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $Cap_{vz}^O = 5.000$ Produkte, $\forall vz \in VZ$, unter $c_{kp}^U = c_{kp}^W = 10.000$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für $c^w = 20$ GE pro Produkt und Kunde			
Zielfunktionswert in GE		7.119.728,4 bestehend aus:	
Strafkosten in GE		462.800,0	Tatsächliche Kosten in GE 6.656.928,4
Standort-Variablen			
YVZ[B]	1	YF[B]	1
Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,B,B,Du]	1	XFVZK[P2,B,B,Do]	1
XFVZK[P2,B,B,Du]	1	XFVZK[P1,B,B,Due]	1
XFVZK[P1,B,B,Nu]	1	XFVZK[P2,B,B,Due]	1
XFVZK[P2,B,B,Nu]	1	XFVZK[P1,B,B,S]	1
XFVZK[P1,B,B,Ha]	1	XFVZK[P2,B,B,S]	1
XFVZK[P2,B,B,Ha]	1	XFVZK[P1,B,B,FM]	1
XFVZK[P1,B,B,L]	1	XFVZK[P2,B,B,FM]	1
XFVZK[P2,B,B,L]	1	XFVZK[P1,B,B,K]	1
XFVZK[P1,B,B,Dr]	1	XFVZK[P2,B,B,K]	1
XFVZK[P2,B,B,Dr]	1	XFVZK[P1,B,B,M]	1
XFVZK[P1,B,B,Br]	1	XFVZK[P2,B,B,M]	1
XFVZK[P2,B,B,Br]	1	XFVZK[P1,B,B,H]	1
XFVZK[P1,B,B,E]	1	XFVZK[P2,B,B,H]	1
XFVZK[P2,B,B,E]	1	XFVZK[P1,B,B,B]	1
XFVZK[P1,B,B,Do]	1	XFVZK[P2,B,B,B]	1
Anteil an der Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k, der nicht eingesammelt wird			
W[Du,P1]	1	W[Do,P2]	1
W[Du,P2]	1	W[Due,P1]	1
W[Nu,P1]	1	W[Due,P2]	1
W[Nu,P2]	1	W[S,P1]	1
W[Ha,P1]	1	W[S,P2]	1
W[Ha,P2]	1	W[FM,P1]	1
W[L,P1]	1	W[FM,P2]	1
W[L,P2]	1	W[K,P1]	1
W[Dr,P1]	1	W[K,P2]	1
W[Dr,P2]	1	W[M,P1]	1
W[Br,P1]	1	W[M,P2]	1
W[Br,P2]	1	W[H,P1]	1
W[E,P1]	1	W[H,P2]	1
W[E,P2]	1	W[B,P1]	1
W[Do,P1]	1	W[B,P2]	1

Abbildung A.5: Gesamtkosten und Werte unter $c_{kp}^W = 20$ GE und $c_{kp}^U = 144$ GE, $\forall p \in P, k \in K$ (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für c_{dz} = 9 GE pro Produkt			
Zielfunktionswert in GE		7.142.868,4 (Differenz zur Ausgangslösung: 4540,7)	
bestehend aus:			
Strafkosten in GE		485.940,0	Tatsächliche Kosten in GE 6.656.928,4
Standort-Variablen			
YVZ[B]	1	YF[B]	1
Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,B,B,Du]	1	XFVZK[P2,B,B,Do]	1
XFVZK[P2,B,B,Du]	1	XFVZK[P1,B,B,Due]	1
XFVZK[P1,B,B,Nu]	1	XFVZK[P2,B,B,Due]	1
XFVZK[P2,B,B,Nu]	1	XFVZK[P1,B,B,S]	1
XFVZK[P1,B,B,Ha]	1	XFVZK[P2,B,B,S]	1
XFVZK[P2,B,B,Ha]	1	XFVZK[P1,B,B,FM]	1
XFVZK[P1,B,B,L]	1	XFVZK[P2,B,B,FM]	1
XFVZK[P2,B,B,L]	1	XFVZK[P1,B,B,K]	1
XFVZK[P1,B,B,Dr]	1	XFVZK[P2,B,B,K]	1
XFVZK[P2,B,B,Dr]	1	XFVZK[P1,B,B,M]	1
XFVZK[P1,B,B,Br]	1	XFVZK[P2,B,B,M]	1
XFVZK[P2,B,B,Br]	1	XFVZK[P1,B,B,H]	1
XFVZK[P1,B,B,E]	1	XFVZK[P2,B,B,H]	1
XFVZK[P2,B,B,E]	1	XFVZK[P1,B,B,B]	1
XFVZK[P1,B,B,Do]	1	XFVZK[P2,B,B,B]	1
Anteil an Rückgabemenge von Kunde k nach Produkt p, der nicht eingesammelt wird			
W[Du,P1]	1	W[Do,P2]	1
W[Du,P2]	1	W[Due,P1]	1
W[Nu,P1]	1	W[Due,P2]	1
W[Nu,P2]	1	W[S,P1]	1
W[Ha,P1]	1	W[S,P2]	1
W[Ha,P2]	1	W[FM,P1]	1
W[L,P1]	1	W[FM,P2]	1
W[L,P2]	1	W[K,P1]	1
W[Dr,P1]	1	W[K,P2]	1
W[Dr,P2]	1	W[M,P1]	1
W[Br,P1]	1	W[M,P2]	1
W[Br,P2]	1	W[H,P1]	1
W[E,P1]	1	W[H,P2]	1
W[E,P2]	1	W[B,P1]	1
W[Do,P1]	1	W[B,P2]	1

Abbildung A.6: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $c_{dz} = 9$ GE, $\forall dz \in DZ$, unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für $c_{dz} = 0$ und $c^w = 1.000.000$ GE			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YDZ[B]	1	7.230.887,70	
YVZ[B]	1		
YF[B]	1		
Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,B,B,Du]	1	XFVZK[P1,B,B,Due]	1
XFVZK[P2,B,B,Du]	1	XFVZK[P2,B,B,Due]	1
XFVZK[P1,B,B,Nu]	1	XFVZK[P1,B,B,S]	1
XFVZK[P2,B,B,Nu]	1	XFVZK[P2,B,B,S]	1
XFVZK[P1,B,B,Ha]	1	XFVZK[P1,B,B,FM]	1
XFVZK[P2,B,B,Ha]	1	XFVZK[P2,B,B,FM]	1
XFVZK[P1,B,B,L]	1	XFVZK[P1,B,B,K]	1
XFVZK[P2,B,B,L]	1	XFVZK[P2,B,B,K]	1
XFVZK[P1,B,B,Dr]	1	XFVZK[P1,B,B,M]	1
XFVZK[P2,B,B,Dr]	1	XFVZK[P2,B,B,M]	1
XFVZK[P1,B,B,Br]	1	XFVZK[P1,B,B,H]	1
XFVZK[P2,B,B,Br]	1	XFVZK[P2,B,B,H]	1
XFVZK[P1,B,B,E]	1	XFVZK[P1,B,B,B]	1
XFVZK[P2,B,B,E]	1	XFVZK[P2,B,B,B]	1
XFVZK[P1,B,B,Do]	1		
XFVZK[P2,B,B,Do]	1		
Anteil an der Rückgabemenge von Produkt p von Kunde k transportiert über DZ...			
...zum Entsorgungsstandort		...zum Werk	
XKDZF[P1,Du,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Du,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Du,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Du,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Nu,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Nu,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Nu,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Nu,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Ha,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Ha,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Ha,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Ha,B,B]	0,4

Abbildung A.7: Gesamtkosten und Werte für $c_{dz} = 0$ GE, $\forall dz \in DZ$ unter $c_{kp}^w = 1.000.000$ GE und $c_{kp}^U = 144$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

XKDZF[P1,L,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,L,B,B]	0,4
XKDZF[P2,L,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,L,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Dr,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Dr,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Dr,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Dr,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Br,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Br,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Br,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Br,B,B]	0,4
XKDZF[P1,E,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,E,B,B]	0,4
XKDZF[P2,E,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,E,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Do,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Do,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Do,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Do,B,B]	0,4
XKDZF[P1,Due,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,Due,B,B]	0,4
XKDZF[P2,Due,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,Due,B,B]	0,4
XKDZF[P1,S,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,S,B,B]	0,4
XKDZF[P2,S,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,S,B,B]	0,4
XKDZF[P1,FM,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,FM,B,B]	0,4
XKDZF[P2,FM,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,FM,B,B]	0,4
XKDZF[P1,K,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,K,B,B]	0,4
XKDZF[P2,K,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,K,B,B]	0,4
XKDZF[P1,M,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,M,B,B]	0,4
XKDZF[P2,M,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,M,B,B]	0,4
XKDZF[P1,H,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,H,B,B]	0,4
XKDZF[P2,H,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,H,B,B]	0,4
XKDZF[P1,B,B,Dis]	0,6	XKDZF[P1,B,B,B]	0,4
XKDZF[P2,B,B,Dis]	0,6	XKDZF[P2,B,B,B]	0,4

Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $c_{dz} = 0$ GE, $\forall dz \in DZ$, unter $c_{kp}^W = 1.000.000$ GE und $c_{kp}^U = 144$ GE, $\forall p \in P, k \in K$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für $rg = 0,4$ pro Produkt und Kunde			
Zielfunktionswert in GE		7.045.680,4 bestehend aus:	
Strafkosten in GE		388.752,0	Tatsächliche Kosten in GE 6.656.928,4
Standort-Variablen			
YVZ[B]	1	YF[B]	1
Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,B,B,Du]	1	XFVZK[P1,B,B,Due]	1
XFVZK[P2,B,B,Du]	1	XFVZK[P2,B,B,Due]	1
XFVZK[P1,B,B,Nu]	1	XFVZK[P1,B,B,S]	1
XFVZK[P2,B,B,Nu]	1	XFVZK[P2,B,B,S]	1
XFVZK[P1,B,B,Ha]	1	XFVZK[P1,B,B,FM]	1
XFVZK[P2,B,B,Ha]	1	XFVZK[P2,B,B,FM]	1
XFVZK[P1,B,B,L]	1	XFVZK[P1,B,B,K]	1
XFVZK[P2,B,B,L]	1	XFVZK[P2,B,B,K]	1
XFVZK[P1,B,B,Dr]	1	XFVZK[P1,B,B,M]	1
XFVZK[P2,B,B,Dr]	1	XFVZK[P2,B,B,M]	1
XFVZK[P1,B,B,Br]	1	XFVZK[P1,B,B,H]	1
XFVZK[P2,B,B,Br]	1	XFVZK[P2,B,B,H]	1
XFVZK[P1,B,B,E]	1	XFVZK[P1,B,B,B]	1
XFVZK[P2,B,B,E]	1	XFVZK[P2,B,B,B]	1
XFVZK[P1,B,B,Do]	1		
XFVZK[P2,B,B,Do]	1		
Anteil an Rückgabemenge von Kunde k nach Produkt p, der nicht eingesammelt wird			
W[Du,P1]	1	W[Do,P2]	1
W[Du,P2]	1	W[Due,P1]	1
W[Nu,P1]	1	W[Due,P2]	1
W[Nu,P2]	1	W[S,P1]	1
W[Ha,P1]	1	W[S,P2]	1
W[Ha,P2]	1	W[FM,P1]	1
W[L,P1]	1	W[FM,P2]	1
W[L,P2]	1	W[K,P1]	1
W[Dr,P1]	1	W[K,P2]	1
W[Dr,P2]	1	W[M,P1]	1
W[Br,P1]	1	W[M,P2]	1
W[Br,P2]	1	W[H,P1]	1
W[E,P1]	1	W[H,P2]	1
W[E,P2]	1	W[B,P1]	1
W[Do,P1]	1	W[B,P2]	1

Abbildung A.8: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $rg_{kp} = 0,4$ unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

Lösung für Modell von Salema et al. (2007) für rg = 0 pro Produkt und Kunde			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YVZ[B]	1	6.656.928,40	
YF[B]	1		
Anteil an Nachfrage nach Produkt p transportiert vom Werk über VZ zu Kunde k			
XFVZK[P1,B,B,Du]	1	XFVZK[P2,B,B,Do]	1
XFVZK[P2,B,B,Du]	1	XFVZK[P1,B,B,Due]	1
XFVZK[P1,B,B,Nu]	1	XFVZK[P2,B,B,Due]	1
XFVZK[P2,B,B,Nu]	1	XFVZK[P1,B,B,S]	1
XFVZK[P1,B,B,Ha]	1	XFVZK[P2,B,B,S]	1
XFVZK[P2,B,B,Ha]	1	XFVZK[P1,B,B,FM]	1
XFVZK[P1,B,B,L]	1	XFVZK[P2,B,B,FM]	1
XFVZK[P2,B,B,L]	1	XFVZK[P1,B,B,K]	1
XFVZK[P1,B,B,Dr]	1	XFVZK[P2,B,B,K]	1
XFVZK[P2,B,B,Dr]	1	XFVZK[P1,B,B,M]	1
XFVZK[P1,B,B,Br]	1	XFVZK[P2,B,B,M]	1
XFVZK[P2,B,B,Br]	1	XFVZK[P1,B,B,H]	1
XFVZK[P1,B,B,E]	1	XFVZK[P2,B,B,H]	1
XFVZK[P2,B,B,E]	1	XFVZK[P1,B,B,B]	1
XFVZK[P1,B,B,Do]	1	XFVZK[P2,B,B,B]	1

Abbildung A.9: Gesamtkosten und Werte des Modells von Salema et al. (2007)[150] für $rg_{kp} = 0$ unter $c_{kp}^U = 144$ GE und $c_{kp}^W = 21$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

A.3 Lösungen des FLPR-Modells

Ausgangslösung für FLPR-Modell			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YVZ[B]	1		7679610,5
YF[B]	1		
Bearbeitungsmenge in Werk			
...an Komponenten		...an Produkten	
XCF[B,M1]	23140	XPF[B,P1]	23140
XCF[B,M2]	46280	XPF[B,P2]	23140
XCF[B,M3]	23140		
Transportmenge von Zulieferer zu Werk		Transportmenge von Werk zu VSZ	
XCZF[B,M1,B]	23140	XPFV[B,B,P1]	23140
XCZF[B,M2,B]	46280	XPFV[B,B,P2]	23140
XCZF[B,M3,B]	23140		
Transportmenge von VSZ zu Kunden			
XKVP[B,B,P1]	2850	XKVP[FM,B,P2]	600
XKVP[B,B,P2]	2850	XKVP[H,B,P1]	1500
XKVP[Br,B,P1]	460	XKVP[H,B,P2]	1500
XKVP[Br,B,P2]	460	XKVP[Ha,B,P1]	430
XKVP[Do,B,P1]	480	XKVP[Ha,B,P2]	430
XKVP[Do,B,P2]	480	XKVP[K,B,P1]	870
XKVP[Dr,B,P1]	440	XKVP[K,B,P2]	870
XKVP[Dr,B,P2]	440	XKVP[L,B,P1]	440

Abbildung A.10: Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLPR-Modells unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,B,P1]	400	XKVP[L,B,P2]	440
XKVP[Du,B,P2]	400	XKVP[M,B,P1]	1200
XKVP[Due,B,P1]	500	XKVP[M,B,P2]	1200
XKVP[Due,B,P2]	500	XKVP[Nu,B,P1]	420
XKVP[E,B,P1]	480	XKVP[Nu,B,P2]	420
XKVP[E,B,P2]	480	XKVP[S,B,P1]	500
XKVP[FM,B,P1]	600	XKVP[S,B,P2]	500
Transportmenge von Kunden zu VSZ			
XVKP[B,B,P1]	5700	XVKP[B,FM,P2]	1200
XVKP[B,B,P2]	5700	XVKP[B,H,P1]	3000
XVKP[B,Br,P1]	920	XVKP[B,H,P2]	3000
XVKP[B,Br,P2]	920	XVKP[B,Ha,P1]	860
XVKP[B,Do,P1]	960	XVKP[B,Ha,P2]	860
XVKP[B,Do,P2]	960	XVKP[B,K,P1]	1740
XVKP[B,Dr,P1]	880	XVKP[B,K,P2]	1740
XVKP[B,Dr,P2]	880	XVKP[B,L,P1]	880
XVKP[B,Du,P1]	800	XVKP[B,L,P2]	880
XVKP[B,Du,P2]	800	XVKP[B,M,P1]	2400
XVKP[B,Due,P1]	1000	XVKP[B,M,P2]	2400
XVKP[B,Due,P2]	1000	XVKP[B,Nu,P1]	840
XVKP[B,E,P1]	960	XVKP[B,Nu,P2]	840
XVKP[B,E,P2]	960	XVKP[B,S,P1]	1000
XVKP[B,FM,P1]	1200	XVKP[B,S,P2]	1000
Transportmenge von VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1]	11570	XVRP[B,Dis,P2]	11570

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLPR-Modells unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

Lösung für FLPR-Modell für $c'' = 165$ GE pro Produkt und Kunde			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			7.636.200
Menge an unbefriedigter Nachfrage nach Produkt p von Kunde k			
U[B,P1]	5700	U[E,P2]	960
U[B,P2]	5700	U[Do,P1]	960
U[H,P1]	3000	U[Do,P2]	960
U[H,P2]	3000	U[Br,P1]	920
U[M,P1]	2400	U[Br,P2]	920
U[M,P2]	2400	U[L,P1]	880
U[K,P1]	1740	U[L,P2]	880
U[K,P2]	1740	U[Dr,P1]	880
U[FM,P1]	1200	U[Dr,P2]	880
U[FM,P2]	1200	U[Ha,P1]	860
U[Due,P1]	1000	U[Ha,P2]	860
U[Due,P2]	1000	U[Nu,P1]	840
U[S,P1]	1000	U[Nu,P2]	840
U[S,P2]	1000	U[Du,P1]	800
U[E,P1]	960	U[Du,P2]	800

Abbildung A.11: Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells unter $c_{kp}^U = 165$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

Lösung für FLPR-Modell für $Cap_v^O = 87.000 \text{ m}^3$ pro VSZ und $c^u = 1.000 \text{ GE}$ pro Nachfrage			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YV[M]	1	18.086.049,71	
YV[L]	1	YV[FM]	1
YV[K]	1	YV[E]	1
YV[Ha]	1	YV[B]	1
YV[H]	1	YF[K]	1
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[K,M2,K]	46280	XCZF[K,M1,K]	23140
XCZF[K,M3,K]	23140		
Bearbeitungsmengen im Werk			
...an Komponenten		...an Produkt	
XCF[K,M3]	23140	XPF[K,P2]	23140
XCF[K,M2]	46280	XPF[K,P1]	23140
XCF[K,M1]	23140		
Transportmengen vom Werk zu VSZ			
XPfV[K,M,P2]	2400	XPfV[K,H,P2]	3000
XPfV[K,M,P1]	2400	XPfV[K,H,P1]	
XPfV[K,L,P2]	1760	XPfV[K,FM,P2]	3040
XPfV[K,L,P1]	1760	XPfV[K,FM,P1]	3040
XPfV[K,K,P2]	2740	XPfV[K,E,P2]	3640
XPfV[K,K,P1]	3220	XPfV[K,E,P1]	3160
XPfV[K,Ha,P2]	860	XPfV[K,B,P2]	5700
XPfV[K,Ha,P1]	3560	XPfV[K,B,P1]	3000
Transportmengen zu Kunden von VSZ			
XVKP[M,M,P2]	2400	XVKP[FM,S,P2]	1000
XVKP[M,M,P1]	2400	XVKP[FM,S,P1]	1000
XVKP[L,L,P2]	880	XVKP[FM,Nu,P2]	840
XVKP[L,L,P1]	880	XVKP[FM,Nu,P1]	840
XVKP[L,Dr,P2]	880	XVKP[FM,FM,P2]	1200
XVKP[L,Dr,P1]	880	XVKP[FM,FM,P1]	1200
XVKP[K,K,P2]	1740	XVKP[E,E,P2]	960
XVKP[K,K,P1]	1740	XVKP[E,E,P1]	960
XVKP[K,Du,P2]	1000	XVKP[E,Du,P2]	800
XVKP[K,Du,P1]	1000	XVKP[E,Du,P1]	320
XVKP[K,Do,P1]	480	XVKP[E,Do,P2]	960
XVKP[Ha,Ha,P2]	860	XVKP[E,Do,P1]	960
XVKP[Ha,Ha,P1]	860	XVKP[E,Br,P2]	920
XVKP[Ha,B,P1]	2700	XVKP[E,Br,P1]	920
XVKP[H,H,P2]	3000	XVKP[B,B,P2]	5700
XVKP[H,H,P1]	3000	XVKP[B,B,P1]	3000

Abbildung A.12: Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $Cap_v^O = 87.000 \text{ m}^3$, $\forall v \in V$, unter $c_{kp}^U = 1.000 \text{ GE}$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,Ha,P2]	2200	XKVP[H,H,P2]	1200
XKVP[Br,Ha,P1]	460	XKVP[H,Ha,P2]	300
XKVP[Br,Ha,P2]	460	XKVP[K,K,P1]	870
XKVP[Ha,Ha,P1]	430	XKVP[K,K,P2]	870
XKVP[Ha,Ha,P2]	430	XKVP[Due,K,P1]	500
XKVP[B,L,P1]	2850	XKVP[Due,K,P2]	500
XKVP[B,L,P2]	650	XKVP[Do,E,P1]	140
XKVP[Dr,L,P1]	440	XKVP[Du,E,P1]	400
XKVP[Dr,L,P2]	360	XKVP[Du,E,P2]	400
XKVP[L,L,P1]	440	XKVP[E,E,P1]	480
XKVP[L,L,P2]	440	XKVP[E,E,P2]	480
XKVP[Do,FM,P1]	340	XKVP[Dr,M,P2]	80
XKVP[Do,FM,P2]	480	XKVP[M,M,P1]	1200
XKVP[FM,FM,P1]	600	XKVP[M,M,P2]	1200
XKVP[FM,FM,P2]	600	XKVP[Nu,M,P1]	420
XKVP[S,FM,P1]	100	XKVP[Nu,M,P2]	420
XKVP[S,FM,P2]	500	XKVP[S,M,P1]	400
XKVP[H,H,P1]	1500		
Transportmengen von VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[M,Dis,P2]	1700	XVRP[Ha,Dis,P1]	890
XVRP[M,Dis,P1]	2020	XVRP[H,Dis,P2]	1200
XVRP[L,Dis,P2]	1450	XVRP[H,Dis,P1]	1500
XVRP[L,Dis,P1]	3730	XVRP[FM,Dis,P2]	1580
XVRP[K,Dis,P2]	1370	XVRP[FM,Dis,P1]	1040
XVRP[K,Dis,P1]	1370	XVRP[E,Dis,P2]	880
XVRP[Ha,Dis,P2]	3390	XVRP[E,Dis,P1]	1020

Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $Cap_v^O = 87.000 \text{ m}^3$, $\forall v \in V$, unter $c_{kp}^U = 1.000 \text{ GE}$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung für FLPR-Modell für $rg = 0,8$ pro Produkt und Kunde			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			7.682.480
Menge an unbefriedigter Nachfrage nach Produkt p von Kunde k			
U[B,P1]	5700	U[E,P2]	960
U[B,P2]	5700	U[Do,P1]	960
U[H,P1]	3000	U[Do,P2]	960
U[H,P2]	3000	U[Br,P1]	920
U[M,P1]	2400	U[Br,P2]	920
U[M,P2]	2400	U[L,P1]	880
U[K,P1]	1740	U[L,P2]	880
U[K,P2]	1740	U[Dr,P1]	880
U[FM,P1]	1200	U[Dr,P2]	880
U[FM,P2]	1200	U[Ha,P1]	860
U[Duc,P1]	1000	U[Ha,P2]	860
U[Duc,P2]	1000	U[Nu,P1]	840
U[S,P1]	1000	U[Nu,P2]	840
U[S,P2]	1000	U[Du,P1]	800
U[E,P1]	960	U[Du,P2]	800

Abbildung A.13: Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $rg_{kp} = 0,8$ unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

Lösung für FLPR-Modell für $c_r = -5$ GE pro wiederaufbereitete Komponente			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YVZ[B]	1	7.677.475,5	
YF[B]	1		
YR[B]	1		
Bearbeitungsmengen im WZ			
...an Komponenten		...an Produkt	
XCR[B,M1]	8099	XPR[B,P1]	8099
XCR[B,M2]	16198	XPR[B,P2]	8099
XCR[B,M3]	8099		
Transportmengen vom WZ...			
...zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B]	8099	XCRF[B,M1,Dis]	2430
XCRF[B,M2,B]	16198	XCRF[B,M2,Dis]	4860
XCRF[B,M3,B]	8099	XCRF[B,M3,Dis]	2430
Bearbeitungsmengen im Werk			
...an Komponenten		...an Produkt	
XCF[B,M1]	23140	XPF[B,P1]	23140
XCF[B,M2]	46280	XPF[B,P2]	23140
XCF[B,M3]	23140		
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk		Transportmengen vom Werk zum VSZ	
XCZF[B,M1,B]	15041	XPFV[B,B,P1]	23140
XCZF[B,M2,B]	30082	XPFV[B,B,P2]	23140
XCZF[B,M3,B]	15041		
Transportmenge vom VSZ zu Kunde			
XKVP[B,B,P1]	2850	XKVP[FM,B,P2]	600
XKVP[B,B,P2]	2850	XKVP[H,B,P1]	1500
XKVP[Br,B,P1]	460	XKVP[H,B,P2]	1500
XKVP[Br,B,P2]	460	XKVP[Ha,B,P1]	430
XKVP[Do,B,P1]	480	XKVP[Ha,B,P2]	430
XKVP[Do,B,P2]	480	XKVP[K,B,P1]	870
XKVP[Dr,B,P1]	440	XKVP[K,B,P2]	870
XKVP[Dr,B,P2]	440	XKVP[L,B,P1]	440
XKVP[Du,B,P1]	400	XKVP[L,B,P2]	440
XKVP[Du,B,P2]	400	XKVP[M,B,P1]	1200
XKVP[Due,B,P1]	500	XKVP[M,B,P2]	1200
XKVP[Due,B,P2]	500	XKVP[Nu,B,P1]	420
XKVP[E,B,P1]	480	XKVP[Nu,B,P2]	420
XKVP[E,B,P2]	480	XKVP[S,B,P1]	500
XKVP[FM,B,P1]	600	XKVP[S,B,P2]	500

Abbildung A.14: Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $c_r = -5$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XVKP[B,B,P1]	5700	XVKP[B,FM,P2]	1200
XVKP[B,B,P2]	5700	XVKP[B,H,P1]	3000
XVKP[B,Br,P1]	920	XVKP[B,H,P2]	3000
XVKP[B,Br,P2]	920	XVKP[B,Ha,P1]	860
XVKP[B,Do,P1]	960	XVKP[B,Ha,P2]	860
XVKP[B,Do,P2]	960	XVKP[B,K,P1]	1740
XVKP[B,Dr,P1]	880	XVKP[B,K,P2]	1740
XVKP[B,Dr,P2]	880	XVKP[B,L,P1]	880
XVKP[B,Du,P1]	800	XVKP[B,L,P2]	880
XVKP[B,Du,P2]	800	XVKP[B,M,P1]	2400
XVKP[B,Due,P1]	1000	XVKP[B,M,P2]	2400
XVKP[B,Due,P2]	1000	XVKP[B,Nu,P1]	840
XVKP[B,E,P1]	960	XVKP[B,Nu,P2]	840
XVKP[B,E,P2]	960	XVKP[B,S,P1]	1000
XVKP[B,FM,P1]	1200	XVKP[B,S,P2]	1000
Transportmengen vom VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1]	8099	XVRP[B,Dis,P1]	3471
XVRP[B,B,P2]	8099	XVRP[B,Dis,P2]	3471

Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $c_r = -5$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung für FLPR-Modell für $c_r = -5$ GE pro wiederaufbereitete Komponente und			
$rg = 0,4$ pro Produkt und Kunde			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YVZ[B]	1		7.660.194,08
YF[B]	1		
Bearbeitungsmenge in Werk			
...an Komponenten c		...an Produkt p	
XCF[B,M1]	23140	XPF[B,P1]	23140
XCF[B,M2]	46280	XPF[B,P2]	23140
XCF[B,M3]	23140		
Transportmenge von Zulieferer zu Werk		Transportmenge von Werk zu VSZ	
XCZF[B,M1,B]	23140	XPFV[B,B,P1]	23140
XCZF[B,M2,B]	46280	XPFV[B,B,P2]	23140
XCZF[B,M3,B]	23140		
Transportmenge von VSZ zu Kunde k			
XVKP[B,B,P1]	5700	XVKP[B,FM,P2]	1200
XVKP[B,B,P2]	5700	XVKP[B,H,P1]	3000
XVKP[B,Br,P1]	920	XVKP[B,H,P2]	3000
XVKP[B,Br,P2]	920	XVKP[B,Ha,P1]	860
XVKP[B,Do,P1]	960	XVKP[B,Ha,P2]	860
XVKP[B,Do,P2]	960	XVKP[B,K,P1]	1740
XVKP[B,Dr,P1]	880	XVKP[B,K,P2]	1740
XVKP[B,Dr,P2]	880	XVKP[B,L,P1]	880
XVKP[B,Du,P1]	800	XVKP[B,L,P2]	880
XVKP[B,Du,P2]	800	XVKP[B,M,P1]	2400
XVKP[B,Due,P1]	1000	XVKP[B,M,P2]	2400
XVKP[B,Due,P2]	1000	XVKP[B,Nu,P1]	840
XVKP[B,E,P1]	960	XVKP[B,Nu,P2]	840
XVKP[B,E,P2]	960	XVKP[B,S,P1]	1000
XVKP[B,FM,P1]	1200	XVKP[B,S,P2]	1000

Abbildung A.15: Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $rg_{kp} = 0,4$ und $c_r = -5$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1]	2280	XKVP[FM,B,P2]	480
XKVP[B,B,P2]	2280	XKVP[H,B,P1]	1200
XKVP[Br,B,P1]	368	XKVP[H,B,P2]	1200
XKVP[Br,B,P2]	368	XKVP[Ha,B,P1]	344
XKVP[Do,B,P1]	384	XKVP[Ha,B,P2]	344
XKVP[Do,B,P2]	384	XKVP[K,B,P1]	696
XKVP[Dr,B,P1]	352	XKVP[K,B,P2]	696
XKVP[Dr,B,P2]	352	XKVP[L,B,P1]	352
XKVP[Du,B,P1]	320	XKVP[L,B,P2]	352
XKVP[Du,B,P2]	320	XKVP[M,B,P1]	960
XKVP[Due,B,P1]	400	XKVP[M,B,P2]	960
XKVP[Due,B,P2]	400	XKVP[Nu,B,P1]	336
XKVP[E,B,P1]	384	XKVP[Nu,B,P2]	336
XKVP[E,B,P2]	384	XKVP[S,B,P1]	400
XKVP[FM,B,P1]	480	XKVP[S,B,P2]	400
Transportmenge von VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1]	9256	XVRP[B,Dis,P2]	9256

Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $rg_{kp} = 0,4$ und $c_r = -5$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLPR-Modells für $c_z = 9$ GE pro Komponente vom Hamburger Zulieferer			
Standort-Variablen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YF[H]	1	7598259,76	
YV[Ha]	1		
Bearbeitungsmengen in Werk			
...an Komponenten		...an Produkt	
XCF[H,M1]	23140	XPf[H,P1]	23140
XCF[H,M2]	46280	XPf[H,P2]	23140
XCF[H,M3]	23140		
Transportmengen von Zulieferer zu Werk		Transportmengen von Werk zu VSZ	
XCZF[H,M1,H]	23140	XPfV[H,Ha,P1]	23140
XCZF[H,M2,H]	46280	XPfV[H,Ha,P2]	23140
XCZF[H,M3,H]	23140		
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XKVP[B,Ha,P1]	2850	XKVP[FM,Ha,P2]	600
XKVP[B,Ha,P2]	2850	XKVP[H,Ha,P1]	1500
XKVP[Br,Ha,P1]	460	XKVP[H,Ha,P2]	1500
XKVP[Br,Ha,P2]	460	XKVP[Ha,Ha,P1]	430
XKVP[Do,Ha,P1]	480	XKVP[Ha,Ha,P2]	430
XKVP[Do,Ha,P2]	480	XKVP[K,Ha,P1]	870
XKVP[Dr,Ha,P1]	440	XKVP[K,Ha,P2]	870
XKVP[Dr,Ha,P2]	440	XKVP[L,Ha,P1]	440
XKVP[Du,Ha,P1]	400	XKVP[L,Ha,P2]	440
XKVP[Du,Ha,P2]	400	XKVP[M,Ha,P1]	1200
XKVP[Due,Ha,P1]	500	XKVP[M,Ha,P2]	1200
XKVP[Due,Ha,P2]	500	XKVP[Nu,Ha,P1]	420
XKVP[E,Ha,P1]	480	XKVP[Nu,Ha,P2]	420
XKVP[E,Ha,P2]	480	XKVP[S,Ha,P1]	500
XKVP[FM,Ha,P1]	600	XKVP[S,Ha,P2]	500
Transportmengen von Kunde zu VSZ			
XVKP[Ha,B,P1]	5700	XVKP[Ha,FM,P2]	1200
XVKP[Ha,B,P2]	5700	XVKP[Ha,H,P1]	3000
XVKP[Ha,Br,P1]	920	XVKP[Ha,H,P2]	3000
XVKP[Ha,Br,P2]	920	XVKP[Ha,Ha,P1]	860
XVKP[Ha,Do,P1]	960	XVKP[Ha,Ha,P2]	860
XVKP[Ha,Do,P2]	960	XVKP[Ha,K,P1]	1740
XVKP[Ha,Dr,P1]	880	XVKP[Ha,K,P2]	1740
XVKP[Ha,Dr,P2]	880	XVKP[Ha,L,P1]	880
XVKP[Ha,Du,P1]	800	XVKP[Ha,L,P2]	880
XVKP[Ha,Du,P2]	800	XVKP[Ha,M,P1]	2400
XVKP[Ha,Due,P1]	1000	XVKP[Ha,M,P2]	2400
XVKP[Ha,Due,P2]	1000	XVKP[Ha,Nu,P1]	840
XVKP[Ha,E,P1]	960	XVKP[Ha,Nu,P2]	840
XVKP[Ha,E,P2]	960	XVKP[Ha,S,P1]	1000
XVKP[Ha,FM,P1]	1200	XVKP[Ha,S,P2]	1000
Transportmengen von VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[Ha,Dis,P1]	11570	XVRP[Ha,Dis,P2]	11570

Abbildung A.16: Gesamtkosten und Werte des FLPR-Modells für $c_H^c = 9$ GE, $\forall c \in C$, unter $c_{kp}^U = 166$ GE, $\forall k \in K, p \in P$ (Eigene Darstellung)

A.4 Lösungen des FLCPR-Modells und weitere Daten für die Sensitivitätsanalyse

Ausgangslösung für FLCPR-Modell			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Diskontierte Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1		12.919.237,81
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten... ...im Werk	
YVGes[B,1]	1		
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	695
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	162
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	162
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	162
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapRUP[B,2]	162
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapRUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapRUP[B,5]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,5]	1
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140

Abbildung A.17: Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	34940
XCZF[B,M1,B,2]	17473	XCZF[B,M2,B,5]	34940
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17470	XCZF[B,M3,B,2]	17473
XCZF[B,M1,B,5]	17470	XCZF[B,M3,B,3]	17470
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	17470
XCZF[B,M2,B,2]	34946	XCZF[B,M3,B,5]	17470
XCZF[B,M2,B,3]	34940		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE,
 $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE,
 $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE,
 $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE,
 $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8099	XVRP[B,Dis,P1,2]	3471
XVRP[B,B,P1,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1,3]	3471
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P1,5]	8099	XVRP[B,Dis,P1,5]	3471
XVRP[B,B,P2,2]	8099	XVRP[B,Dis,P2,2]	3471
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8099	XVRP[B,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8096	XCR[B,M2,4]	16200
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M2,5]	16200
XCR[B,M1,4]	8100	XCR[B,M3,2]	8096
XCR[B,M1,5]	8100	XCR[B,M3,3]	8100
XCR[B,M2,2]	16192	XCR[B,M3,4]	8100
XCR[B,M2,3]	16200	XCR[B,M3,5]	8100
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8096	XPR[B,P2,2]	8096
XPR[B,P1,3]	8100	XPR[B,P2,3]	8100
XPR[B,P1,4]	8100	XPR[B,P2,4]	8100
XPR[B,P1,5]	8100	XPR[B,P2,5]	8100
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5667	XCRF[B,M1,Dis,2]	2429
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5670	XCRF[B,M1,Dis,4]	2430
XCRF[B,M1,B,5]	5670	XCRF[B,M1,Dis,5]	2430
XCRF[B,M2,B,2]	11334	XCRF[B,M2,Dis,2]	4858
XCRF[B,M2,B,3]	11340	XCRF[B,M2,Dis,3]	4860
XCRF[B,M2,B,4]	11340	XCRF[B,M2,Dis,4]	4860
XCRF[B,M2,B,5]	11340	XCRF[B,M2,Dis,5]	4860
XCRF[B,M3,B,2]	5667	XCRF[B,M3,Dis,2]	2429
XCRF[B,M3,B,3]	5670	XCRF[B,M3,Dis,3]	2430
XCRF[B,M3,B,4]	5670	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
XCRF[B,M3,B,5]	5670	XCRF[B,M3,Dis,5]	2430
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	3	IPR[B,P2,2]	3
IPR[B,P1,3]	2	IPR[B,P2,3]	2
IPR[B,P1,4]	1	IPR[B,P2,4]	1

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 77$ GE,
 $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

In Periode 2 werden 6 zurückgegebene Produkte im WZ gelagert; dieser Lagerbestand wird in den jeweils folgenden Perioden wieder abgebaut, sodass am Ende des Planungshorizonts keine Produkte mehr im WZ gelagert werden. Ohne die Lagerung dieser zurückgegebenen Produkte würden 8.099 Produkte jede Periode im WZ bearbeitet und nach der Refabrikation müssten mindestens 30% der wiederaufbereiteten Komponenten entsorgt

werden, also 2.429,7 M1- und M3-Komponenten und 4.859,4 M2-Komponenten. Allerdings müssen die Entsorgungsmengen ganzzahlig sein, also müssten dann 2.430 M1- und M3-Komponenten und 4.860 M2-Komponenten entsorgt werden. Das Ziel des FLCPR-Modells ist die Minimierung der diskontierten Gesamtkosten und für die Daten des Ausgangsbeispiels bedeutet diese Minimierung, dass die maximal mögliche Menge an wiederaufbereiteten Komponenten erlangt werden soll. Durch die Lagerung von zurückgegebenen Produkten wird erreicht, dass in der zweiten Periode 2.429 M1- und M3-Komponenten und 4.858 M2-Komponenten und in den folgenden Perioden 2.430 M1- und M3-Komponenten und 4.860 M2-Komponenten entsorgt werden und damit 4 wiederaufbereitete Komponenten mehr im Werk zu Produkten zusammen montiert werden können als ohne Lagerung von zurückgegebenen Produkten im WZ. Diese Lagerhaltungsentscheidung ist natürlich unrealistisch.

Lösung des FLCPR-Modells für $c_r = 2$ GE pro Komponente in jedem WZ			
Variablen für Standortöffnungen		Zielfunktionswert (Diskontierte Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	13.169.583,16	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	694
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	162
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	162
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	162
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapRUP[B,2]	162
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapRUP[B,5]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,4]	1
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		

Abbildung A.18: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	34942
XCZF[B,M1,B,2]	17472	XCZF[B,M2,B,5]	34942
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17471	XCZF[B,M3,B,2]	17472
XCZF[B,M1,B,5]	17471	XCZF[B,M3,B,3]	17470
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	17471
XCZF[B,M2,B,2]	34943	XCZF[B,M3,B,5]	17471
XCZF[B,M2,B,3]	34940		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23120	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE,
 $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8099	XVRP[B,Dis,P1,2]	3471
XVRP[B,B,P1,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1,3]	3471
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P1,5]	8099	XVRP[B,Dis,P1,5]	3471
XVRP[B,B,P2,2]	8099	XVRP[B,Dis,P2,2]	3471
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8099	XVRP[B,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8098	XCR[B,M2,4]	16198
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M2,5]	16198
XCR[B,M1,4]	8099	XCR[B,M3,2]	8098
XCR[B,M1,5]	8099	XCR[B,M3,3]	8100
XCR[B,M2,2]	16196	XCR[B,M3,4]	8099
XCR[B,M2,3]	16200	XCR[B,M3,5]	8099
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8098	XPR[B,P2,2]	8098
XPR[B,P1,3]	8100	XPR[B,P2,3]	8100
XPR[B,P1,4]	8099	XPR[B,P2,4]	8099
XPR[B,P1,5]	8099	XPR[B,P2,5]	8099
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5668	XCRF[B,M1,Dis,2]	2430
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5669	XCRF[B,M1,Dis,4]	2430
XCRF[B,M1,B,5]	5669	XCRF[B,M1,Dis,5]	2430
XCRF[B,M2,B,2]	11337	XCRF[B,M2,Dis,2]	4859
XCRF[B,M2,B,3]	11340	XCRF[B,M2,Dis,3]	4860
XCRF[B,M2,B,4]	11338	XCRF[B,M2,Dis,4]	4860
XCRF[B,M2,B,5]	11338	XCRF[B,M2,Dis,5]	4860
XCRF[B,M3,B,2]	5668	XCRF[B,M3,Dis,2]	2430
XCRF[B,M3,B,3]	5670	XCRF[B,M3,Dis,3]	2430
XCRF[B,M3,B,4]	5669	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
XCRF[B,M3,B,5]	5669	XCRF[B,M3,Dis,5]	2430
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	1	IPR[B,P2,2]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $c_r = 2$, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 77$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für $c^U = 76$ GE pro Kunde und Produkt			
Zielfunktionswert in GE		12.919.263,43	bestehend aus:
Diskontierte Strafkosten in GE		1.446,23	Diskontierte tatsächliche Kosten in GE 12.917.817,20
Variablen für Standorteröffnungen		Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YFGes[B,1]	1	...im Werk	
YRGes[B,2]	1	CapFT[B,1]	463
YVGes[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,3]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,3]	1	...im VSZ	
YF[B,4]	1	CapVT[B,1]	463
YF[B,5]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,2]	1	CapVT[B,3]	695
YR[B,3]	1	CapVT[B,4]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,5]	694
YR[B,5]	1	...im WZ	
YV[B,1]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,2]	1	CapRT[B,3]	162
YV[B,3]	1	CapRT[B,4]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,5]	162
YV[B,5]	1	Kapazitätsaufbau	
Kapazitätsveränderungen		CCapFUP[B,1]	463
CCapF[B,1]	463	CCapRUP[B,2]	162
CCapR[B,2]	162	CCapVUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapVUP[B,2]	232
CCapV[B,2]	232	Kapazitätsabbau	
CCapV[B,5]	-1	CCapVDOWN[B,5]	-1
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapRUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,2]	1
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46260
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23120	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		

Abbildung A.19: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23120	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	34940
XCZF[B,M1,B,2]	17473	XCZF[B,M2,B,5]	34922
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17470	XCZF[B,M3,B,2]	17473
XCZF[B,M1,B,5]	17451	XCZF[B,M3,B,3]	17470
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	17470
XCZF[B,M2,B,2]	34945	XCZF[B,M3,B,5]	17471
XCZF[B,M2,B,3]	34940		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23120	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	980
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8098	XVRP[B,Dis,P1,2]	3472
XVRP[B,B,P1,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1,3]	3471
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P1,5]	8099	XVRP[B,Dis,P1,5]	3471
XVRP[B,B,P2,2]	8099	XVRP[B,Dis,P2,2]	3471
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8099	XVRP[B,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8096	XCR[B,M2,4]	16200
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M2,5]	16198
XCR[B,M1,4]	8100	XCR[B,M3,2]	8097
XCR[B,M1,5]	8099	XCR[B,M3,3]	8100
XCR[B,M2,2]	16193	XCR[B,M3,4]	8100
XCR[B,M2,3]	16200	XCR[B,M3,5]	8099
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8096	XPR[B,P2,2]	8097
XPR[B,P1,3]	8100	XPR[B,P2,3]	8100
XPR[B,P1,4]	8100	XPR[B,P2,4]	8100
XPR[B,P1,5]	8099	XPR[B,P2,5]	8099
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5667	XCRF[B,M1,Dis,2]	2429
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5670	XCRF[B,M1,Dis,4]	2430
XCRF[B,M1,B,5]	5669	XCRF[B,M1,Dis,5]	2430
XCRF[B,M2,B,2]	11335	XCRF[B,M2,Dis,2]	4858
XCRF[B,M2,B,3]	11340	XCRF[B,M2,Dis,3]	4860
XCRF[B,M2,B,4]	11340	XCRF[B,M2,Dis,4]	4860
XCRF[B,M2,B,5]	11338	XCRF[B,M2,Dis,5]	4860
XCRF[B,M3,B,2]	5667	XCRF[B,M3,Dis,2]	2430
XCRF[B,M3,B,3]	5670	XCRF[B,M3,Dis,3]	2430
XCRF[B,M3,B,4]	5670	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
XCRF[B,M3,B,5]	5669	XCRF[B,M3,Dis,5]	2430
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	2	IPR[B,P2,2]	2
IPR[B,P1,3]	1	IPR[B,P2,3]	1
Unbefriedigte Nachfrage		U[S,P1,5]	20

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells unter $c_{kp}^U = 76$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

Lösung für FLCPR-Modell für Rückgaberate von 0,8 für alle Kunden und Produkte			
Variablen für Standortöffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	14.093.264,95	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk	
YVGes[Do,1]	1	CapFT[B,1]	463
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,2]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,4]	1	...im VSZ in Berlin	
YF[B,5]	1	CapVT[B,1]	329
YR[B,2]	1	CapVT[B,2]	578
YR[B,3]	1	CapVT[B,3]	578
YR[B,4]	1	CapVT[B,4]	578
YR[B,5]	1	CapVT[B,5]	578
YV[B,1]	1	...im VSZ in Dortmund	
YV[B,2]	1	CapVT[Do,1]	134
YV[B,3]	1	CapVT[Do,2]	256
YV[B,4]	1	CapVT[Do,3]	256
YV[B,5]	1	CapVT[Do,4]	256
YV[Do,1]	1	CapVT[Do,5]	256
YV[Do,2]	1	...im WZ	
YV[Do,3]	1	CapRT[B,2]	260
YV[Do,4]	1	CapRT[B,3]	260
YV[Do,5]	1	CapRT[B,4]	260
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	259
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	260	CCapFUP[B,1]	463
CCapR[B,5]	-1	CCapRUP[B,2]	260
CCapV[B,1]	329	CCapVUP[B,1]	329
CCapV[B,2]	249	CCapVUP[B,2]	249
CCapV[Do,1]	134	CCapVUP[Do,1]	134
CCapV[Do,2]	122	CCapVUP[Do,2]	122
Kapazitätsabbau		CCapRDOWN[B,5]	-1
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[Do,1]	1
YCCapVUP[B,1]	1	YCCapVUP[Do,2]	1

Abbildung A.20: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 7 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Werk zu VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	16420	XPFV[B,Do,P1,1]	6720
XPFV[B,B,P1,2]	16480	XPFV[B,Do,P1,2]	6660
XPFV[B,B,P1,3]	16480	XPFV[B,Do,P1,3]	6660
XPFV[B,B,P1,4]	16480	XPFV[B,Do,P1,4]	6660
XPFV[B,B,P1,5]	16480	XPFV[B,Do,P1,5]	6660
XPFV[B,B,P2,1]	16480	XPFV[B,Do,P2,1]	6660
XPFV[B,B,P2,2]	16480	XPFV[B,Do,P2,2]	6660
XPFV[B,B,P2,3]	16480	XPFV[B,Do,P2,3]	6660
XPFV[B,B,P2,4]	16480	XPFV[B,Do,P2,4]	6660
XPFV[B,B,P2,5]	16480	XPFV[B,Do,P2,5]	6660
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	28139
XCZF[B,M1,B,2]	14070	XCZF[B,M2,B,5]	28150
XCZF[B,M1,B,3]	14070	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	14070	XCZF[B,M3,B,2]	14070
XCZF[B,M1,B,5]	14075	XCZF[B,M3,B,3]	14070
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	14070
XCZF[B,M2,B,2]	28139	XCZF[B,M3,B,5]	14075
XCZF[B,M2,B,3]	28139		

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \quad \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 7 (Eigene Darstellung)

Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,S,P1,1]	940
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,S,P2,5]	1000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[Do,Do,P1,1]	960
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[Do,Do,P1,2]	960
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[Do,Do,P1,3]	960
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[Do,Do,P1,4]	960
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[Do,Do,P1,5]	960
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[Do,Do,P2,1]	960
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[Do,Do,P2,2]	960
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[Do,Do,P2,3]	960
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[Do,Do,P2,4]	960
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[Do,Do,P2,5]	960
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[Do,Du,P1,1]	800
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[Do,Du,P1,2]	800
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[Do,Du,P1,3]	800
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[Do,Du,P1,4]	800
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[Do,Du,P1,5]	800
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[Do,Du,P2,1]	800
XVKP[B,H,P1,1]	3000	XVKP[Do,Du,P2,2]	800
XVKP[B,H,P1,2]	3000	XVKP[Do,Du,P2,3]	800
XVKP[B,H,P1,3]	3000	XVKP[Do,Du,P2,4]	800
XVKP[B,H,P1,4]	3000	XVKP[Do,Du,P2,5]	800
XVKP[B,H,P1,5]	3000	XVKP[Do,Due,P1,1]	1000
XVKP[B,H,P2,1]	3000	XVKP[Do,Due,P1,2]	1000
XVKP[B,H,P2,2]	3000	XVKP[Do,Due,P1,3]	1000
XVKP[B,H,P2,3]	3000	XVKP[Do,Due,P1,4]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \quad \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,H,P2,4]	3000	XVKP[Do,Due,P1,5]	1000
XVKP[B,H,P2,5]	3000	XVKP[Do,Due,P2,1]	1000
XVKP[B,Ha,P1,1]	860	XVKP[Do,Due,P2,2]	1000
XVKP[B,Ha,P1,2]	860	XVKP[Do,Due,P2,3]	1000
XVKP[B,Ha,P1,3]	860	XVKP[Do,Due,P2,4]	1000
XVKP[B,Ha,P1,4]	860	XVKP[Do,Due,P2,5]	1000
XVKP[B,Ha,P1,5]	860	XVKP[Do,E,P1,1]	960
XVKP[B,Ha,P2,1]	860	XVKP[Do,E,P1,2]	960
XVKP[B,Ha,P2,2]	860	XVKP[Do,E,P1,3]	960
XVKP[B,Ha,P2,3]	860	XVKP[Do,E,P1,4]	960
XVKP[B,Ha,P2,4]	860	XVKP[Do,E,P1,5]	960
XVKP[B,Ha,P2,5]	860	XVKP[Do,E,P2,1]	960
XVKP[B,L,P1,1]	880	XVKP[Do,E,P2,2]	960
XVKP[B,L,P1,2]	880	XVKP[Do,E,P2,3]	960
XVKP[B,L,P1,3]	880	XVKP[Do,E,P2,4]	960
XVKP[B,L,P1,4]	880	XVKP[Do,E,P2,5]	960
XVKP[B,L,P1,5]	880	XVKP[Do,FM,P1,1]	1200
XVKP[B,L,P2,1]	880	XVKP[Do,FM,P1,2]	1200
XVKP[B,L,P2,2]	880	XVKP[Do,FM,P1,3]	1200
XVKP[B,L,P2,3]	880	XVKP[Do,FM,P1,4]	1200
XVKP[B,L,P2,4]	880	XVKP[Do,FM,P1,5]	1200
XVKP[B,L,P2,5]	880	XVKP[Do,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,M,P1,1]	2400	XVKP[Do,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,M,P1,2]	2400	XVKP[Do,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,M,P1,3]	2400	XVKP[Do,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,M,P1,4]	2400	XVKP[Do,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,M,P1,5]	2400	XVKP[Do,K,P1,1]	1740
XVKP[B,M,P2,1]	2400	XVKP[Do,K,P1,2]	1740
XVKP[B,M,P2,2]	2400	XVKP[Do,K,P1,3]	1740
XVKP[B,M,P2,3]	2400	XVKP[Do,K,P1,4]	1740
XVKP[B,M,P2,4]	2400	XVKP[Do,K,P1,5]	1740
XVKP[B,M,P2,5]	2400	XVKP[Do,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Nu,P1,1]	840	XVKP[Do,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Nu,P1,2]	840	XVKP[Do,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Nu,P1,3]	840	XVKP[Do,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Nu,P1,4]	840	XVKP[Do,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Nu,P1,5]	840	XVKP[Do,S,P1,1]	60
XVKP[B,Nu,P2,1]	840		

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \quad \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 7 (Eigene Darstellung)

Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	4560	XKVP[H,B,P1,2]	2400
XKVP[B,B,P1,3]	4560	XKVP[H,B,P1,3]	2400
XKVP[B,B,P1,4]	4560	XKVP[H,B,P1,4]	2400
XKVP[B,B,P1,5]	4560	XKVP[H,B,P1,5]	2400
XKVP[B,B,P2,2]	4560	XKVP[H,B,P2,2]	2400
XKVP[B,B,P2,3]	4560	XKVP[H,B,P2,3]	2400
XKVP[B,B,P2,4]	4560	XKVP[H,B,P2,4]	2400
XKVP[B,B,P2,5]	4560	XKVP[H,B,P2,5]	2400
XKVP[Br,B,P1,2]	736	XKVP[Ha,B,P1,2]	688
XKVP[Br,B,P1,3]	736	XKVP[Ha,B,P1,3]	688
XKVP[Br,B,P1,4]	736	XKVP[Ha,B,P1,4]	688
XKVP[Br,B,P1,5]	736	XKVP[Ha,B,P1,5]	688
XKVP[Br,B,P2,2]	736	XKVP[Ha,B,P2,2]	688
XKVP[Br,B,P2,3]	736	XKVP[Ha,B,P2,3]	688
XKVP[Br,B,P2,4]	736	XKVP[Ha,B,P2,4]	688
XKVP[Br,B,P2,5]	736	XKVP[Ha,B,P2,5]	688
XKVP[Do,Do,P1,2]	768	XKVP[K,Do,P1,2]	1392
XKVP[Do,Do,P1,3]	768	XKVP[K,Do,P1,3]	1392
XKVP[Do,Do,P1,4]	768	XKVP[K,Do,P1,4]	1392
XKVP[Do,Do,P1,5]	768	XKVP[K,Do,P1,5]	1392
XKVP[Do,Do,P2,2]	768	XKVP[K,Do,P2,2]	1392
XKVP[Do,Do,P2,3]	768	XKVP[K,Do,P2,3]	1392
XKVP[Do,Do,P2,4]	768	XKVP[K,Do,P2,4]	1392
XKVP[Do,Do,P2,5]	768	XKVP[K,Do,P2,5]	1392
XKVP[Dr,B,P1,2]	704	XKVP[L,B,P1,2]	704
XKVP[Dr,B,P1,3]	704	XKVP[L,B,P1,3]	704
XKVP[Dr,B,P1,4]	704	XKVP[L,B,P1,4]	704
XKVP[Dr,B,P1,5]	704	XKVP[L,B,P1,5]	704
XKVP[Dr,B,P2,2]	704	XKVP[L,B,P2,2]	704
XKVP[Dr,B,P2,3]	704	XKVP[L,B,P2,3]	704
XKVP[Dr,B,P2,4]	704	XKVP[L,B,P2,4]	704
XKVP[Dr,B,P2,5]	704	XKVP[L,B,P2,5]	704
XKVP[Du,Do,P1,2]	640	XKVP[M,B,P1,2]	1920
XKVP[Du,Do,P1,3]	640	XKVP[M,B,P1,3]	1920
XKVP[Du,Do,P1,4]	640	XKVP[M,B,P1,4]	1920

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \quad \forall s, t \in \{Mindest, ..., LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,Do,P1,5]	640	XKVP[M,B,P1,5]	1920
XKVP[Du,Do,P2,2]	640	XKVP[M,B,P2,2]	1920
XKVP[Du,Do,P2,3]	640	XKVP[M,B,P2,3]	1920
XKVP[Du,Do,P2,4]	640	XKVP[M,B,P2,4]	1920
XKVP[Du,Do,P2,5]	640	XKVP[M,B,P2,5]	1920
XKVP[Due,Do,P1,2]	800	XKVP[Nu,B,P1,2]	672
XKVP[Due,Do,P1,3]	800	XKVP[Nu,B,P1,3]	672
XKVP[Due,Do,P1,4]	800	XKVP[Nu,B,P1,4]	672
XKVP[Due,Do,P1,5]	800	XKVP[Nu,B,P1,5]	672
XKVP[Due,Do,P2,2]	800	XKVP[Nu,B,P2,2]	672
XKVP[Due,Do,P2,3]	800	XKVP[Nu,B,P2,3]	672
XKVP[Due,Do,P2,4]	800	XKVP[Nu,B,P2,4]	672
XKVP[Due,Do,P2,5]	800	XKVP[Nu,B,P2,5]	672
XKVP[E,Do,P1,2]	768	XKVP[S,B,P1,2]	6
XKVP[E,Do,P1,3]	768	XKVP[S,B,P1,3]	6
XKVP[E,Do,P1,4]	768	XKVP[S,B,P1,4]	6
XKVP[E,Do,P1,5]	768	XKVP[S,B,P1,5]	6
XKVP[E,Do,P2,2]	768	XKVP[S,B,P2,2]	6
XKVP[E,Do,P2,3]	768	XKVP[S,B,P2,3]	6
XKVP[E,Do,P2,4]	768	XKVP[S,B,P2,4]	6
XKVP[E,Do,P2,5]	768	XKVP[S,B,P2,5]	6
XKVP[FM,Do,P1,2]	960	XKVP[S,Do,P1,2]	794
XKVP[FM,Do,P1,3]	960	XKVP[S,Do,P1,3]	794
XKVP[FM,Do,P1,4]	960	XKVP[S,Do,P1,4]	794
XKVP[FM,Do,P1,5]	960	XKVP[S,Do,P1,5]	794
XKVP[FM,Do,P2,2]	960	XKVP[S,Do,P2,2]	794
XKVP[FM,Do,P2,3]	960	XKVP[S,Do,P2,3]	794
XKVP[FM,Do,P2,4]	960	XKVP[S,Do,P2,4]	794
XKVP[FM,Do,P2,5]	960	XKVP[S,Do,P2,5]	794
Transportmengen von VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8673	XVRP[B,Dis,P1,2]	3717
XVRP[B,B,P1,3]	8673	XVRP[B,Dis,P1,3]	3717
XVRP[B,B,P1,4]	8673	XVRP[B,Dis,P1,4]	3717
XVRP[B,B,P1,5]	8673	XVRP[B,Dis,P1,5]	3717
XVRP[B,B,P2,2]	8673	XVRP[B,Dis,P2,2]	3717
XVRP[B,B,P2,3]	8673	XVRP[B,Dis,P2,3]	3717
XVRP[B,B,P2,4]	8673	XVRP[B,Dis,P2,4]	3717
XVRP[B,B,P2,5]	8673	XVRP[B,Dis,P2,5]	3717

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \quad \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 7 (Eigene Darstellung)

XVRP[Do,B,P1,2]	4285	XVRP[Do,Dis,P1,2]	1837
XVRP[Do,B,P1,3]	4285	XVRP[Do,Dis,P1,3]	1837
XVRP[Do,B,P1,4]	4285	XVRP[Do,Dis,P1,4]	1837
XVRP[Do,B,P1,5]	4277	XVRP[Do,Dis,P1,5]	1845
XVRP[Do,B,P2,2]	4285	XVRP[Do,Dis,P2,2]	1837
XVRP[Do,B,P2,3]	4285	XVRP[Do,Dis,P2,3]	1837
XVRP[Do,B,P2,4]	4285	XVRP[Do,Dis,P2,4]	1837
XVRP[Do,B,P2,5]	4277	XVRP[Do,Dis,P2,5]	1845
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	12958	XCR[B,M2,4]	25916
XCR[B,M1,3]	12958	XCR[B,M2,5]	25900
XCR[B,M1,4]	12958	XCR[B,M3,2]	12958
XCR[B,M1,5]	12950	XCR[B,M3,3]	12958
XCR[B,M2,2]	25916	XCR[B,M3,4]	12958
XCR[B,M2,3]	25916	XCR[B,M3,5]	12950
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	12958	XPR[B,P2,2]	12958
XPR[B,P1,3]	12958	XPR[B,P2,3]	12958
XPR[B,P1,4]	12958	XPR[B,P2,4]	12958
XPR[B,P1,5]	12950	XPR[B,P2,5]	12950
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	9070	XCRF[B,M1,Dis,2]	3888
XCRF[B,M1,B,3]	9070	XCRF[B,M1,Dis,3]	3888
XCRF[B,M1,B,4]	9070	XCRF[B,M1,Dis,4]	3888
XCRF[B,M1,B,5]	9065	XCRF[B,M1,Dis,5]	3885
XCRF[B,M2,B,2]	18141	XCRF[B,M2,Dis,2]	7775
XCRF[B,M2,B,3]	18141	XCRF[B,M2,Dis,3]	7775
XCRF[B,M2,B,4]	18141	XCRF[B,M2,Dis,4]	7775
XCRF[B,M2,B,5]	18130	XCRF[B,M2,Dis,5]	7770
XCRF[B,M3,B,2]	9070	XCRF[B,M3,Dis,2]	3888
XCRF[B,M3,B,3]	9070	XCRF[B,M3,Dis,3]	3888
XCRF[B,M3,B,4]	9070	XCRF[B,M3,Dis,4]	3888
XCRF[B,M3,B,5]	9065	XCRF[B,M3,Dis,5]	3885

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für $rg_{kps}^t = 0,8 \quad \forall s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 7 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für Produkt-ND von 3 Perioden für alle Kunden und Produkte			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YVGes[B,1]	1	13.015.064,12	
YFGes[B,1]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
Variablen für Offen-sein von Standorten		...im Werk	
YF[B,1]	1	CapFT[B,1]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,5]	1	CapFT[B,5]	463
YV[B,1]	1	...im VSZ	
YV[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,3]	1	CapVT[B,2]	463
YV[B,4]	1	CapVT[B,3]	463
YV[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
Kapazitätsveränderungen		CapVT[B,5]	695
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapV[B,1]	463	CCapVUP[B,1]	463
CCapV[B,4]	232	CCapVUP[B,4]	232
		CCapFUP[B,1]	463
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,5]	1
YCCapFUP[B,5]	1		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140

Abbildung A.21: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nutzungsdauer von 3 Perioden für alle Produkte und Kunden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 4 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	46280
XCZF[B,M1,B,2]	23140	XCZF[B,M2,B,5]	46280
XCZF[B,M1,B,3]	23140	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	23140	XCZF[B,M3,B,2]	23140
XCZF[B,M1,B,5]	23140	XCZF[B,M3,B,3]	23140
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	23140
XCZF[B,M2,B,2]	46280	XCZF[B,M3,B,5]	23140
XCZF[B,M2,B,3]	46280		
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nutzungsdauer von 3 Perioden für alle Produkte und Kunden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 4 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nutzungsdauer von 3 Perioden für alle Produkte und Kunden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 4 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,4]	11570	XVRP[B,Dis,P2,4]	11570
XVRP[B,Dis,P1,5]	11570	XVRP[B,Dis,P2,5]	11570

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nutzungsdauer von 3 Perioden für alle Produkte und Kunden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 4 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für P2-ND von 4 Perioden für alle Kunden und Produkte			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YVGes[B,1]	1		13.064.252,11
YFGes[B,1]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
Variablen für Offen-sein von Standorten		...im Werk	
YF[B,1]	1	CapFT[B,1]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,5]	1	CapFT[B,5]	463
YV[B,1]	1	...im VSZ	
YV[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,3]	1	CapVT[B,2]	579
YV[B,4]	1	CapVT[B,3]	579
YV[B,5]	1	CapVT[B,4]	579
Kapazitätsveränderungen		CapVT[B,5]	695
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapV[B,1]	463	CCapVUP[B,1]	463
CCapV[B,2]	116	CCapVUP[B,2]	116
CCapV[B,5]	116	CCapVUP[B,5]	116
		CCapFUP[B,1]	463
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,5]	1
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		

Abbildung A.22: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P2-Nutzungsdauer (ND) von 4 Perioden (P1-Nutzungsdauer bleibt bei einer Periode) unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 5 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	46280
XCZF[B,M1,B,2]	23140	XCZF[B,M2,B,5]	46280
XCZF[B,M1,B,3]	23140	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	23140	XCZF[B,M3,B,2]	23140
XCZF[B,M1,B,5]	23140	XCZF[B,M3,B,3]	23140
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	23140
XCZF[B,M2,B,2]	46280	XCZF[B,M3,B,5]	23140
XCZF[B,M2,B,3]	46280		
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden (P1-Nutzungsdauer bleibt bei einer Periode) unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden (P1-Nutzungsdauer bleibt bei einer Periode) unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P1,5]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden (P1-Nutzungsdauer bleibt bei einer Periode) unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 5 (Eigene Darstellung)

XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600		
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,2]	11570	XVRP[B,Dis,P1,5]	11570
XVRP[B,Dis,P1,3]	11570	XVRP[B,Dis,P2,5]	11570
XVRP[B,Dis,P1,4]	11570		

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden (P1-Nutzungsdauer bleibt bei einer Periode) unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 5 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für P1a-ND von einer Periode & P2-ND von 4 Perioden für alle Kunden & M2- & M3-Komponenten gemeinsam genutzt zur Herstellung von P1a- & P2-Produkten			
Variablen für Standortöffnungen		Zielfunktionswert (Diskontierte Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	14.053.491,08	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	579
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	579
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	579
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	695
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	81
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	81
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	81
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	162
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	81	CCapFUP[B,1]	463
CCapR[B,5]	81	CCapRUP[B,2]	81
CCapV[B,1]	463	CCapRUP[B,5]	81
CCapV[B,2]	116	CCapVUP[B,1]	463
CCapV[B,5]	116	CCapVUP[B,2]	116
		CCapVUP[B,5]	116
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapRUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,5]	1
YCCapRUP[B,5]	1		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		

Abbildung A.23: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P1a-Nutzungsdauer (ND) von einer Periode und P2-Nutzungsdauer (ND) von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 5 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1a,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1a,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1a,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1a,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1a,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	40610
XCZF[B,M1,B,2]	17473	XCZF[B,M2,B,5]	34941
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	46280
XCZF[B,M1,B,4]	17470	XCZF[B,M3,B,2]	40613
XCZF[B,M1,B,5]	17470	XCZF[B,M3,B,3]	40610
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	40610
XCZF[B,M2,B,2]	40613	XCZF[B,M3,B,5]	34941
XCZF[B,M2,B,3]	40610		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1a,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1a,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1a,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1a,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1a,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1a,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1a,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1a,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1a,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1a,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1a,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1a,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1a,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1a,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1a,5]	3000
XVKP[B,Br,P1a,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1a,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1a,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1a,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1a,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1a,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1a,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1a,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1a,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1a,5]	860

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P1a-Nutzungsdauer von einer Periode und P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P1a,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1a,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1a,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1a,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1a,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1a,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1a,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1a,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1a,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1a,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1a,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1a,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1a,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1a,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1a,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1a,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1a,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1a,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1a,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1a,5]	880
XVKP[B,Du,P1a,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1a,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1a,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1a,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1a,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1a,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1a,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1a,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1a,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1a,5]	2400
XVKP[B,Due,P1a,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1a,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1a,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1a,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1a,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1a,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1a,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1a,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1a,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1a,5]	840
XVKP[B,E,P1a,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1a,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1a,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P1a-Nutzungsdauer von einer Periode und P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P1a,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1a,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1a,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1a,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1a,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1a,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1a,5]	1000
XVKP[B,FM,P1a,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1a,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1a,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1a,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1a,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1a,2]	2850	XKVP[FM,B,P1a,5]	600
XKVP[B,B,P1a,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P1a,4]	2850	XKVP[H,B,P1a,2]	1500
XKVP[B,B,P1a,5]	2850	XKVP[H,B,P1a,3]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1a,4]	1500
XKVP[Br,B,P1a,2]	460	XKVP[H,B,P1a,5]	1500
XKVP[Br,B,P1a,3]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P1a,4]	460	XKVP[Ha,B,P1a,2]	430
XKVP[Br,B,P1a,5]	460	XKVP[Ha,B,P1a,3]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1a,4]	430
XKVP[Do,B,P1a,2]	480	XKVP[Ha,B,P1a,5]	430
XKVP[Do,B,P1a,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P1a,4]	480	XKVP[K,B,P1a,2]	870
XKVP[Do,B,P1a,5]	480	XKVP[K,B,P1a,3]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1a,4]	870
XKVP[Dr,B,P1a,2]	440	XKVP[K,B,P1a,5]	870
XKVP[Dr,B,P1a,3]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P1a,4]	440	XKVP[L,B,P1a,2]	440
XKVP[Dr,B,P1a,5]	440	XKVP[L,B,P1a,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1a,4]	440
XKVP[Du,B,P1a,2]	400	XKVP[L,B,P1a,5]	440
XKVP[Du,B,P1a,3]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P1a,4]	400	XKVP[M,B,P1a,2]	1200
XKVP[Du,B,P1a,5]	400	XKVP[M,B,P1a,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1a,4]	1200
XKVP[Due,B,P1a,2]	500	XKVP[M,B,P1a,5]	1200
XKVP[Due,B,P1a,3]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P1a,4]	500	XKVP[Nu,B,P1a,2]	420
XKVP[Due,B,P1a,5]	500	XKVP[Nu,B,P1a,3]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1a,4]	420

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P1a-Nutzungsdauer von einer Periode und P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 5 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,B,P1a,2]	480	XKVP[Nu,B,P1a,5]	420
XKVP[E,B,P1a,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P1a,4]	480	XKVP[S,B,P1a,2]	500
XKVP[E,B,P1a,5]	480	XKVP[S,B,P1a,3]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1a,4]	500
XKVP[FM,B,P1a,2]	600	XKVP[S,B,P1a,5]	500
XKVP[FM,B,P1a,3]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
XKVP[FM,B,P1a,4]	600		
Transportmengen vom VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1a,2]	8099	XVRP[B,Dis,P1a,2]	3471
XVRP[B,B,P1a,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1a,3]	3471
XVRP[B,B,P1a,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1a,4]	3471
XVRP[B,B,P1a,5]	8099	XVRP[B,Dis,P1a,5]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8099	XVRP[B,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8096	XCR[B,M2,4]	8100
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M2,5]	16199
XCR[B,M1,4]	8100	XCR[B,M3,2]	8096
XCR[B,M1,5]	8100	XCR[B,M3,3]	8100
XCR[B,M2,2]	8096	XCR[B,M3,4]	8100
XCR[B,M2,3]	8100	XCR[B,M3,5]	16199
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1a,2]	8096	XPR[B,P1a,5]	8100
XPR[B,P1a,3]	8100	XPR[B,P2,5]	8099
XPR[B,P1a,4]	8100		
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5667	XCRF[B,M1,Dis,2]	2429
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5670	XCRF[B,M1,Dis,4]	2430
XCRF[B,M1,B,5]	5670	XCRF[B,M1,Dis,5]	2430
XCRF[B,M2,B,2]	5667	XCRF[B,M2,Dis,2]	2429
XCRF[B,M2,B,3]	5670	XCRF[B,M2,Dis,3]	2430
XCRF[B,M2,B,4]	5670	XCRF[B,M2,Dis,4]	2430
XCRF[B,M2,B,5]	11339	XCRF[B,M2,Dis,5]	4860
XCRF[B,M3,B,2]	5667	XCRF[B,M3,Dis,2]	2429
XCRF[B,M3,B,3]	5670	XCRF[B,M3,Dis,3]	2430
XCRF[B,M3,B,4]	5670	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
XCRF[B,M3,B,5]	11339	XCRF[B,M3,Dis,5]	4860
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1a,2]	3	IPR[B,P1a,4]	1
IPR[B,P1a,3]	2		

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für P1a-Nutzungsdauer von einer Periode und P2-Nutzungsdauer von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500 \text{ GE}$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 5 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für Planungshorizont von 3 Perioden			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	10.953.000	
YVGes[B,1]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
Variablen für Offen-sein von Standorten		...im Werk	
YF[B,1]	1	CapFT[B,1]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,3]	463
YV[B,1]	1	...im VSZ	
YV[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
Kapazitätsveränderungen		CapVT[B,3]	695
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapV[B,1]	463	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,3]	1		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,3]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,2]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,3]	46280
XCZF[B,M1,B,2]	23140	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,3]	23140	XCZF[B,M3,B,2]	23140
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,3]	23140
XCZF[B,M2,B,2]	46280		

Abbildung A.24: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 3 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 3 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,2]	11570	XVRP[B,Dis,P2,2]	11570
XVRP[B,Dis,P1,3]	11570	XVRP[B,Dis,P2,3]	11570

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 3 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für Planungshorizont mit 4 Perioden			
Variablen für Standortöffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	12.028.074,65	
YVGes[B,1]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten... ...im Werk	
YRGes[B,2]	1		
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YV[B,1]	1	CapVT[B,4]	695
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	162
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,4]	162
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapRUP[B,2]	162
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,4]	1
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,3]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140

Abbildung A.25: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 5 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,3]	34940
XCZF[B,M1,B,2]	17472	XCZF[B,M2,B,4]	34942
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17471	XCZF[B,M3,B,2]	17472
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,3]	17470
XCZF[B,M2,B,2]	34943	XCZF[B,M3,B,4]	17471
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 5 (Eigene Darstellung)

Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 5 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
Transportmengen vom VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8099	XVRP[B,Dis,P1,2]	3471
XVRP[B,B,P1,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1,3]	3471
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P2,2]	8099	XVRP[B,Dis,P2,2]	3471
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8098	XCR[B,M2,4]	16198
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M3,2]	8098
XCR[B,M1,4]	8099	XCR[B,M3,3]	8100
XCR[B,M2,2]	16196	XCR[B,M3,4]	8099
XCR[B,M2,3]	16200		
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8098	XPR[B,P2,2]	8098
XPR[B,P1,3]	8100	XPR[B,P2,3]	8100
XPR[B,P1,4]	8099	XPR[B,P2,4]	8099
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5668	XCRF[B,M1,Dis,2]	2430
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5669	XCRF[B,M1,Dis,4]	2430
XCRF[B,M2,B,2]	11337	XCRF[B,M2,Dis,2]	4859
XCRF[B,M2,B,3]	11340	XCRF[B,M2,Dis,3]	4860
XCRF[B,M2,B,4]	11338	XCRF[B,M2,Dis,4]	4860
XCRF[B,M3,B,2]	5668	XCRF[B,M3,Dis,2]	2430
XCRF[B,M3,B,3]	5670	XCRF[B,M3,Dis,3]	2430
XCRF[B,M3,B,4]	5669	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	1	IPR[B,P2,2]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 4 Perioden unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 5 (Eigene Darstellung)

Tabelle A.12: Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Stable Maturity“-PLZ

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
1	Du	640
	Nu	672
	Ha	688
	L	704
	Dr	704
	Br	736
	E	768
	Do	768
	Due	800
	S	800
	FM	960
	K	1392
	M	1920
	H	2400
	B	4560
2	Du	832
	Nu	874
	Ha	894
	L	915
	Dr	915
	Br	957
	E	998
	Do	998
	Due	1040
	S	1040
	FM	1248
	K	1810
	M	2496
	H	3120
	B	5928

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Stable Maturity“-PLZ, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt <i>P1</i> bzw. <i>P2</i>
3	Du	840
	Nu	882
	Ha	903
	L	924
	Dr	924
	Br	966
	E	1008
	Do	1008
	Due	1050
	S	1050
	FM	1260
	K	1828
	M	2521
	H	3151
	B	5987
4	Du	840
	Nu	882
	Ha	903
	L	924
	Dr	924
	Br	966
	E	1008
	Do	1008
	Due	1050
	S	1050
	FM	1260
	K	1828
	M	2521
	H	3151
	B	5987

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Stable Maturity“-PLZ, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
5	Du	824
	Nu	865
	Ha	885
	L	906
	Dr	906
	Br	947
	E	988
	Do	988
	Due	1029
	S	1029
	FM	1235
	K	1791
	M	2471
	H	3088
	B	5868

Tabelle A.13: Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei klassischem PLZ

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
1	Du	560
	Nu	588
	Ha	602
	L	616
	Dr	616
	Br	644
	E	672
	Do	672
	Due	700
	S	700
	FM	840
	K	1218
	M	1680
	H	2100
	B	3990
2	Du	840
	Nu	882
	Ha	903
	L	924
	Dr	924
	Br	966
	E	1008
	Do	1008
	Due	1050
	S	1050
	FM	1260
	K	1827
	M	2520
	H	3150
	B	5985

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei klassischem PLZ, fort-führend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
3	Du	1008
	Nu	1058
	Ha	1084
	L	1109
	Dr	1109
	Br	1159
	E	1210
	Do	1210
	Due	1260
	S	1260
	FM	1512
	K	2192
	M	3024
	H	3780
	B	7182
4	Du	907
	Nu	953
	Ha	975
	L	998
	Dr	998
	Br	1043
	E	1089
	Do	1089
	Due	1134
	S	1134
	FM	1361
	K	1973
	M	2722
	H	3402
	B	6464

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei klassischem PLZ, fort-führend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
5	Du	726
	Nu	762
	Ha	780
	L	798
	Dr	798
	Br	835
	E	871
	Do	871
	Due	907
	S	907
	FM	1089
	K	1579
	M	2177
	H	2722
	B	5171

Lösung des FLCPR-Modells für Planungshorizont von 3 Perioden Rückgaberate von 0,9 für alle Kunden und Produkte			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	12.572.003,57	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten... ...im Werk	
YVGes[B,1]	1		
YVGes[Do,1]	1	CapFT[B,1]	463
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,2]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,2]	1	...im VSZ in Berlin	
YF[B,3]	1	CapVT[B,1]	330
YR[B,2]	1	CapVT[B,2]	609
YR[B,3]	1	CapVT[B,3]	608
YV[B,1]	1	...im VSZ in Dortmund	
YV[B,2]	1	CapVT[Do,1]	134
YV[B,3]	1	CapVT[Do,2]	272
YV[Do,1]	1	CapVT[Do,3]	272
YV[Do,2]	1	...im WZ	
YV[Do,3]	1	CapRT[B,2]	292
		CapRT[B,3]	291
Kapazitätsveränderungen			
CCapF[B,1]	463	CCapV[B,2]	279
CCapR[B,2]	292	CCapV[B,3]	-1
CCapR[B,3]	-1	CCapV[Do,1]	134
CCapV[B,1]	330	CCapV[Do,2]	138
Kapazitätsaufbau			
CCapFUP[B,1]	463	CCapVUP[B,2]	279
CCapRUP[B,2]	292	CCapVUP[Do,1]	134
CCapVUP[B,1]	330	CCapVUP[Do,2]	138
Kapazitätsabbau			
CCapRDOWN[B,3]	-1	CCapVDOWN[B,3]	-1
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[Do,1]	1
YCCapVUP[B,1]	1	YCCapVUP[Do,2]	1
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,3]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,2]	46280		

Abbildung A.26: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden und $rg_{kps}^t = 0,9, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 4 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPfV[B,B,P1,1]	16480	XPfV[B,Do,P1,1]	6660
XPfV[B,B,P1,2]	16480	XPfV[B,Do,P1,2]	6660
XPfV[B,B,P1,3]	16456	XPfV[B,Do,P1,3]	6684
XPfV[B,B,P2,1]	16480	XPfV[B,Do,P2,1]	6660
XPfV[B,B,P2,2]	16480	XPfV[B,Do,P2,2]	6660
XPfV[B,B,P2,3]	16480	XPfV[B,Do,P2,3]	6660
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,3]	25910
XCZF[B,M1,B,2]	12936	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,3]	12974	XCZF[B,M3,B,2]	12936
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,3]	12937
XCZF[B,M2,B,2]	25871		
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,S,P1,3]	976
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[Do,Do,P1,1]	960
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[Do,Do,P1,2]	960
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[Do,Do,P1,3]	960
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[Do,Do,P2,1]	960
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[Do,Do,P2,2]	960
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[Do,Do,P2,3]	960
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[Do,Du,P1,1]	800
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[Do,Du,P1,2]	800
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[Do,Du,P1,3]	800
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[Do,Du,P2,1]	800
XVKP[B,H,P1,1]	3000	XVKP[Do,Du,P2,2]	800
XVKP[B,H,P1,2]	3000	XVKP[Do,Du,P2,3]	800
XVKP[B,H,P1,3]	3000	XVKP[Do,Due,P1,1]	1000
XVKP[B,H,P2,1]	3000	XVKP[Do,Due,P1,2]	1000
XVKP[B,H,P2,2]	3000	XVKP[Do,Due,P1,3]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden und $rg_{kps}^t = 0,9, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 4 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,H,P2,3]	3000	XVKP[Do,Due,P2,1]	1000
XVKP[B,Ha,P1,1]	860	XVKP[Do,Due,P2,2]	1000
XVKP[B,Ha,P1,2]	860	XVKP[Do,Due,P2,3]	1000
XVKP[B,Ha,P1,3]	860	XVKP[Do,E,P1,1]	960
XVKP[B,Ha,P2,1]	860	XVKP[Do,E,P1,2]	960
XVKP[B,Ha,P2,2]	860	XVKP[Do,E,P1,3]	960
XVKP[B,Ha,P2,3]	860	XVKP[Do,E,P2,1]	960
XVKP[B,L,P1,1]	880	XVKP[Do,E,P2,2]	960
XVKP[B,L,P1,2]	880	XVKP[Do,E,P2,3]	960
XVKP[B,L,P1,3]	880	XVKP[Do,FM,P1,1]	1200
XVKP[B,L,P2,1]	880	XVKP[Do,FM,P1,2]	1200
XVKP[B,L,P2,2]	880	XVKP[Do,FM,P1,3]	1200
XVKP[B,L,P2,3]	880	XVKP[Do,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,M,P1,1]	2400	XVKP[Do,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,M,P1,2]	2400	XVKP[Do,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,M,P1,3]	2400	XVKP[Do,K,P1,1]	1740
XVKP[B,M,P2,1]	2400	XVKP[Do,K,P1,2]	1740
XVKP[B,M,P2,2]	2400	XVKP[Do,K,P1,3]	1740
XVKP[B,M,P2,3]	2400	XVKP[Do,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Nu,P1,1]	840	XVKP[Do,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Nu,P1,2]	840	XVKP[Do,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Nu,P1,3]	840	XVKP[Do,S,P1,3]	24
XVKP[B,Nu,P2,1]	840		
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	5130	XKVP[FM,Do,P2,3]	1080
XKVP[B,B,P1,3]	5130	XKVP[H,B,P1,2]	2700
XKVP[B,B,P2,2]	5130	XKVP[H,B,P1,3]	2700
XKVP[B,B,P2,3]	5130	XKVP[H,B,P2,2]	2700
XKVP[Br,B,P1,2]	828	XKVP[H,B,P2,3]	2700
XKVP[Br,B,P1,3]	828	XKVP[Ha,B,P1,2]	774
XKVP[Br,B,P2,2]	828	XKVP[Ha,B,P1,3]	774
XKVP[Br,B,P2,3]	828	XKVP[Ha,B,P2,2]	774
XKVP[Do,Do,P1,2]	864	XKVP[Ha,B,P2,3]	774
XKVP[Do,Do,P1,3]	864	XKVP[K,B,P1,2]	1
XKVP[Do,Do,P2,2]	864	XKVP[K,B,P2,2]	1
XKVP[Do,Do,P2,3]	864	XKVP[K,Do,P1,2]	1565
XKVP[Dr,B,P1,2]	792	XKVP[K,Do,P1,3]	1566
XKVP[Dr,B,P1,3]	792	XKVP[K,Do,P2,2]	1565
XKVP[Dr,B,P2,2]	792	XKVP[K,Do,P2,3]	1566
XKVP[Dr,B,P2,3]	792	XKVP[L,B,P1,2]	792
XKVP[Du,Do,P1,2]	720	XKVP[L,B,P1,3]	792

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden und $rg_{kps}^t = 0,9, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, \dots, LST\} : s \leq t$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 4 (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,Do,P1,3]	720	XKVP[L,B,P2,2]	792
XKVP[Du,Do,P2,2]	720	XKVP[L,B,P2,3]	792
XKVP[Du,Do,P2,3]	720	XKVP[M,B,P1,2]	2160
XKVP[Due,Do,P1,2]	900	XKVP[M,B,P1,3]	2160
XKVP[Due,Do,P1,3]	900	XKVP[M,B,P2,2]	2160
XKVP[Due,Do,P2,2]	900	XKVP[M,B,P2,3]	2160
XKVP[Due,Do,P2,3]	900	XKVP[Nu,B,P1,2]	756
XKVP[E,Do,P1,2]	864	XKVP[Nu,B,P1,3]	756
XKVP[E,Do,P1,3]	864	XKVP[Nu,B,P2,2]	756
XKVP[E,Do,P2,2]	864	XKVP[Nu,B,P2,3]	756
XKVP[E,Do,P2,3]	864	XKVP[S,Do,P1,2]	900
XKVP[FM,Do,P1,2]	1080	XKVP[S,Do,P1,3]	900
XKVP[FM,Do,P1,3]	1080	XKVP[S,Do,P2,2]	900
XKVP[FM,Do,P2,2]	1080	XKVP[S,Do,P2,3]	900
Transportmengen von VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	9753	XVRP[B,Dis,P1,2]	4180
XVRP[B,B,P1,3]	9752	XVRP[B,Dis,P1,3]	4180
XVRP[B,B,P2,2]	9753	XVRP[B,Dis,P2,2]	4180
XVRP[B,B,P2,3]	9752	XVRP[B,Dis,P2,3]	4180
XVRP[Do,B,P1,2]	4825	XVRP[Do,Dis,P1,2]	2068
XVRP[Do,B,P1,3]	4771	XVRP[Do,Dis,P1,3]	2123
XVRP[Do,B,P2,2]	4825	XVRP[Do,Dis,P2,2]	2068
XVRP[Do,B,P2,3]	4825	XVRP[Do,Dis,P2,3]	2069
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	14578	XCR[B,M2,3]	29100
XCR[B,M1,3]	14523	XCR[B,M3,2]	14578
XCR[B,M2,2]	29156	XCR[B,M3,3]	14577
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	14578	XPR[B,P2,2]	14578
XPR[B,P1,3]	14523	XPR[B,P2,3]	14577
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	10204	XCRF[B,M1,Dis,2]	4374
XCRF[B,M1,B,3]	10166	XCRF[B,M1,Dis,3]	4357
XCRF[B,M2,B,2]	20409	XCRF[B,M2,Dis,2]	8747
XCRF[B,M2,B,3]	20370	XCRF[B,M2,Dis,3]	8730
XCRF[B,M3,B,2]	10204	XCRF[B,M3,Dis,2]	4374
XCRF[B,M3,B,3]	10203	XCRF[B,M3,Dis,3]	4374

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für einen Planungshorizont von 3 Perioden und $rg_{kps}^t = 0,9, \forall k \in K, p \in P, s, t \in \{Mindest, ..., LST\} : s \leq t$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 4 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach "Stable Maturity"-PLZ			
Zielfunktionswert in GE		12.945.649,25	bestehend aus:
Diskontierte Strafkosten in GE		10.657,46	Diskontierte tatsächliche Kosten in GE 12.934.991,78
Variablen für Standorteröffnungen		Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
YFGes[B,1]	1	...im Werk	
YRGes[B,2]	1	CapFT[B,1]	371
YVGes[B,1]	1	CapFT[B,2]	482
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,3]	486
YF[B,1]	1	CapFT[B,4]	486
YF[B,2]	1	CapFT[B,5]	477
YF[B,3]	1	...im VSZ	
YF[B,4]	1	CapVT[B,1]	371
YF[B,5]	1	CapVT[B,2]	667
YR[B,2]	1	CapVT[B,3]	727
YR[B,3]	1	CapVT[B,4]	729
YR[B,4]	1	CapVT[B,5]	720
YR[B,5]	1	...im WZ	
YV[B,1]	1	CapRT[B,2]	130
YV[B,2]	1	CapRT[B,3]	169
YV[B,3]	1	CapRT[B,4]	171
YV[B,4]	1	CapRT[B,5]	170
YV[B,5]	1	Kapazitätsaufbau	
Kapazitätsveränderungen		CCapFUP[B,1]	371
CCapF[B,1]	371	CCapFUP[B,2]	111
CCapF[B,2]	111	CCapFUP[B,3]	4
CCapF[B,3]	4	CCapRUP[B,2]	130
CCapF[B,5]	-9	CCapRUP[B,3]	39
CCapR[B,2]	130	CCapRUP[B,4]	2
CCapR[B,3]	39	CCapVUP[B,1]	371
CCapR[B,4]	2	CCapVUP[B,2]	296
CCapR[B,5]	-1	CCapVUP[B,3]	60
CCapV[B,1]	371	CCapVUP[B,4]	2
CCapV[B,2]	296	Kapazitätsabbau	
CCapV[B,3]	60	CCapFDOWN[B,5]	-9
CCapV[B,4]	2	CCapRDOWN[B,5]	-1
CCapV[B,5]	-9	CCapVDOWN[B,5]	-9
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapRUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,1]	1

Abbildung A.27: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 7 (Eigene Darstellung)

YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,4]	1
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	18512	XCZF[B,M2,B,4]	36692
XCZF[B,M1,B,2]	19533	XCZF[B,M2,B,5]	35739
XCZF[B,M1,B,3]	18397	XCZF[B,M3,B,1]	18512
XCZF[B,M1,B,4]	18346	XCZF[B,M3,B,2]	19533
XCZF[B,M1,B,5]	17873	XCZF[B,M3,B,3]	18397
XCZF[B,M2,B,1]	37024	XCZF[B,M3,B,4]	18347
XCZF[B,M2,B,2]	39066	XCZF[B,M3,B,5]	17866
XCZF[B,M2,B,3]	36794		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	18512	XCF[B,M2,4]	48596
XCF[B,M1,2]	24062	XCF[B,M2,5]	47640
XCF[B,M1,3]	24298	XCF[B,M3,1]	18512
XCF[B,M1,4]	24298	XCF[B,M3,2]	24062
XCF[B,M1,5]	23820	XCF[B,M3,3]	24298
XCF[B,M2,1]	37024	XCF[B,M3,4]	24298
XCF[B,M2,2]	48124	XCF[B,M3,5]	23820
XCF[B,M2,3]	48596		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	18512	XPF[B,P2,1]	18512
XPF[B,P1,2]	24062	XPF[B,P2,2]	24062
XPF[B,P1,3]	24298	XPF[B,P2,3]	24298
XPF[B,P1,4]	24298	XPF[B,P2,4]	24298
XPF[B,P1,5]	23820	XPF[B,P2,5]	23820
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFBV[B,B,P1,1]	18512	XPFBV[B,B,P2,1]	18512
XPFBV[B,B,P1,2]	24062	XPFBV[B,B,P2,2]	24062
XPFBV[B,B,P1,3]	24298	XPFBV[B,B,P2,3]	24298
XPFBV[B,B,P1,4]	24298	XPFBV[B,B,P2,4]	24298
XPFBV[B,B,P1,5]	23820	XPFBV[B,B,P2,5]	23820
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	4560	XVKP[B,FM,P2,1]	960
XVKP[B,B,P1,2]	5928	XVKP[B,FM,P2,2]	1248
XVKP[B,B,P1,3]	5986	XVKP[B,FM,P2,3]	1260
XVKP[B,B,P1,4]	5986	XVKP[B,FM,P2,4]	1260

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P1,5]	5868	XVKP[B,FM,P2,5]	1235
XVKP[B,B,P2,1]	4560	XVKP[B,H,P1,1]	2400
XVKP[B,B,P2,2]	5928	XVKP[B,H,P1,2]	3120
XVKP[B,B,P2,3]	5986	XVKP[B,H,P1,3]	3150
XVKP[B,B,P2,4]	5986	XVKP[B,H,P1,4]	3150
XVKP[B,B,P2,5]	5868	XVKP[B,H,P1,5]	3088
XVKP[B,Br,P1,1]	736	XVKP[B,H,P2,1]	2400
XVKP[B,Br,P1,2]	956	XVKP[B,H,P2,2]	3120
XVKP[B,Br,P1,3]	966	XVKP[B,H,P2,3]	3150
XVKP[B,Br,P1,4]	966	XVKP[B,H,P2,4]	3150
XVKP[B,Br,P1,5]	947	XVKP[B,H,P2,5]	3088
XVKP[B,Br,P2,1]	736	XVKP[B,Ha,P1,1]	688
XVKP[B,Br,P2,2]	956	XVKP[B,Ha,P1,2]	894
XVKP[B,Br,P2,3]	966	XVKP[B,Ha,P1,3]	902
XVKP[B,Br,P2,4]	966	XVKP[B,Ha,P1,4]	902
XVKP[B,Br,P2,5]	947	XVKP[B,Ha,P1,5]	885
XVKP[B,Do,P1,1]	768	XVKP[B,Ha,P2,1]	688
XVKP[B,Do,P1,2]	998	XVKP[B,Ha,P2,2]	894
XVKP[B,Do,P1,3]	1008	XVKP[B,Ha,P2,3]	902
XVKP[B,Do,P1,4]	1008	XVKP[B,Ha,P2,4]	902
XVKP[B,Do,P1,5]	988	XVKP[B,Ha,P2,5]	885
XVKP[B,Do,P2,1]	768	XVKP[B,K,P1,1]	1392
XVKP[B,Do,P2,2]	998	XVKP[B,K,P1,2]	1810
XVKP[B,Do,P2,3]	1008	XVKP[B,K,P1,3]	1828
XVKP[B,Do,P2,4]	1008	XVKP[B,K,P1,4]	1828
XVKP[B,Do,P2,5]	988	XVKP[B,K,P1,5]	1791
XVKP[B,Dr,P1,1]	704	XVKP[B,K,P2,1]	1392
XVKP[B,Dr,P1,2]	914	XVKP[B,K,P2,2]	1810
XVKP[B,Dr,P1,3]	924	XVKP[B,K,P2,3]	1828
XVKP[B,Dr,P1,4]	924	XVKP[B,K,P2,4]	1828
XVKP[B,Dr,P1,5]	906	XVKP[B,K,P2,5]	1791
XVKP[B,Dr,P2,1]	704	XVKP[B,L,P1,1]	704
XVKP[B,Dr,P2,2]	914	XVKP[B,L,P1,2]	914
XVKP[B,Dr,P2,3]	924	XVKP[B,L,P1,3]	924
XVKP[B,Dr,P2,4]	924	XVKP[B,L,P1,4]	924
XVKP[B,Dr,P2,5]	906	XVKP[B,L,P1,5]	906
XVKP[B,Du,P1,1]	640	XVKP[B,L,P2,1]	704
XVKP[B,Du,P1,2]	832	XVKP[B,L,P2,2]	914

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P1,3]	840	XVKP[B,L,P2,3]	924
XVKP[B,Du,P1,4]	840	XVKP[B,L,P2,4]	924
XVKP[B,Du,P1,5]	824	XVKP[B,L,P2,5]	906
XVKP[B,Du,P2,1]	640	XVKP[B,M,P1,1]	1920
XVKP[B,Du,P2,2]	832	XVKP[B,M,P1,2]	2496
XVKP[B,Du,P2,3]	840	XVKP[B,M,P1,3]	2520
XVKP[B,Du,P2,4]	840	XVKP[B,M,P1,4]	2520
XVKP[B,Du,P2,5]	824	XVKP[B,M,P1,5]	2471
XVKP[B,Due,P1,1]	800	XVKP[B,M,P2,1]	1920
XVKP[B,Due,P1,2]	1040	XVKP[B,M,P2,2]	2496
XVKP[B,Due,P1,3]	1050	XVKP[B,M,P2,3]	2520
XVKP[B,Due,P1,4]	1050	XVKP[B,M,P2,4]	2520
XVKP[B,Due,P1,5]	1029	XVKP[B,M,P2,5]	2471
XVKP[B,Due,P2,1]	800	XVKP[B,Nu,P1,1]	672
XVKP[B,Due,P2,2]	1040	XVKP[B,Nu,P1,2]	874
XVKP[B,Due,P2,3]	1050	XVKP[B,Nu,P1,3]	882
XVKP[B,Due,P2,4]	1050	XVKP[B,Nu,P1,4]	882
XVKP[B,Due,P2,5]	1029	XVKP[B,Nu,P1,5]	865
XVKP[B,E,P1,1]	768	XVKP[B,Nu,P2,1]	672
XVKP[B,E,P1,2]	998	XVKP[B,Nu,P2,2]	874
XVKP[B,E,P1,3]	1008	XVKP[B,Nu,P2,3]	882
XVKP[B,E,P1,4]	1008	XVKP[B,Nu,P2,4]	882
XVKP[B,E,P1,5]	988	XVKP[B,Nu,P2,5]	865
XVKP[B,E,P2,1]	768	XVKP[B,S,P1,1]	800
XVKP[B,E,P2,2]	998	XVKP[B,S,P1,2]	1040
XVKP[B,E,P2,3]	1008	XVKP[B,S,P1,3]	1050
XVKP[B,E,P2,4]	1008	XVKP[B,S,P1,4]	1050
XVKP[B,E,P2,5]	988	XVKP[B,S,P1,5]	1029
XVKP[B,FM,P1,1]	960	XVKP[B,S,P2,1]	800
XVKP[B,FM,P1,2]	1248	XVKP[B,S,P2,2]	1040
XVKP[B,FM,P1,3]	1260	XVKP[B,S,P2,3]	1050
XVKP[B,FM,P1,4]	1260	XVKP[B,S,P2,4]	1050
XVKP[B,FM,P1,5]	1235	XVKP[B,S,P2,5]	1029
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2280	XKVP[FM,B,P2,2]	480
XKVP[B,B,P1,3]	2964	XKVP[FM,B,P2,3]	624
XKVP[B,B,P1,4]	2993	XKVP[FM,B,P2,4]	630

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P1,5]	2993	XKVP[FM,B,P2,5]	630
XKVP[B,B,P2,2]	2280	XKVP[H,B,P1,2]	1200
XKVP[B,B,P2,3]	2964	XKVP[H,B,P1,3]	1560
XKVP[B,B,P2,4]	2993	XKVP[H,B,P1,4]	1575
XKVP[B,B,P2,5]	2993	XKVP[H,B,P1,5]	1575
XKVP[Br,B,P1,2]	368	XKVP[H,B,P2,2]	1200
XKVP[Br,B,P1,3]	478	XKVP[H,B,P2,3]	1560
XKVP[Br,B,P1,4]	483	XKVP[H,B,P2,4]	1575
XKVP[Br,B,P1,5]	483	XKVP[H,B,P2,5]	1575
XKVP[Br,B,P2,2]	368	XKVP[Ha,B,P1,2]	344
XKVP[Br,B,P2,3]	478	XKVP[Ha,B,P1,3]	447
XKVP[Br,B,P2,4]	483	XKVP[Ha,B,P1,4]	451
XKVP[Br,B,P2,5]	483	XKVP[Ha,B,P1,5]	451
XKVP[Do,B,P1,2]	384	XKVP[Ha,B,P2,2]	344
XKVP[Do,B,P1,3]	499	XKVP[Ha,B,P2,3]	447
XKVP[Do,B,P1,4]	504	XKVP[Ha,B,P2,4]	451
XKVP[Do,B,P1,5]	504	XKVP[Ha,B,P2,5]	451
XKVP[Do,B,P2,2]	384	XKVP[K,B,P1,2]	696
XKVP[Do,B,P2,3]	499	XKVP[K,B,P1,3]	905
XKVP[Do,B,P2,4]	504	XKVP[K,B,P1,4]	914
XKVP[Do,B,P2,5]	504	XKVP[K,B,P1,5]	914
XKVP[Dr,B,P1,2]	352	XKVP[K,B,P2,2]	696
XKVP[Dr,B,P1,3]	457	XKVP[K,B,P2,3]	905
XKVP[Dr,B,P1,4]	462	XKVP[K,B,P2,4]	914
XKVP[Dr,B,P1,5]	462	XKVP[K,B,P2,5]	914
XKVP[Dr,B,P2,2]	352	XKVP[L,B,P1,2]	352
XKVP[Dr,B,P2,3]	457	XKVP[L,B,P1,3]	457
XKVP[Dr,B,P2,4]	462	XKVP[L,B,P1,4]	462
XKVP[Dr,B,P2,5]	462	XKVP[L,B,P1,5]	462
XKVP[Du,B,P1,2]	320	XKVP[L,B,P2,2]	352
XKVP[Du,B,P1,3]	416	XKVP[L,B,P2,3]	457
XKVP[Du,B,P1,4]	420	XKVP[L,B,P2,4]	462
XKVP[Du,B,P1,5]	420	XKVP[L,B,P2,5]	462
XKVP[Du,B,P2,2]	320	XKVP[M,B,P1,2]	960
XKVP[Du,B,P2,3]	416	XKVP[M,B,P1,3]	1248
XKVP[Du,B,P2,4]	420	XKVP[M,B,P1,4]	1260
XKVP[Du,B,P2,5]	420	XKVP[M,B,P1,5]	1260

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,B,P1,2]	400	XKVP[M,B,P2,2]	960
XKVP[Due,B,P1,3]	520	XKVP[M,B,P2,3]	1248
XKVP[Due,B,P1,4]	525	XKVP[M,B,P2,4]	1260
XKVP[Due,B,P1,5]	525	XKVP[M,B,P2,5]	1260
XKVP[Due,B,P2,2]	400	XKVP[Nu,B,P1,2]	336
XKVP[Due,B,P2,3]	520	XKVP[Nu,B,P1,3]	437
XKVP[Due,B,P2,4]	525	XKVP[Nu,B,P1,4]	441
XKVP[Due,B,P2,5]	525	XKVP[Nu,B,P1,5]	441
XKVP[E,B,P1,2]	384	XKVP[Nu,B,P2,2]	336
XKVP[E,B,P1,3]	499	XKVP[Nu,B,P2,3]	437
XKVP[E,B,P1,4]	504	XKVP[Nu,B,P2,4]	441
XKVP[E,B,P1,5]	504	XKVP[Nu,B,P2,5]	441
XKVP[E,B,P2,2]	384	XKVP[S,B,P1,2]	400
XKVP[E,B,P2,3]	499	XKVP[S,B,P1,3]	520
XKVP[E,B,P2,4]	504	XKVP[S,B,P1,4]	525
XKVP[E,B,P2,5]	504	XKVP[S,B,P1,5]	525
XKVP[FM,B,P1,2]	480	XKVP[S,B,P2,2]	400
XKVP[FM,B,P1,3]	624	XKVP[S,B,P2,3]	520
XKVP[FM,B,P1,4]	630	XKVP[S,B,P2,4]	525
XKVP[FM,B,P1,5]	630	XKVP[S,B,P2,5]	525
Transportmengen vom VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	6479	XVRP[B,Dis,P1,2]	2777
XVRP[B,B,P1,3]	8421	XVRP[B,Dis,P1,3]	3610
XVRP[B,B,P1,4]	8504	XVRP[B,Dis,P1,4]	3645
XVRP[B,B,P1,5]	8496	XVRP[B,Dis,P1,5]	3653
XVRP[B,B,P2,2]	6479	XVRP[B,Dis,P2,2]	2777
XVRP[B,B,P2,3]	8421	XVRP[B,Dis,P2,3]	3610
XVRP[B,B,P2,4]	8504	XVRP[B,Dis,P2,4]	3645
XVRP[B,B,P2,5]	8504	XVRP[B,Dis,P2,5]	3645
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	6470	XCR[B,M2,4]	17006
XCR[B,M1,3]	8430	XCR[B,M2,5]	17002
XCR[B,M1,4]	8504	XCR[B,M3,2]	6470
XCR[B,M1,5]	8496	XCR[B,M3,3]	8430
XCR[B,M2,2]	12940	XCR[B,M3,4]	8502
XCR[B,M2,3]	16860	XCR[B,M3,5]	8506

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 7 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	6470	XPR[B,P2,2]	6470
XPR[B,P1,3]	8430	XPR[B,P2,3]	8430
XPR[B,P1,4]	8504	XPR[B,P2,4]	8502
XPR[B,P1,5]	8496	XPR[B,P2,5]	8506
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	4529	XCRF[B,M1,Dis,2]	1941
XCRF[B,M1,B,3]	5901	XCRF[B,M1,Dis,3]	2529
XCRF[B,M1,B,4]	5952	XCRF[B,M1,Dis,4]	2552
XCRF[B,M1,B,5]	5947	XCRF[B,M1,Dis,5]	2549
XCRF[B,M2,B,2]	9058	XCRF[B,M2,Dis,2]	3882
XCRF[B,M2,B,3]	11802	XCRF[B,M2,Dis,3]	5058
XCRF[B,M2,B,4]	11904	XCRF[B,M2,Dis,4]	5102
XCRF[B,M2,B,5]	11901	XCRF[B,M2,Dis,5]	5101
XCRF[B,M3,B,2]	4529	XCRF[B,M3,Dis,2]	1941
XCRF[B,M3,B,3]	5901	XCRF[B,M3,Dis,3]	2529
XCRF[B,M3,B,4]	5951	XCRF[B,M3,Dis,4]	2551
XCRF[B,M3,B,5]	5954	XCRF[B,M3,Dis,5]	2552
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	9	IPR[B,P2,4]	2
IPR[B,P2,2]	9		
Unbefriedigte Nachfragen			
U[B,P1,3]	1	U[H,P2,4]	1
U[B,P1,4]	1	U[Ha,P1,3]	1
U[B,P2,3]	1	U[Ha,P1,4]	1
U[B,P2,4]	1	U[Ha,P2,3]	1
U[Br,P1,2]	1	U[Ha,P2,4]	1
U[Br,P2,2]	1	U[L,P1,2]	1
U[Dr,P1,2]	1	U[L,P2,2]	1
U[Dr,P2,2]	1	U[M,P1,3]	1
U[H,P1,3]	1	U[M,P1,4]	1
U[H,P1,4]	1	U[M,P2,3]	1
U[H,P2,3]	1	U[M,P2,4]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Stable Maturity“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 7 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	17.879.216,77	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten... ...im Werk	
YVGes[B,1]	1		
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	324
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	486
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	500
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	500
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	420
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	324
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	648
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	743
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	750
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	670
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	114
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	171
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	175
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	175
CCapF[B,1]	324	Kapazitätsaufbau	
CCapF[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	324
CCapF[B,3]	14	CCapFUP[B,2]	162
CCapF[B,5]	-80	CCapFUP[B,3]	14
CCapR[B,2]	114	CCapRUP[B,2]	114
CCapR[B,3]	57	CCapRUP[B,3]	57
CCapR[B,4]	4	CCapRUP[B,4]	4
CCapV[B,1]	324	CCapVUP[B,1]	324
CCapV[B,2]	324	CCapVUP[B,2]	324
CCapV[B,3]	95	CCapVUP[B,3]	95
CCapV[B,4]	7	CCapVUP[B,4]	7
CCapV[B,5]	-80		
Kapazitätsabbau			
CCapFDOWN[B,5]	-80	CCapVDOWN[B,5]	-80
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapRUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,1]	1

Abbildung A.28: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 7 (Eigene Darstellung)

YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,4]	1
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	16198	XCZF[B,M2,B,4]	37750
XCZF[B,M1,B,2]	20327	XCZF[B,M2,B,5]	29736
XCZF[B,M1,B,3]	19048	XCZF[B,M3,B,1]	16198
XCZF[B,M1,B,4]	18875	XCZF[B,M3,B,2]	20327
XCZF[B,M1,B,5]	14868	XCZF[B,M3,B,3]	19048
XCZF[B,M2,B,1]	32396	XCZF[B,M3,B,4]	18875
XCZF[B,M2,B,2]	40653	XCZF[B,M3,B,5]	14868
XCZF[B,M2,B,3]	38096		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	16198	XCF[B,M2,4]	50000
XCF[B,M1,2]	24294	XCF[B,M2,5]	41986
XCF[B,M1,3]	25000	XCF[B,M3,1]	16198
XCF[B,M1,4]	25000	XCF[B,M3,2]	24294
XCF[B,M1,5]	20993	XCF[B,M3,3]	25000
XCF[B,M2,1]	32396	XCF[B,M3,4]	25000
XCF[B,M2,2]	48588	XCF[B,M3,5]	20993
XCF[B,M2,3]	50000		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	16198	XPF[B,P2,1]	16198
XPF[B,P1,2]	24294	XPF[B,P2,2]	24294
XPF[B,P1,3]	25000	XPF[B,P2,3]	25000
XPF[B,P1,4]	25000	XPF[B,P2,4]	25000
XPF[B,P1,5]	20993	XPF[B,P2,5]	20993
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFBV[B,B,P1,1]	16198	XPFBV[B,B,P2,1]	16198
XPFBV[B,B,P1,2]	24294	XPFBV[B,B,P2,2]	24294
XPFBV[B,B,P1,3]	25000	XPFBV[B,B,P2,3]	25000
XPFBV[B,B,P1,4]	25000	XPFBV[B,B,P2,4]	25000
XPFBV[B,B,P1,5]	20993	XPFBV[B,B,P2,5]	20993
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	3990	XVKP[B,FM,P1,4]	1360
XVKP[B,B,P1,2]	5984	XVKP[B,FM,P1,5]	1089
XVKP[B,B,P1,3]	7182	XVKP[B,FM,P2,1]	840
XVKP[B,B,P1,4]	6464	XVKP[B,FM,P2,2]	1260

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P1,5]	5171	XVKP[B,FM,P2,3]	1512
XVKP[B,B,P2,1]	3990	XVKP[B,FM,P2,4]	1360
XVKP[B,B,P2,2]	5984	XVKP[B,FM,P2,5]	1089
XVKP[B,B,P2,3]	7182	XVKP[B,H,P1,1]	2100
XVKP[B,B,P2,4]	6464	XVKP[B,H,P1,2]	3150
XVKP[B,B,P2,5]	5171	XVKP[B,H,P1,3]	3780
XVKP[B,Br,P1,1]	644	XVKP[B,H,P1,4]	3402
XVKP[B,Br,P1,2]	966	XVKP[B,H,P1,5]	2722
XVKP[B,Br,P1,3]	1158	XVKP[B,H,P2,1]	2100
XVKP[B,Br,P1,4]	1042	XVKP[B,H,P2,2]	3150
XVKP[B,Br,P1,5]	835	XVKP[B,H,P2,3]	3780
XVKP[B,Br,P2,1]	644	XVKP[B,H,P2,4]	3402
XVKP[B,Br,P2,2]	966	XVKP[B,H,P2,5]	2722
XVKP[B,Br,P2,3]	1158	XVKP[B,Ha,P1,1]	602
XVKP[B,Br,P2,4]	1042	XVKP[B,Ha,P1,2]	902
XVKP[B,Br,P2,5]	835	XVKP[B,Ha,P1,3]	1084
XVKP[B,Do,P1,1]	672	XVKP[B,Ha,P1,4]	974
XVKP[B,Do,P1,2]	1008	XVKP[B,Ha,P1,5]	780
XVKP[B,Do,P1,3]	1210	XVKP[B,Ha,P2,1]	602
XVKP[B,Do,P1,4]	1088	XVKP[B,Ha,P2,2]	902
XVKP[B,Do,P1,5]	871	XVKP[B,Ha,P2,3]	1084
XVKP[B,Do,P2,1]	672	XVKP[B,Ha,P2,4]	974
XVKP[B,Do,P2,2]	1008	XVKP[B,Ha,P2,5]	780
XVKP[B,Do,P2,3]	1210	XVKP[B,K,P1,1]	1218
XVKP[B,Do,P2,4]	1088	XVKP[B,K,P1,2]	1826
XVKP[B,Do,P2,5]	871	XVKP[B,K,P1,3]	2192
XVKP[B,Dr,P1,1]	616	XVKP[B,K,P1,4]	1972
XVKP[B,Dr,P1,2]	924	XVKP[B,K,P1,5]	1579
XVKP[B,Dr,P1,3]	1108	XVKP[B,K,P2,1]	1218
XVKP[B,Dr,P1,4]	998	XVKP[B,K,P2,2]	1826
XVKP[B,Dr,P1,5]	798	XVKP[B,K,P2,3]	2192
XVKP[B,Dr,P2,1]	616	XVKP[B,K,P2,4]	1972
XVKP[B,Dr,P2,2]	924	XVKP[B,K,P2,5]	1579
XVKP[B,Dr,P2,3]	1108	XVKP[B,L,P1,1]	616
XVKP[B,Dr,P2,4]	998	XVKP[B,L,P1,2]	924
XVKP[B,Dr,P2,5]	798	XVKP[B,L,P1,3]	1108
XVKP[B,Du,P1,1]	560	XVKP[B,L,P1,4]	998
XVKP[B,Du,P1,2]	840	XVKP[B,L,P1,5]	798

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P1,3]	1008	XVKP[B,L,P2,1]	616
XVKP[B,Du,P1,4]	906	XVKP[B,L,P2,2]	924
XVKP[B,Du,P1,5]	726	XVKP[B,L,P2,3]	1108
XVKP[B,Du,P2,1]	560	XVKP[B,L,P2,4]	998
XVKP[B,Du,P2,2]	840	XVKP[B,L,P2,5]	798
XVKP[B,Du,P2,3]	1008	XVKP[B,M,P1,1]	1680
XVKP[B,Du,P2,4]	906	XVKP[B,M,P1,2]	2520
XVKP[B,Du,P2,5]	726	XVKP[B,M,P1,3]	130
XVKP[B,Due,P1,1]	700	XVKP[B,M,P1,4]	2622
XVKP[B,Due,P1,2]	1050	XVKP[B,M,P1,5]	2177
XVKP[B,Due,P1,3]	1260	XVKP[B,M,P2,1]	1680
XVKP[B,Due,P1,4]	1134	XVKP[B,M,P2,2]	2520
XVKP[B,Due,P1,5]	907	XVKP[B,M,P2,3]	130
XVKP[B,Due,P2,1]	700	XVKP[B,M,P2,4]	2622
XVKP[B,Due,P2,2]	1050	XVKP[B,M,P2,5]	2177
XVKP[B,Due,P2,3]	1260	XVKP[B,Nu,P1,1]	588
XVKP[B,Due,P2,4]	1134	XVKP[B,Nu,P1,2]	882
XVKP[B,Due,P2,5]	907	XVKP[B,Nu,P1,3]	1058
XVKP[B,E,P1,1]	672	XVKP[B,Nu,P1,4]	952
XVKP[B,E,P1,2]	1008	XVKP[B,Nu,P1,5]	762
XVKP[B,E,P1,3]	1210	XVKP[B,Nu,P2,1]	588
XVKP[B,E,P1,4]	1088	XVKP[B,Nu,P2,2]	882
XVKP[B,E,P1,5]	871	XVKP[B,Nu,P2,3]	1058
XVKP[B,E,P2,1]	672	XVKP[B,Nu,P2,4]	952
XVKP[B,E,P2,2]	1008	XVKP[B,Nu,P2,5]	762
XVKP[B,E,P2,3]	1210	XVKP[B,S,P1,1]	700
XVKP[B,E,P2,4]	1088	XVKP[B,S,P1,2]	1050
XVKP[B,E,P2,5]	871	XVKP[B,S,P1,5]	907
XVKP[B,FM,P1,1]	840	XVKP[B,S,P2,1]	700
XVKP[B,FM,P1,2]	1260	XVKP[B,S,P2,2]	1050
XVKP[B,FM,P1,3]	1512	XVKP[B,S,P2,5]	907
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	1995	XKVP[FM,B,P1,4]	756
XKVP[B,B,P1,3]	2992	XKVP[FM,B,P1,5]	680
XKVP[B,B,P1,4]	3591	XKVP[FM,B,P2,2]	420
XKVP[B,B,P1,5]	3232	XKVP[FM,B,P2,3]	630
XKVP[B,B,P2,2]	1995	XKVP[FM,B,P2,4]	756
XKVP[B,B,P2,3]	2992	XKVP[FM,B,P2,5]	680

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P2,4]	3591	XKVP[H,B,P1,2]	1050
XKVP[B,B,P2,5]	3232	XKVP[H,B,P1,3]	1575
XKVP[Br,B,P1,2]	322	XKVP[H,B,P1,4]	1890
XKVP[Br,B,P1,3]	483	XKVP[H,B,P1,5]	1701
XKVP[Br,B,P1,4]	579	XKVP[H,B,P2,2]	1050
XKVP[Br,B,P1,5]	521	XKVP[H,B,P2,3]	1575
XKVP[Br,B,P2,2]	322	XKVP[H,B,P2,4]	1890
XKVP[Br,B,P2,3]	483	XKVP[H,B,P2,5]	1701
XKVP[Br,B,P2,4]	579	XKVP[Ha,B,P1,2]	301
XKVP[Br,B,P2,5]	521	XKVP[Ha,B,P1,3]	451
XKVP[Do,B,P1,2]	336	XKVP[Ha,B,P1,4]	542
XKVP[Do,B,P1,3]	504	XKVP[Ha,B,P1,5]	487
XKVP[Do,B,P1,4]	605	XKVP[Ha,B,P2,2]	301
XKVP[Do,B,P1,5]	544	XKVP[Ha,B,P2,3]	451
XKVP[Do,B,P2,2]	336	XKVP[Ha,B,P2,4]	542
XKVP[Do,B,P2,3]	504	XKVP[Ha,B,P2,5]	487
XKVP[Do,B,P2,4]	605	XKVP[K,B,P1,2]	609
XKVP[Do,B,P2,5]	544	XKVP[K,B,P1,3]	913
XKVP[Dr,B,P1,2]	308	XKVP[K,B,P1,4]	1096
XKVP[Dr,B,P1,3]	462	XKVP[K,B,P1,5]	986
XKVP[Dr,B,P1,4]	554	XKVP[K,B,P2,2]	609
XKVP[Dr,B,P1,5]	499	XKVP[K,B,P2,3]	913
XKVP[Dr,B,P2,2]	308	XKVP[K,B,P2,4]	1096
XKVP[Dr,B,P2,3]	462	XKVP[K,B,P2,5]	986
XKVP[Dr,B,P2,4]	554	XKVP[L,B,P1,2]	308
XKVP[Dr,B,P2,5]	499	XKVP[L,B,P1,3]	462
XKVP[Du,B,P1,2]	280	XKVP[L,B,P1,4]	554
XKVP[Du,B,P1,3]	420	XKVP[L,B,P1,5]	499
XKVP[Du,B,P1,4]	504	XKVP[L,B,P2,2]	308
XKVP[Du,B,P1,5]	453	XKVP[L,B,P2,3]	462
XKVP[Du,B,P2,2]	280	XKVP[L,B,P2,4]	554
XKVP[Du,B,P2,3]	420	XKVP[L,B,P2,5]	499
XKVP[Du,B,P2,4]	504	XKVP[M,B,P1,2]	840
XKVP[Du,B,P2,5]	453	XKVP[M,B,P1,3]	1260
XKVP[Due,B,P1,2]	350	XKVP[M,B,P1,4]	65
XKVP[Due,B,P1,3]	525	XKVP[M,B,P1,5]	1311
XKVP[Due,B,P1,4]	630	XKVP[M,B,P2,2]	840
XKVP[Due,B,P1,5]	567	XKVP[M,B,P2,3]	1260

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,B,P2,2]	350	XKVP[M,B,P2,4]	65
XKVP[Due,B,P2,3]	525	XKVP[M,B,P2,5]	1311
XKVP[Due,B,P2,4]	630	XKVP[Nu,B,P1,2]	294
XKVP[Due,B,P2,5]	567	XKVP[Nu,B,P1,3]	441
XKVP[E,B,P1,2]	336	XKVP[Nu,B,P1,4]	529
XKVP[E,B,P1,3]	504	XKVP[Nu,B,P1,5]	476
XKVP[E,B,P1,4]	605	XKVP[Nu,B,P2,2]	294
XKVP[E,B,P1,5]	544	XKVP[Nu,B,P2,3]	441
XKVP[E,B,P2,2]	336	XKVP[Nu,B,P2,4]	529
XKVP[E,B,P2,3]	504	XKVP[Nu,B,P2,5]	476
XKVP[E,B,P2,4]	605	XKVP[S,B,P1,2]	350
XKVP[E,B,P2,5]	544	XKVP[S,B,P1,3]	525
XKVP[FM,B,P1,2]	420	XKVP[S,B,P2,2]	350
XKVP[FM,B,P1,3]	630	XKVP[S,B,P2,3]	525
Transportmengen vom VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	5669	XVRP[B,Dis,P1,2]	2430
XVRP[B,B,P1,3]	8502	XVRP[B,Dis,P1,3]	3645
XVRP[B,B,P1,4]	8750	XVRP[B,Dis,P1,4]	3750
XVRP[B,B,P1,5]	8750	XVRP[B,Dis,P1,5]	3750
XVRP[B,B,P2,2]	5669	XVRP[B,Dis,P2,2]	2430
XVRP[B,B,P2,3]	8502	XVRP[B,Dis,P2,3]	3645
XVRP[B,B,P2,4]	8750	XVRP[B,Dis,P2,4]	3750
XVRP[B,B,P2,5]	8750	XVRP[B,Dis,P2,5]	3750
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	5668	XCR[B,M2,4]	17500
XCR[B,M1,3]	8503	XCR[B,M2,5]	17500
XCR[B,M1,4]	8750	XCR[B,M3,2]	5668
XCR[B,M1,5]	8750	XCR[B,M3,3]	8503
XCR[B,M2,2]	11336	XCR[B,M3,4]	8750
XCR[B,M2,3]	17006	XCR[B,M3,5]	8750
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	5668	XPR[B,P2,2]	5668
XPR[B,P1,3]	8503	XPR[B,P2,3]	8503
XPR[B,P1,4]	8750	XPR[B,P2,4]	8750
XPR[B,P1,5]	8750	XPR[B,P2,5]	8750

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 7 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	3967	XCRF[B,M1,Dis,2]	1701
XCRF[B,M1,B,3]	5952	XCRF[B,M1,Dis,3]	2551
XCRF[B,M1,B,4]	6125	XCRF[B,M1,Dis,4]	2625
XCRF[B,M1,B,5]	6125	XCRF[B,M1,Dis,5]	2625
XCRF[B,M2,B,2]	7935	XCRF[B,M2,Dis,2]	3401
XCRF[B,M2,B,3]	11904	XCRF[B,M2,Dis,3]	5102
XCRF[B,M2,B,4]	12250	XCRF[B,M2,Dis,4]	5250
XCRF[B,M2,B,5]	12250	XCRF[B,M2,Dis,5]	5250
XCRF[B,M3,B,2]	3967	XCRF[B,M3,Dis,2]	1701
XCRF[B,M3,B,3]	5952	XCRF[B,M3,Dis,3]	2551
XCRF[B,M3,B,4]	6125	XCRF[B,M3,Dis,4]	2625
XCRF[B,M3,B,5]	6125	XCRF[B,M3,Dis,5]	2625
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	1	IPR[B,P2,2]	1
Unbefriedigte Nachfragen			
U[B,P1,2]	1	U[Ha,P2,2]	1
U[B,P2,2]	1	U[Ha,P2,4]	1
U[Br,P1,3]	1	U[K,P1,2]	1
U[Br,P1,4]	1	U[K,P1,4]	1
U[Br,P2,3]	1	U[K,P2,2]	1
U[Br,P2,4]	1	U[K,P2,4]	1
U[Do,P1,4]	1	U[L,P1,3]	1
U[Do,P2,4]	1	U[L,P2,3]	1
U[Dr,P1,3]	1	U[M,P1,3]	2894
U[Dr,P2,3]	1	U[M,P1,4]	100
U[Du,P1,4]	1	U[M,P2,3]	2894
U[Du,P2,4]	1	U[M,P2,4]	100
U[E,P1,4]	1	U[Nu,P1,4]	1
U[E,P2,4]	1	U[Nu,P2,4]	1
U[FM,P1,4]	1	U[S,P1,3]	1260
U[FM,P2,4]	1	U[S,P1,4]	1134
U[Ha,P1,2]	1	U[S,P2,3]	1260
U[Ha,P1,4]	1	U[S,P2,4]	1134

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach klassischem PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 7 (Eigene Darstellung)

Tabelle A.14: Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Rapid Penetration“-PLZ

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt P_1 bzw. P_2
1	Du	480
	Nu	504
	Ha	516
	L	528
	Dr	528
	Br	552
	E	576
	Do	576
	Due	600
	S	600
	FM	720
	K	1044
	M	1440
	H	1800
	B	3420
2	Du	912
	Nu	958
	Ha	980
	L	1003
	Dr	1003
	Br	1049
	E	1094
	Do	1094
	Due	1140
	S	1140
	FM	1368
	K	1984
	M	2736
	H	3420
	B	6498

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Rapid Penetration“-PLZ, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt <i>P1</i> bzw. <i>P2</i>
3	Du	1368
	Nu	1436
	Ha	1471
	L	1505
	Dr	1505
	Br	1573
	E	1642
	Do	1642
	Due	1710
	S	1710
	FM	2052
	K	2975
	M	4104
	H	5130
	B	9747
4	Du	821
	Nu	862
	Ha	882
	L	903
	Dr	903
	Br	944
	E	985
	Do	985
	Due	1026
	S	1026
	FM	1231
	K	1785
	M	2462
	H	3078
	B	5848

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei „Rapid Penetration“-PLZ, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt P_1 bzw. P_2
5	Du	410
	Nu	431
	Ha	441
	L	451
	Dr	451
	Br	472
	E	492
	Do	492
	Due	513
	S	513
	FM	616
	K	893
	M	1231
	H	1539
	B	2924

Lösung des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach "Rapid Penetration"-PLZ			
Zielfunktionswert in GE		18.480.695,25 bestehend aus:	
Diskontierte Strafkosten in GE		15.481,59	Diskontierte tatsächliche Kosten in GE 18.465.213,66
Variablen für Standorteröffnungen		Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YFGes[B,1]	1	...im Werk in Berlin	
YFGes[K,2]	1	CapFT[B,1]	278
YRGes[B,2]	1	CapFT[B,2]	258
YVGes[B,1]	1	CapFT[B,3]	388
YVGes[K,1]	1	CapFT[B,4]	232
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,5]	117
YF[B,1]	1	...im Werk in Köln	
YF[B,2]	1	CapFT[K,2]	270
YF[B,3]	1	CapFT[K,3]	404
YF[B,4]	1	CapFT[K,4]	243
YF[B,5]	1	CapFT[K,5]	121
YF[K,2]	1	...im VSZ in Berlin	
YF[K,3]	1	CapVT[B,1]	186
YF[K,4]	1	CapVT[B,2]	352
YF[K,5]	1	CapVT[B,3]	564
YR[B,2]	1	CapVT[B,4]	497
YR[B,3]	1	CapVT[B,5]	275
YR[B,4]	1	...im VSZ in Köln	
YR[B,5]	1	CapVT[K,1]	92
YV[B,1]	1	CapVT[K,2]	315
YV[B,2]	1	CapVT[K,3]	492
YV[B,3]	1	CapVT[K,4]	374
YV[B,4]	1	CapVT[K,5]	200
YV[B,5]	1	...im WZ	
YV[K,1]	1	CapRT[B,2]	98
YV[K,2]	1	CapRT[B,3]	185
YV[K,3]	1	CapRT[B,4]	277
YV[K,4]	1	CapRT[B,5]	166
YV[K,5]	1	Kapazitätsveränderungen	
Kapazitätsabbau		CCapF[B,1]	278
CCapFDOWN[B,2]	-20	CCapF[B,2]	-20
CCapFDOWN[B,4]	-156	CCapF[B,3]	130
CCapFDOWN[B,5]	-115	CCapF[B,4]	-156
CCapFDOWN[K,4]	-161	CCapF[B,5]	-115
CCapFDOWN[K,5]	-122	CCapF[K,2]	270
CCapRDOWN[B,5]	-111	CCapF[K,3]	134

Abbildung A.29: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 8 (Eigene Darstellung)

CCapVDOWN[B,4]	-67	CCapF[K,4]	-161
CCapVDOWN[B,5]	-222	CCapF[K,5]	-122
CCapVDOWN[K,4]	-118	CCapR[B,2]	98
CCapVDOWN[K,5]	-174	CCapR[B,3]	87
Kapazitätsaufbau		CCapR[B,4]	92
CCapFUP[B,1]	278	CCapR[B,5]	-111
CCapFUP[B,3]	130	CCapV[B,1]	186
CCapFUP[K,2]	270	CCapV[B,2]	166
CCapFUP[K,3]	134	CCapV[B,3]	212
CCapRUP[B,2]	98	CCapV[B,4]	-67
CCapRUP[B,3]	87	CCapV[B,5]	-222
CCapRUP[B,4]	92	CCapV[K,1]	92
CCapVUP[B,1]	186	CCapV[K,2]	223
CCapVUP[B,2]	166	CCapV[K,3]	177
CCapVUP[B,3]	212	CCapV[K,4]	-118
CCapVUP[K,1]	92	CCapV[K,5]	-174
CCapVUP[K,2]	223		
CCapVUP[K,3]	177		
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[K,2]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapFUP[K,3]	1	YCCapVUP[K,1]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[K,2]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[K,3]	1
Transportmengen von Zulieferern zu Werken			
XCZF[B,M1,B,1]	13884	XCZF[B,M3,B,4]	1920
XCZF[B,M1,B,2]	9507	XCZF[K,M1,K,2]	13474
XCZF[B,M1,B,3]	12906	XCZF[K,M1,K,3]	20190
XCZF[B,M1,B,4]	1896	XCZF[K,M1,K,4]	12146
XCZF[B,M1,B,5]	19	XCZF[K,M1,K,5]	6037
XCZF[B,M2,B,1]	27768	XCZF[K,M2,K,2]	26952
XCZF[B,M2,B,2]	19010	XCZF[K,M2,K,3]	40400
XCZF[B,M2,B,3]	25792	XCZF[K,M2,K,4]	24268
XCZF[B,M2,B,4]	3815	XCZF[K,M2,K,5]	12100
XCZF[B,M2,B,5]	18	XCZF[K,M3,K,2]	13478
XCZF[B,M3,B,1]	13884	XCZF[K,M3,K,3]	20210
XCZF[B,M3,B,2]	9503	XCZF[K,M3,K,4]	12122
XCZF[B,M3,B,3]	12886	XCZF[K,M3,K,5]	6063

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 8 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Komponenten in Werken			
XCF[B,M1,1]	13884	XCF[B,M3,5]	5806
XCF[B,M1,2]	12902	XCF[K,M1,2]	13474
XCF[B,M1,3]	19374	XCF[K,M1,3]	20190
XCF[B,M1,4]	11588	XCF[K,M1,4]	12146
XCF[B,M1,5]	5832	XCF[K,M1,5]	6037
XCF[B,M2,1]	27768	XCF[K,M2,2]	26952
XCF[B,M2,2]	25800	XCF[K,M2,3]	40400
XCF[B,M2,3]	38728	XCF[K,M2,4]	24268
XCF[B,M2,4]	23200	XCF[K,M2,5]	12100
XCF[B,M2,5]	11638	XCF[K,M3,2]	13478
XCF[B,M3,1]	13884	XCF[K,M3,3]	20210
XCF[B,M3,2]	12898	XCF[K,M3,4]	12122
XCF[B,M3,3]	19354	XCF[K,M3,5]	6063
XCF[B,M3,4]	11612		
Bearbeitungsmengen an Produkten in Werken			
XPF[B,P1,1]	13884	XPF[B,P2,5]	5806
XPF[B,P1,2]	12902	XPF[K,P1,2]	13474
XPF[B,P1,3]	19374	XPF[K,P1,3]	20190
XPF[B,P1,4]	11588	XPF[K,P1,4]	12146
XPF[B,P1,5]	5832	XPF[K,P1,5]	6037
XPF[B,P2,1]	13884	XPF[K,P2,2]	13478
XPF[B,P2,2]	12898	XPF[K,P2,3]	20210
XPF[B,P2,3]	19354	XPF[K,P2,4]	12122
XPF[B,P2,4]	11612	XPF[K,P2,5]	6063
Transportmengen von Werken zu VSZ			
XPFBV[B,B,P1,1]	9288	XPFBV[B,K,P1,1]	4596
XPFBV[B,B,P1,2]	12902	XPFBV[B,K,P2,1]	4596
XPFBV[B,B,P1,3]	19374	XPFBV[K,K,P1,2]	13474
XPFBV[B,B,P1,4]	11588	XPFBV[K,K,P1,3]	20190
XPFBV[B,B,P1,5]	5832	XPFBV[K,K,P1,4]	12146
XPFBV[B,B,P2,1]	9288	XPFBV[K,K,P1,5]	6037
XPFBV[B,B,P2,2]	12898	XPFBV[K,K,P2,2]	13478
XPFBV[B,B,P2,3]	19354	XPFBV[K,K,P2,3]	20210
XPFBV[B,B,P2,4]	11612	XPFBV[K,K,P2,4]	12122
XPFBV[B,B,P2,5]	5806	XPFBV[K,K,P2,5]	6063
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	3420	XVKP[K,Du,P1,2]	912
XVKP[B,B,P1,2]	6498	XVKP[K,Du,P1,3]	1368
XVKP[B,B,P1,3]	9746	XVKP[K,Du,P1,4]	820

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 8 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P1,4]	5848	XVKP[K,Du,P1,5]	410
XVKP[B,B,P1,5]	2924	XVKP[K,Du,P2,1]	480
XVKP[B,B,P2,1]	3420	XVKP[K,Du,P2,2]	912
XVKP[B,B,P2,2]	6498	XVKP[K,Du,P2,3]	1368
XVKP[B,B,P2,3]	9746	XVKP[K,Du,P2,4]	820
XVKP[B,B,P2,4]	5848	XVKP[K,Du,P2,5]	410
XVKP[B,B,P2,5]	2924	XVKP[K,Due,P1,1]	600
XVKP[B,Br,P1,1]	552	XVKP[K,Due,P1,2]	1140
XVKP[B,Br,P2,1]	552	XVKP[K,Due,P1,3]	1710
XVKP[B,Dr,P1,1]	528	XVKP[K,Due,P1,4]	1026
XVKP[B,Dr,P1,2]	1002	XVKP[K,Due,P1,5]	513
XVKP[B,Dr,P1,3]	1504	XVKP[K,Due,P2,1]	600
XVKP[B,Dr,P1,4]	902	XVKP[K,Due,P2,2]	1140
XVKP[B,Dr,P1,5]	451	XVKP[K,Due,P2,3]	1710
XVKP[B,Dr,P2,1]	528	XVKP[K,Due,P2,4]	1026
XVKP[B,Dr,P2,2]	1002	XVKP[K,Due,P2,5]	513
XVKP[B,Dr,P2,3]	1504	XVKP[K,E,P1,1]	576
XVKP[B,Dr,P2,4]	902	XVKP[K,E,P1,2]	1094
XVKP[B,Dr,P2,5]	451	XVKP[K,E,P1,3]	1642
XVKP[B,H,P1,1]	1800	XVKP[K,E,P1,4]	984
XVKP[B,H,P1,2]	3420	XVKP[K,E,P1,5]	492
XVKP[B,H,P1,3]	5130	XVKP[K,E,P2,1]	576
XVKP[B,H,P1,4]	3078	XVKP[K,E,P2,2]	1094
XVKP[B,H,P1,5]	1539	XVKP[K,E,P2,3]	1642
XVKP[B,H,P2,1]	1800	XVKP[K,E,P2,4]	984
XVKP[B,H,P2,2]	3420	XVKP[K,E,P2,5]	492
XVKP[B,H,P2,3]	5130	XVKP[K,FM,P1,1]	720
XVKP[B,H,P2,4]	3078	XVKP[K,FM,P1,2]	1368
XVKP[B,H,P2,5]	1539	XVKP[K,FM,P1,3]	2052
XVKP[B,Ha,P1,1]	516	XVKP[K,FM,P1,4]	1230
XVKP[B,Ha,P1,2]	980	XVKP[K,FM,P1,5]	616
XVKP[B,Ha,P1,3]	1470	XVKP[K,FM,P2,1]	720
XVKP[B,Ha,P1,4]	858	XVKP[K,FM,P2,2]	1368
XVKP[B,Ha,P1,5]	441	XVKP[K,FM,P2,3]	2052
XVKP[B,Ha,P2,1]	516	XVKP[K,FM,P2,4]	1230
XVKP[B,Ha,P2,2]	976	XVKP[K,FM,P2,5]	616
XVKP[B,Ha,P2,3]	1470	XVKP[K,Ha,P1,4]	24
XVKP[B,Ha,P2,4]	882	XVKP[K,Ha,P2,2]	4
XVKP[B,Ha,P2,5]	441	XVKP[K,K,P1,1]	1044
XVKP[B,L,P1,1]	528	XVKP[K,K,P1,2]	1984

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 8 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,L,P1,2]	1002	XVKP[K,K,P1,3]	2974
XVKP[B,L,P1,3]	1504	XVKP[K,K,P1,4]	1784
XVKP[B,L,P1,4]	902	XVKP[K,K,P1,5]	893
XVKP[B,L,P1,5]	451	XVKP[K,K,P2,1]	1044
XVKP[B,L,P2,1]	528	XVKP[K,K,P2,2]	1984
XVKP[B,L,P2,2]	1002	XVKP[K,K,P2,3]	2974
XVKP[B,L,P2,3]	1504	XVKP[K,K,P2,4]	1784
XVKP[B,L,P2,4]	902	XVKP[K,K,P2,5]	893
XVKP[B,L,P2,5]	451	XVKP[K,M,P1,2]	2736
XVKP[B,M,P1,1]	1440	XVKP[K,M,P1,3]	4084
XVKP[B,M,P1,3]	20	XVKP[K,M,P1,4]	2462
XVKP[B,M,P1,5]	26	XVKP[K,M,P1,5]	1205
XVKP[B,M,P2,1]	1440	XVKP[K,M,P2,2]	2736
XVKP[B,Nu,P1,1]	504	XVKP[K,M,P2,3]	4104
XVKP[B,Nu,P2,1]	504	XVKP[K,M,P2,4]	2462
XVKP[K,Br,P1,2]	1048	XVKP[K,M,P2,5]	1231
XVKP[K,Br,P1,3]	1572	XVKP[K,Nu,P1,2]	958
XVKP[K,Br,P1,4]	944	XVKP[K,Nu,P1,3]	1436
XVKP[K,Br,P1,5]	472	XVKP[K,Nu,P1,4]	862
XVKP[K,Br,P2,2]	1048	XVKP[K,Nu,P1,5]	431
XVKP[K,Br,P2,3]	1572	XVKP[K,Nu,P2,2]	958
XVKP[K,Br,P2,4]	944	XVKP[K,Nu,P2,3]	1436
XVKP[K,Br,P2,5]	472	XVKP[K,Nu,P2,4]	862
XVKP[K,Do,P1,1]	576	XVKP[K,Nu,P2,5]	431
XVKP[K,Do,P1,2]	1094	XVKP[K,S,P1,1]	600
XVKP[K,Do,P1,3]	1642	XVKP[K,S,P1,2]	1140
XVKP[K,Do,P1,4]	984	XVKP[K,S,P1,3]	1710
XVKP[K,Do,P1,5]	492	XVKP[K,S,P1,4]	1026
XVKP[K,Do,P2,1]	576	XVKP[K,S,P1,5]	513
XVKP[K,Do,P2,2]	1094	XVKP[K,S,P2,1]	600
XVKP[K,Do,P2,3]	1642	XVKP[K,S,P2,2]	1140
XVKP[K,Do,P2,4]	984	XVKP[K,S,P2,3]	1710
XVKP[K,Do,P2,5]	492	XVKP[K,S,P2,4]	1026
XVKP[K,Du,P1,1]	480	XVKP[K,S,P2,5]	513
Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	1710	XKVP[FM,K,P2,3]	684
XKVP[B,B,P1,3]	3249	XKVP[FM,K,P2,4]	1026
XKVP[B,B,P1,4]	4873	XKVP[FM,K,P2,5]	615
XKVP[B,B,P1,5]	2924	XKVP[H,B,P1,2]	900
XKVP[B,B,P2,2]	1710	XKVP[H,B,P1,3]	1710

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 8 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P2,4]	4873	XKVP[H,B,P1,5]	1539
XKVP[B,B,P2,5]	2924	XKVP[H,B,P2,2]	900
XKVP[Br,B,P1,2]	276	XKVP[H,B,P2,3]	1710
XKVP[Br,B,P1,3]	524	XKVP[H,B,P2,4]	2565
XKVP[Br,B,P1,4]	786	XKVP[H,B,P2,5]	1539
XKVP[Br,B,P1,5]	454	XKVP[Ha,B,P1,2]	258
XKVP[Br,B,P2,2]	276	XKVP[Ha,B,P1,3]	490
XKVP[Br,B,P2,3]	524	XKVP[Ha,B,P1,4]	735
XKVP[Br,B,P2,4]	786	XKVP[Ha,B,P1,5]	441
XKVP[Br,B,P2,5]	472	XKVP[Ha,B,P2,2]	258
XKVP[Br,K,P1,5]	18	XKVP[Ha,B,P2,3]	490
XKVP[Do,K,P1,2]	288	XKVP[Ha,B,P2,4]	735
XKVP[Do,K,P1,3]	547	XKVP[Ha,B,P2,5]	441
XKVP[Do,K,P1,4]	821	XKVP[K,K,P1,2]	522
XKVP[Do,K,P1,5]	492	XKVP[K,K,P1,3]	992
XKVP[Do,K,P2,2]	288	XKVP[K,K,P1,4]	1487
XKVP[Do,K,P2,3]	547	XKVP[K,K,P1,5]	892
XKVP[Do,K,P2,4]	821	XKVP[K,K,P2,2]	522
XKVP[Do,K,P2,5]	492	XKVP[K,K,P2,3]	992
XKVP[Dr,B,P1,2]	264	XKVP[K,K,P2,4]	1487
XKVP[Dr,B,P1,3]	501	XKVP[K,K,P2,5]	892
XKVP[Dr,B,P1,4]	752	XKVP[L,B,P1,2]	264
XKVP[Dr,B,P1,5]	451	XKVP[L,B,P1,3]	501
XKVP[Dr,B,P2,2]	264	XKVP[L,B,P1,4]	752
XKVP[Dr,B,P2,3]	501	XKVP[L,B,P1,5]	451
XKVP[Dr,B,P2,4]	752	XKVP[L,B,P2,2]	264
XKVP[Dr,B,P2,5]	451	XKVP[L,B,P2,3]	501
XKVP[Du,K,P1,2]	240	XKVP[L,B,P2,4]	752
XKVP[Du,K,P1,3]	456	XKVP[L,B,P2,5]	451
XKVP[Du,K,P1,4]	684	XKVP[M,B,P1,2]	720
XKVP[Du,K,P1,5]	410	XKVP[M,B,P1,3]	1368
XKVP[Du,K,P2,2]	240	XKVP[M,B,P1,4]	2052
XKVP[Du,K,P2,3]	456	XKVP[M,B,P1,5]	1231
XKVP[Du,K,P2,4]	684	XKVP[M,B,P2,2]	720
XKVP[Du,K,P2,5]	410	XKVP[M,B,P2,3]	1368
XKVP[Due,K,P1,2]	300	XKVP[M,B,P2,4]	2052
XKVP[Due,K,P1,3]	570	XKVP[M,B,P2,5]	1231
XKVP[Due,K,P1,4]	855	XKVP[Nu,B,P1,2]	252
XKVP[Due,K,P1,5]	513	XKVP[Nu,B,P1,3]	479
XKVP[Due,K,P2,2]	300	XKVP[Nu,B,P1,4]	718

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 8 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,K,P2,3]	570	XKVP[Nu,B,P1,5]	431
XKVP[Due,K,P2,4]	855	XKVP[Nu,B,P2,2]	252
XKVP[Due,K,P2,5]	513	XKVP[Nu,B,P2,3]	479
XKVP[E,K,P1,2]	288	XKVP[Nu,B,P2,4]	718
XKVP[E,K,P1,3]	547	XKVP[Nu,B,P2,5]	431
XKVP[E,K,P1,4]	821	XKVP[S,B,P1,2]	42
XKVP[E,K,P1,5]	492	XKVP[S,B,P2,2]	6
XKVP[E,K,P2,2]	288	XKVP[S,K,P1,2]	258
XKVP[E,K,P2,3]	547	XKVP[S,K,P1,3]	570
XKVP[E,K,P2,4]	821	XKVP[S,K,P1,4]	855
XKVP[E,K,P2,5]	492	XKVP[S,K,P1,5]	513
XKVP[FM,K,P1,2]	360	XKVP[S,K,P2,2]	294
XKVP[FM,K,P1,3]	684	XKVP[S,K,P2,3]	570
XKVP[FM,K,P1,4]	1026	XKVP[S,K,P2,4]	855
XKVP[FM,K,P1,5]	615	XKVP[S,K,P2,5]	513
XKVP[FM,K,P2,2]	360		
Transportmengen von VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	3280	XVRP[B,Dis,P1,2]	1406
XVRP[B,B,P1,3]	6175	XVRP[B,Dis,P1,3]	2647
XVRP[B,B,P1,4]	9263	XVRP[B,Dis,P1,4]	3970
XVRP[B,B,P1,5]	5545	XVRP[B,Dis,P1,5]	2377
XVRP[B,B,P2,2]	3255	XVRP[B,Dis,P2,2]	1395
XVRP[B,B,P2,3]	6175	XVRP[B,Dis,P2,3]	2647
XVRP[B,B,P2,4]	9263	XVRP[B,Dis,P2,4]	3970
XVRP[B,B,P2,5]	5558	XVRP[B,Dis,P2,5]	2382
XVRP[K,B,P1,2]	1579	XVRP[K,Dis,P1,2]	677
XVRP[K,B,P1,3]	3056	XVRP[K,Dis,P1,3]	1310
XVRP[K,B,P1,4]	4583	XVRP[K,Dis,P1,4]	1966
XVRP[K,B,P1,5]	2760	XVRP[K,Dis,P1,5]	1185
XVRP[K,B,P2,2]	1604	XVRP[K,Dis,P2,2]	688
XVRP[K,B,P2,3]	3056	XVRP[K,Dis,P2,3]	1310
XVRP[K,B,P2,4]	4584	XVRP[K,Dis,P2,4]	1965
XVRP[K,B,P2,5]	2737	XVRP[K,Dis,P2,5]	1190
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	4850	XCR[B,M2,4]	27693
XCR[B,M1,3]	9240	XCR[B,M2,5]	16600
XCR[B,M1,4]	13846	XCR[B,M3,2]	4850
XCR[B,M1,5]	8305	XCR[B,M3,3]	9240

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 8 (Eigene Darstellung)

XCR[B,M2,2]	9700	XCR[B,M3,4]	13847
XCR[B,M2,3]	18480	XCR[B,M3,5]	8295
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	4850	XPR[B,P2,2]	4850
XPR[B,P1,3]	9240	XPR[B,P2,3]	9240
XPR[B,P1,4]	13846	XPR[B,P2,4]	13847
XPR[B,P1,5]	8305	XPR[B,P2,5]	8295
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	3395	XCRF[B,M1,Dis,2]	1455
XCRF[B,M1,B,3]	6468	XCRF[B,M1,Dis,3]	2772
XCRF[B,M1,B,4]	9692	XCRF[B,M1,Dis,4]	4154
XCRF[B,M1,B,5]	5813	XCRF[B,M1,Dis,5]	2492
XCRF[B,M2,B,2]	6790	XCRF[B,M2,Dis,2]	2910
XCRF[B,M2,B,3]	12936	XCRF[B,M2,Dis,3]	5544
XCRF[B,M2,B,4]	19385	XCRF[B,M2,Dis,4]	8308
XCRF[B,M2,B,5]	11620	XCRF[B,M2,Dis,5]	4980
XCRF[B,M3,B,2]	3395	XCRF[B,M3,Dis,2]	1455
XCRF[B,M3,B,3]	6468	XCRF[B,M3,Dis,3]	2772
XCRF[B,M3,B,4]	9692	XCRF[B,M3,Dis,4]	4155
XCRF[B,M3,B,5]	5806	XCRF[B,M3,Dis,5]	2489
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	9	IPR[B,P2,2]	9
Unbefriedigte Nachfragen			
U[B,P1,3]	1	U[E,P1,4]	1
U[B,P2,3]	1	U[E,P2,4]	1
U[Br,P1,2]	1	U[FM,P1,4]	1
U[Br,P1,3]	1	U[FM,P2,4]	1
U[Br,P2,2]	1	U[Ha,P1,3]	1
U[Br,P2,3]	1	U[Ha,P2,3]	1
U[Do,P1,4]	1	U[K,P1,3]	1
U[Do,P2,4]	1	U[K,P1,4]	1
U[Dr,P1,2]	1	U[K,P2,3]	1
U[Dr,P1,3]	1	U[K,P2,4]	1
U[Dr,P1,4]	1	U[L,P1,2]	1
U[Dr,P2,2]	1	U[L,P1,3]	1
U[Dr,P2,3]	1	U[L,P1,4]	1
U[Dr,P2,4]	1	U[L,P2,2]	1
U[Du,P1,4]	1	U[L,P2,3]	1
U[Du,P2,4]	1	U[L,P2,4]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für schwankende Nachfrage nach „Rapid Penetration“-PLZ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 8 (Eigene Darstellung)

Tabelle A.15: Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
1	Du	800
	Nu	840
	Ha	860
	L	880
	Dr	880
	Br	920
	E	960
	Do	960
	Due	1000
	S	1000
	FM	1200
	K	1740
	M	2400
	H	3000
	B	5700
2	Du	480
	Nu	504
	Ha	516
	L	528
	Dr	528
	Br	552
	E	576
	Do	576
	Due	600
	S	600
	FM	720
	K	1044
	M	1440
	H	1800
	B	3420

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
3	Du	288
	Nu	302
	Ha	310
	L	317
	Dr	317
	Br	331
	E	346
	Do	346
	Due	360
	S	360
	FM	432
	K	626
	M	864
	H	1080
	B	2052
4	Du	173
	Nu	181
	Ha	186
	L	190
	Dr	190
	Br	199
	E	207
	Do	207
	Due	216
	S	216
	FM	259
	K	376
	M	518
	H	648
	B	1231

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt <i>P1</i> bzw. <i>P2</i>
5	Du	104
	Nu	109
	Ha	111
	L	114
	Dr	114
	Br	119
	E	124
	Do	124
	Due	130
	S	130
	FM	156
	K	226
	M	311
	H	389
	B	739

Lösung des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode			
Zielfunktionswert in GE		9.280.731,82	bestehend aus:
Diskontierte Strafkosten in GE		9.638,63	Diskontierte tatsächliche Kosten in GE 9.271.093,19
Variablen für Standorteröffnungen		Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
YFGes[B,1]	1	...im Werk	
YVGes[B,1]	1	CapFT[B,1]	463
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,2]	278
YF[B,1]	1	CapFT[B,3]	167
YF[B,2]	1	CapFT[B,4]	100
YF[B,3]	1	CapFT[B,5]	60
YF[B,4]	1	...im VSZ	
YF[B,5]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,1]	1	CapVT[B,2]	510
YV[B,2]	1	CapVT[B,3]	306
YV[B,3]	1	CapVT[B,4]	184
YV[B,4]	1	CapVT[B,5]	110
YV[B,5]	1	Kapazitätsaufbau	
Kapazitätsveränderungen		CCapFUP[B,1]	463
CCapF[B,1]	463	CCapVUP[B,1]	463
CCapF[B,2]	-185	CCapVUP[B,2]	47
CCapF[B,3]	-111	Kapazitätsabbau	
CCapF[B,4]	-67	CCapFDOWN[B,2]	-185
CCapF[B,5]	-40	CCapFDOWN[B,3]	-111
CCapV[B,1]	463	CCapFDOWN[B,4]	-67
CCapV[B,2]	47	CCapFDOWN[B,5]	-40
CCapV[B,3]	-204	CCapVDOWN[B,3]	-204
CCapV[B,4]	-122	CCapVDOWN[B,4]	-122
CCapV[B,5]	-74	CCapVDOWN[B,5]	-74
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapVUP[B,1]	1		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	9980
XCF[B,M1,2]	13884	XCF[B,M2,5]	6000
XCF[B,M1,3]	8328	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	4990	XCF[B,M3,2]	13884

Abbildung A.30: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

XCF[B,M1,5]	3000	XCF[B,M3,3]	8328
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	4990
XCF[B,M2,2]	27768	XCF[B,M3,5]	3000
XCF[B,M2,3]	16656		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	13884	XPF[B,P2,2]	13884
XPF[B,P1,3]	8328	XPF[B,P2,3]	8328
XPF[B,P1,4]	4990	XPF[B,P2,4]	4990
XPF[B,P1,5]	3000	XPF[B,P2,5]	3000
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	9980
XCZF[B,M1,B,2]	13884	XCZF[B,M2,B,5]	6000
XCZF[B,M1,B,3]	8328	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	4990	XCZF[B,M3,B,2]	13884
XCZF[B,M1,B,5]	3000	XCZF[B,M3,B,3]	8328
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	4990
XCZF[B,M2,B,2]	27768	XCZF[B,M3,B,5]	3000
XCZF[B,M2,B,3]	16656		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	13884	XPFV[B,B,P2,2]	13884
XPFV[B,B,P1,3]	8328	XPFV[B,B,P2,3]	8328
XPFV[B,B,P1,4]	4990	XPFV[B,B,P2,4]	4990
XPFV[B,B,P1,5]	3000	XPFV[B,B,P2,5]	3000
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	3420	XVKP[B,FM,P2,2]	720
XVKP[B,B,P1,3]	2052	XVKP[B,FM,P2,3]	432
XVKP[B,B,P1,4]	1230	XVKP[B,FM,P2,4]	258
XVKP[B,B,P1,5]	739	XVKP[B,FM,P2,5]	156
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	3420	XVKP[B,H,P1,2]	1800
XVKP[B,B,P2,3]	2052	XVKP[B,H,P1,3]	1080
XVKP[B,B,P2,4]	1230	XVKP[B,H,P1,4]	648
XVKP[B,B,P2,5]	739	XVKP[B,H,P1,5]	389

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	552	XVKP[B,H,P2,2]	1800
XVKP[B,Br,P1,3]	330	XVKP[B,H,P2,3]	1080
XVKP[B,Br,P1,4]	198	XVKP[B,H,P2,4]	648
XVKP[B,Br,P1,5]	119	XVKP[B,H,P2,5]	389
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	552	XVKP[B,Ha,P1,2]	516
XVKP[B,Br,P2,3]	330	XVKP[B,Ha,P1,3]	310
XVKP[B,Br,P2,4]	198	XVKP[B,Ha,P1,4]	186
XVKP[B,Br,P2,5]	119	XVKP[B,Ha,P1,5]	111
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	576	XVKP[B,Ha,P2,2]	516
XVKP[B,Do,P1,3]	346	XVKP[B,Ha,P2,3]	310
XVKP[B,Do,P1,4]	206	XVKP[B,Ha,P2,4]	186
XVKP[B,Do,P1,5]	124	XVKP[B,Ha,P2,5]	111
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	576	XVKP[B,K,P1,2]	1044
XVKP[B,Do,P2,3]	346	XVKP[B,K,P1,3]	626
XVKP[B,Do,P2,4]	206	XVKP[B,K,P1,4]	376
XVKP[B,Do,P2,5]	124	XVKP[B,K,P1,5]	226
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	528	XVKP[B,K,P2,2]	1044
XVKP[B,Dr,P1,3]	316	XVKP[B,K,P2,3]	626
XVKP[B,Dr,P1,4]	190	XVKP[B,K,P2,4]	376
XVKP[B,Dr,P1,5]	114	XVKP[B,K,P2,5]	226
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	528	XVKP[B,L,P1,2]	528
XVKP[B,Dr,P2,3]	316	XVKP[B,L,P1,3]	316
XVKP[B,Dr,P2,4]	190	XVKP[B,L,P1,4]	190
XVKP[B,Dr,P2,5]	114	XVKP[B,L,P1,5]	114
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	480	XVKP[B,L,P2,2]	528
XVKP[B,Du,P1,3]	288	XVKP[B,L,P2,3]	316
XVKP[B,Du,P1,4]	172	XVKP[B,L,P2,4]	190
XVKP[B,Du,P1,5]	104	XVKP[B,L,P2,5]	114
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P2,2]	480	XVKP[B,M,P1,2]	1440
XVKP[B,Du,P2,3]	288	XVKP[B,M,P1,3]	864
XVKP[B,Du,P2,4]	172	XVKP[B,M,P1,4]	518
XVKP[B,Du,P2,5]	104	XVKP[B,M,P1,5]	311
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	600	XVKP[B,M,P2,2]	1440
XVKP[B,Due,P1,3]	360	XVKP[B,M,P2,3]	864
XVKP[B,Due,P1,4]	216	XVKP[B,M,P2,4]	518
XVKP[B,Due,P1,5]	130	XVKP[B,M,P2,5]	311
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	600	XVKP[B,Nu,P1,2]	504
XVKP[B,Due,P2,3]	360	XVKP[B,Nu,P1,3]	302
XVKP[B,Due,P2,4]	216	XVKP[B,Nu,P1,4]	180
XVKP[B,Due,P2,5]	130	XVKP[B,Nu,P1,5]	109
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	576	XVKP[B,Nu,P2,2]	504
XVKP[B,E,P1,3]	346	XVKP[B,Nu,P2,3]	302
XVKP[B,E,P1,4]	206	XVKP[B,Nu,P2,4]	180
XVKP[B,E,P1,5]	124	XVKP[B,Nu,P2,5]	109
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	576	XVKP[B,S,P1,2]	600
XVKP[B,E,P2,3]	346	XVKP[B,S,P1,3]	360
XVKP[B,E,P2,4]	206	XVKP[B,S,P1,4]	216
XVKP[B,E,P2,5]	124	XVKP[B,S,P1,5]	130
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	720	XVKP[B,S,P2,2]	600
XVKP[B,FM,P1,3]	432	XVKP[B,S,P2,3]	360
XVKP[B,FM,P1,4]	258	XVKP[B,S,P2,4]	216
XVKP[B,FM,P1,5]	156	XVKP[B,S,P2,5]	130
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	1710	XKVP[FM,B,P2,3]	360
XKVP[B,B,P1,4]	1026	XKVP[FM,B,P2,4]	216
XKVP[B,B,P1,5]	615	XKVP[FM,B,P2,5]	129
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	1710	XKVP[H,B,P1,3]	900

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P2,4]	1026	XKVP[H,B,P1,4]	540
XKVP[B,B,P2,5]	615	XKVP[H,B,P1,5]	324
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	276	XKVP[H,B,P2,3]	900
XKVP[Br,B,P1,4]	165	XKVP[H,B,P2,4]	540
XKVP[Br,B,P1,5]	99	XKVP[H,B,P2,5]	324
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	276	XKVP[Ha,B,P1,3]	258
XKVP[Br,B,P2,4]	165	XKVP[Ha,B,P1,4]	155
XKVP[Br,B,P2,5]	99	XKVP[Ha,B,P1,5]	93
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	288	XKVP[Ha,B,P2,3]	258
XKVP[Do,B,P1,4]	173	XKVP[Ha,B,P2,4]	155
XKVP[Do,B,P1,5]	103	XKVP[Ha,B,P2,5]	93
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	288	XKVP[K,B,P1,3]	522
XKVP[Do,B,P2,4]	173	XKVP[K,B,P1,4]	313
XKVP[Do,B,P2,5]	103	XKVP[K,B,P1,5]	188
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	264	XKVP[K,B,P2,3]	522
XKVP[Dr,B,P1,4]	158	XKVP[K,B,P2,4]	313
XKVP[Dr,B,P1,5]	95	XKVP[K,B,P2,5]	188
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	264	XKVP[L,B,P1,3]	264
XKVP[Dr,B,P2,4]	158	XKVP[L,B,P1,4]	158
XKVP[Dr,B,P2,5]	95	XKVP[L,B,P1,5]	95
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	240	XKVP[L,B,P2,3]	264
XKVP[Du,B,P1,4]	144	XKVP[L,B,P2,4]	158
XKVP[Du,B,P1,5]	86	XKVP[L,B,P2,5]	95
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	240	XKVP[M,B,P1,3]	720
XKVP[Du,B,P2,4]	144	XKVP[M,B,P1,4]	432
XKVP[Du,B,P2,5]	86	XKVP[M,B,P1,5]	259
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	300	XKVP[M,B,P2,3]	720

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,B,P1,4]	180	XKVP[M,B,P2,4]	432
XKVP[Due,B,P1,5]	108	XKVP[M,B,P2,5]	259
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	300	XKVP[Nu,B,P1,3]	252
XKVP[Due,B,P2,4]	180	XKVP[Nu,B,P1,4]	151
XKVP[Due,B,P2,5]	108	XKVP[Nu,B,P1,5]	90
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	288	XKVP[Nu,B,P2,3]	252
XKVP[E,B,P1,4]	173	XKVP[Nu,B,P2,4]	151
XKVP[E,B,P1,5]	103	XKVP[Nu,B,P2,5]	90
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	288	XKVP[S,B,P1,3]	300
XKVP[E,B,P2,4]	173	XKVP[S,B,P1,4]	180
XKVP[E,B,P2,5]	103	XKVP[S,B,P1,5]	108
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	360	XKVP[S,B,P2,3]	300
XKVP[FM,B,P1,4]	216	XKVP[S,B,P2,4]	180
XKVP[FM,B,P1,5]	129	XKVP[S,B,P2,5]	108
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,2]	11570	XVRP[B,Dis,P1,4]	4164
XVRP[B,Dis,P1,3]	6942	XVRP[B,Dis,P1,5]	2495
Unbefriedigte Nachfragen			
U[B,P1,4]	1	U[Du,P1,4]	1
U[B,P2,4]	1	U[Du,P2,4]	1
U[Br,P1,3]	1	U[E,P1,4]	1
U[Br,P1,4]	1	U[E,P2,4]	1
U[Br,P2,3]	1	U[FM,P1,4]	1
U[Br,P2,4]	1	U[FM,P2,4]	1
U[Do,P1,4]	1	U[L,P1,3]	1
U[Do,P2,4]	1	U[L,P2,3]	1
U[Dr,P1,3]	1	U[Nu,P1,4]	1
U[Dr,P2,3]	1	U[Nu,P2,4]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Rückgang von 40% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

Tabelle A.16: Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage-Wachstum von 30% pro Periode

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
1	Du	800
	Nu	840
	Ha	860
	L	880
	Dr	880
	Br	920
	E	960
	Do	960
	Due	1000
	S	1000
	FM	1200
	K	1740
	M	2400
	H	3000
	B	5700
2	Du	1040
	Nu	1092
	Ha	1118
	L	1144
	Dr	1144
	Br	1196
	E	1248
	Do	1248
	Due	1300
	S	1300
	FM	1560
	K	2262
	M	3120
	H	3900
	B	7410

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage-Wachstum von 30% pro Periode, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt <i>P1</i> bzw. <i>P2</i>
3	Du	1352
	Nu	1420
	Ha	1453
	L	1487
	Dr	1487
	Br	1555
	E	1622
	Do	1622
	Due	1690
	S	1690
	FM	2028
	K	2941
	M	4056
	H	5070
	B	9633
4	Du	1758
	Nu	1845
	Ha	1889
	L	1933
	Dr	1933
	Br	2021
	E	2109
	Do	2109
	Due	2197
	S	2197
	FM	2636
	K	3823
	M	5273
	H	6591
	B	12523

Nachgefragte Menge der Kunden über den Planungshorizont bei Nachfrage-Wachstum von 30% pro Periode, fortführend

Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt $P1$ bzw. $P2$
5	Du	2285
	Nu	2399
	Ha	2456
	L	2513
	Dr	2513
	Br	2628
	E	2742
	Do	2742
	Due	2856
	S	2856
	FM	3427
	K	4970
	M	6855
	H	8568
	B	16280

Lösung des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode			
Zielfunktionswert in GE		30.770.797,33	bestehend aus:
Diskontierte Strafkosten in GE		18.316,29	Diskontierte tatsächliche Kosten in GE 30.752.481,05
Variablen für Standorteröffnungen		Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YFGes[B,1]	1	...im Werk in Berlin	
YFGes[K,2]	1	CapFT[B,1]	463
YFGes[M,4]	1	CapFT[B,2]	295
YRGes[B,2]	1	CapFT[B,3]	383
YVGes[B,1]	1	CapFT[B,4]	498
YVGes[K,1]	1	CapFT[B,5]	500
YVGes[M,1]	1	...im Werk in Köln	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[K,2]	307
YF[B,1]	1	CapFT[K,3]	399
YF[B,2]	1	CapFT[K,4]	333
YF[B,3]	1	CapFT[K,5]	500
YF[B,4]	1	...im Werk in München	
YF[B,5]	1	CapFT[M,4]	187
YF[K,2]	1	CapFT[M,5]	322
YF[K,3]	1	...im VSZ in Berlin	
YF[K,4]	1	CapVT[B,1]	245
YF[K,5]	1	CapVT[B,2]	417
YF[M,4]	1	CapVT[B,3]	542
YF[M,5]	1	CapVT[B,4]	705
YR[B,2]	1	CapVT[B,5]	798
YR[B,3]	1	...im VSZ in Köln	
YR[B,4]	1	CapVT[K,1]	134
YR[B,5]	1	CapVT[K,2]	312
YV[B,1]	1	CapVT[K,3]	405
YV[B,2]	1	CapVT[K,4]	446
YV[B,3]	1	CapVT[K,5]	647
YV[B,4]	1	...im VSZ in München	
YV[B,5]	1	CapVT[M,1]	85
YV[K,1]	1	CapVT[M,2]	105
YV[K,2]	1	CapVT[M,3]	136
YV[K,3]	1	CapVT[M,4]	258
YV[K,4]	1	CapVT[M,5]	386
YV[K,5]	1	...im WZ	
YV[M,1]	1	CapRT[B,2]	162
YV[M,2]	1	CapRT[B,3]	211
YV[M,3]	1	CapRT[B,4]	274
YV[M,4]	1	CapRT[B,5]	300
YV[M,5]	1		

Abbildung A.31: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 9 (Eigene Darstellung)

Kapazitätsveränderungen			
CCapF[B,1]	463	CCapV[B,1]	245
CCapF[B,2]	-168	CCapV[B,2]	172
CCapF[B,3]	88	CCapV[B,3]	125
CCapF[B,4]	115	CCapV[B,4]	163
CCapF[B,5]	2	CCapV[B,5]	93
CCapF[K,2]	307	CCapV[K,1]	134
CCapF[K,3]	92	CCapV[K,2]	178
CCapF[K,4]	-66	CCapV[K,3]	93
CCapF[K,5]	167	CCapV[K,4]	41
CCapF[M,4]	187	CCapV[K,5]	201
CCapF[M,5]	135	CCapV[M,1]	85
CCapR[B,2]	162	CCapV[M,2]	20
CCapR[B,3]	49	CCapV[M,3]	31
CCapR[B,4]	63	CCapV[M,4]	122
CCapR[B,5]	26	CCapV[M,5]	128
Kapazitätsaufbau			
CCapFUP[B,1]	463	CCapVUP[B,2]	172
CCapFUP[B,3]	88	CCapVUP[B,3]	125
CCapFUP[B,4]	115	CCapVUP[B,4]	163
CCapFUP[B,5]	2	CCapVUP[B,5]	93
CCapFUP[K,2]	307	CCapVUP[K,1]	134
CCapFUP[K,3]	92	CCapVUP[K,2]	178
CCapFUP[K,5]	167	CCapVUP[K,3]	93
CCapFUP[M,4]	187	CCapVUP[K,4]	41
CCapFUP[M,5]	135	CCapVUP[K,5]	201
CCapRUP[B,2]	162	CCapVUP[M,1]	85
CCapRUP[B,3]	49	CCapVUP[M,2]	20
CCapRUP[B,4]	63	CCapVUP[M,3]	31
CCapRUP[B,5]	26	CCapVUP[M,4]	122
CCapVUP[B,1]	245	CCapVUP[M,5]	128
Kapazitätsabbau			
CCapFDOWN[B,2]	-168	CCapFDOWN[K,4]	-66
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[B,5]	1
YCCapFUP[K,2]	1	YCCapVUP[K,1]	1
YCCapFUP[K,3]	1	YCCapVUP[K,2]	1
YCCapFUP[K,5]	1	YCCapVUP[K,3]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 9 (Eigene Darstellung)

YCCapFUP[M,4]	1	YCCapVUP[K,4]	1
YCCapFUP[M,5]	1	YCCapVUP[K,5]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[M,1]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[M,2]	1
YCCapRUP[B,4]	1	YCCapVUP[M,3]	1
YCCapRUP[B,5]	1	YCCapVUP[M,4]	1
YCCapVUP[B,1]	1	YCCapVUP[M,5]	1
Transportmengen von Zulieferern zu Werken			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[K,M1,K,4]	16648
XCZF[B,M1,B,2]	9047	XCZF[K,M1,K,5]	24106
XCZF[B,M1,B,3]	11808	XCZF[K,M2,K,2]	30700
XCZF[B,M1,B,4]	15281	XCZF[K,M2,K,3]	39900
XCZF[B,M1,B,5]	17177	XCZF[K,M2,K,4]	33296
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[K,M2,K,5]	50000
XCZF[B,M2,B,2]	18126	XCZF[K,M3,K,2]	15334
XCZF[B,M2,B,3]	23568	XCZF[K,M3,K,3]	19974
XCZF[B,M2,B,4]	30562	XCZF[K,M3,K,4]	16648
XCZF[B,M2,B,5]	29000	XCZF[K,M3,K,5]	25894
XCZF[B,M3,B,1]	23140	XCZF[M,M1,M,4]	9312
XCZF[B,M3,B,2]	9079	XCZF[M,M1,M,5]	14643
XCZF[B,M3,B,3]	11760	XCZF[M,M2,M,4]	18624
XCZF[B,M3,B,4]	15281	XCZF[M,M2,M,5]	32180
XCZF[B,M3,B,5]	11823	XCZF[M,M3,M,4]	9312
XCZF[K,M1,K,2]	15366	XCZF[M,M3,M,5]	17537
XCZF[K,M1,K,3]	19926		
Bearbeitungsmengen an Komponenten in Werken			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[K,M1,4]	16648
XCF[B,M1,2]	14716	XCF[K,M1,5]	24106
XCF[B,M1,3]	19174	XCF[K,M2,2]	30700
XCF[B,M1,4]	24864	XCF[K,M2,3]	39900
XCF[B,M1,5]	27341	XCF[K,M2,4]	33296
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[K,M2,5]	50000
XCF[B,M2,2]	29464	XCF[K,M3,2]	15334
XCF[B,M2,3]	38300	XCF[K,M3,3]	19974
XCF[B,M2,4]	49728	XCF[K,M3,4]	16648
XCF[B,M2,5]	50000	XCF[K,M3,5]	25894
XCF[B,M3,1]	23140	XCF[M,M1,4]	9312
XCF[B,M3,2]	14748	XCF[M,M1,5]	14643
XCF[B,M3,3]	19126	XCF[M,M2,4]	18624
XCF[B,M3,4]	24864	XCF[M,M2,5]	32180
XCF[B,M3,5]	22659	XCF[M,M3,4]	9312

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 9 (Eigene Darstellung)

XCF[K,M1,2]	15366	XCF[M,M3,5]	17537
XCF[K,M1,3]	19926		
Bearbeitungsmengen an Produkten in Werken			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[K,P1,3]	19926
XPF[B,P1,2]	14716	XPF[K,P1,4]	16648
XPF[B,P1,3]	19174	XPF[K,P1,5]	24106
XPF[B,P1,4]	24864	XPF[K,P2,2]	15334
XPF[B,P1,5]	27341	XPF[K,P2,3]	19974
XPF[B,P2,1]	23140	XPF[K,P2,4]	16648
XPF[B,P2,2]	14748	XPF[K,P2,5]	25894
XPF[B,P2,3]	19126	XPF[M,P1,4]	9312
XPF[B,P2,4]	24864	XPF[M,P1,5]	14643
XPF[B,P2,5]	22659	XPF[M,P2,4]	9312
XPF[K,P1,2]	15366	XPF[M,P2,5]	17537
Transportmengen von Werken zu VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	12240	XPFV[K,K,P1,3]	15918
XPFV[B,B,P1,2]	14716	XPFV[K,K,P1,4]	16648
XPFV[B,B,P1,3]	19126	XPFV[K,K,P1,5]	24106
XPFV[B,B,P1,4]	24864	XPFV[K,K,P2,2]	12246
XPFV[B,B,P1,5]	27341	XPFV[K,K,P2,3]	15918
XPFV[B,B,P2,1]	12240	XPFV[K,K,P2,4]	16648
XPFV[B,B,P2,2]	14716	XPFV[K,K,P2,5]	25894
XPFV[B,B,P2,3]	19126	XPFV[K,M,P1,2]	3120
XPFV[B,B,P2,4]	24864	XPFV[K,M,P1,3]	4008
XPFV[B,B,P2,5]	22659	XPFV[K,M,P2,2]	3088
XPFV[B,K,P1,1]	6660	XPFV[K,M,P2,3]	4056
XPFV[B,K,P2,1]	6660	XPFV[M,B,P2,5]	2914
XPFV[B,M,P1,1]	4240	XPFV[M,M,P1,4]	9312
XPFV[B,M,P1,3]	48	XPFV[M,M,P1,5]	14643
XPFV[B,M,P2,1]	4240	XPFV[M,M,P2,4]	9312
XPFV[B,M,P2,2]	32	XPFV[M,M,P2,5]	14623
XPFV[K,K,P1,2]	12246		
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[K,Due,P1,1]	1000
XVKP[B,B,P1,2]	7410	XVKP[K,Due,P1,2]	1300
XVKP[B,B,P1,3]	9632	XVKP[K,Due,P1,3]	1690
XVKP[B,B,P1,4]	12522	XVKP[K,Due,P1,4]	2196
XVKP[B,B,P1,5]	16280	XVKP[K,Due,P1,5]	2856
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[K,Due,P2,1]	1000
XVKP[B,B,P2,2]	7410	XVKP[K,Due,P2,2]	1300
XVKP[B,B,P2,3]	9632	XVKP[K,Due,P2,3]	1690

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 9 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P2,4]	12522	XVKP[K,Due,P2,4]	2196
XVKP[B,B,P2,5]	16280	XVKP[K,Due,P2,5]	2856
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[K,E,P1,1]	960
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[K,E,P1,2]	1248
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[K,E,P1,3]	1622
XVKP[B,Dr,P1,2]	1144	XVKP[K,E,P1,4]	2108
XVKP[B,Dr,P1,3]	1486	XVKP[K,E,P1,5]	2742
XVKP[B,Dr,P1,4]	1932	XVKP[K,E,P2,1]	960
XVKP[B,Dr,P1,5]	2493	XVKP[K,E,P2,2]	1248
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[K,E,P2,3]	1622
XVKP[B,Dr,P2,2]	1144	XVKP[K,E,P2,4]	2108
XVKP[B,Dr,P2,3]	1486	XVKP[K,E,P2,5]	2742
XVKP[B,Dr,P2,4]	1932	XVKP[K,FM,P1,1]	1200
XVKP[B,Dr,P2,5]	2513	XVKP[K,FM,P1,2]	1560
XVKP[B,H,P1,1]	3000	XVKP[K,FM,P1,3]	2028
XVKP[B,H,P1,2]	3900	XVKP[K,FM,P1,4]	2636
XVKP[B,H,P1,3]	5070	XVKP[K,FM,P1,5]	3427
XVKP[B,H,P1,4]	6590	XVKP[K,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,H,P1,5]	8568	XVKP[K,FM,P2,2]	1560
XVKP[B,H,P2,1]	3000	XVKP[K,FM,P2,3]	2028
XVKP[B,H,P2,2]	3900	XVKP[K,FM,P2,4]	2636
XVKP[B,H,P2,3]	5070	XVKP[K,FM,P2,5]	3427
XVKP[B,H,P2,4]	6590	XVKP[K,H,P2,5]	1788
XVKP[B,H,P2,5]	6780	XVKP[K,Ha,P1,5]	2456
XVKP[B,Ha,P1,1]	860	XVKP[K,Ha,P2,5]	2456
XVKP[B,Ha,P1,2]	1118	XVKP[K,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Ha,P1,3]	1452	XVKP[K,K,P1,2]	2262
XVKP[B,Ha,P1,4]	1888	XVKP[K,K,P1,3]	2940
XVKP[B,Ha,P2,1]	860	XVKP[K,K,P1,4]	3822
XVKP[B,Ha,P2,2]	1118	XVKP[K,K,P1,5]	4970
XVKP[B,Ha,P2,3]	1452	XVKP[K,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Ha,P2,4]	1888	XVKP[K,K,P2,2]	2262
XVKP[B,L,P1,1]	880	XVKP[K,K,P2,3]	2940
XVKP[B,L,P1,2]	1144	XVKP[K,K,P2,4]	3822
XVKP[B,L,P1,3]	1486	XVKP[K,K,P2,5]	4970
XVKP[B,L,P1,4]	1932	XVKP[K,Nu,P1,2]	1092
XVKP[B,L,P2,1]	880	XVKP[K,Nu,P1,3]	1420
XVKP[B,L,P2,2]	1144	XVKP[K,Nu,P2,2]	1092
XVKP[B,L,P2,3]	1486	XVKP[K,Nu,P2,3]	1420
XVKP[B,L,P2,4]	1932	XVKP[K,S,P1,2]	1300
XVKP[K,Br,P1,2]	1196	XVKP[K,S,P1,3]	1690

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 9 (Eigene Darstellung)

XVKP[K,Br,P1,3]	1554	XVKP[K,S,P2,2]	1300
XVKP[K,Br,P1,4]	2020	XVKP[K,S,P2,3]	1690
XVKP[K,Br,P1,5]	2628	XVKP[M,Dr,P1,5]	20
XVKP[K,Br,P2,2]	1196	XVKP[M,L,P1,5]	2513
XVKP[K,Br,P2,3]	1554	XVKP[M,L,P2,5]	2513
XVKP[K,Br,P2,4]	2020	XVKP[M,M,P1,1]	2400
XVKP[K,Br,P2,5]	2628	XVKP[M,M,P1,2]	3120
XVKP[K,Do,P1,1]	960	XVKP[M,M,P1,3]	4056
XVKP[K,Do,P1,2]	1248	XVKP[M,M,P1,4]	5272
XVKP[K,Do,P1,3]	1622	XVKP[M,M,P1,5]	6855
XVKP[K,Do,P1,4]	2108	XVKP[M,M,P2,1]	2400
XVKP[K,Do,P1,5]	2742	XVKP[M,M,P2,2]	3120
XVKP[K,Do,P2,1]	960	XVKP[M,M,P2,3]	4056
XVKP[K,Do,P2,2]	1248	XVKP[M,M,P2,4]	5272
XVKP[K,Do,P2,3]	1622	XVKP[M,M,P2,5]	6855
XVKP[K,Do,P2,4]	2108	XVKP[M,Nu,P1,1]	840
XVKP[K,Do,P2,5]	2742	XVKP[M,Nu,P1,4]	1844
XVKP[K,Du,P1,1]	800	XVKP[M,Nu,P1,5]	2399
XVKP[K,Du,P1,2]	1040	XVKP[M,Nu,P2,1]	840
XVKP[K,Du,P1,3]	1352	XVKP[M,Nu,P2,4]	1844
XVKP[K,Du,P1,4]	1758	XVKP[M,Nu,P2,5]	2399
XVKP[K,Du,P1,5]	2285	XVKP[M,S,P1,1]	1000
XVKP[K,Du,P2,1]	800	XVKP[M,S,P1,4]	2196
XVKP[K,Du,P2,2]	1040	XVKP[M,S,P1,5]	2856
XVKP[K,Du,P2,3]	1352	XVKP[M,S,P2,1]	1000
XVKP[K,Du,P2,4]	1758	XVKP[M,S,P2,4]	2196
XVKP[K,Du,P2,5]	2285	XVKP[M,S,P2,5]	2856
Transportmenge von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,K,P2,5]	1318
XKVP[B,B,P1,3]	3705	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P1,4]	4816	XKVP[H,B,P1,3]	1950
XKVP[B,B,P1,5]	6261	XKVP[H,B,P1,4]	2535
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	3295
XKVP[B,B,P2,3]	3705	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	4816	XKVP[H,B,P2,3]	1950
XKVP[B,B,P2,5]	6261	XKVP[H,B,P2,4]	2535
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,5]	3295
XKVP[Br,B,P1,3]	598	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P1,4]	777	XKVP[Ha,B,P1,3]	559
XKVP[Br,B,P1,5]	1010	XKVP[Ha,B,P1,4]	726
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	944

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 9 (Eigene Darstellung)

XKVP[Br,B,P2,3]	598	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	777	XKVP[Ha,B,P2,3]	559
XKVP[Br,B,P2,5]	1010	XKVP[Ha,B,P2,4]	726
XKVP[Do,K,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	944
XKVP[Do,K,P1,3]	624	XKVP[K,K,P1,2]	870
XKVP[Do,K,P1,4]	811	XKVP[K,K,P1,3]	1131
XKVP[Do,K,P1,5]	1054	XKVP[K,K,P1,4]	1470
XKVP[Do,K,P2,2]	480	XKVP[K,K,P1,5]	1911
XKVP[Do,K,P2,3]	624	XKVP[K,K,P2,2]	870
XKVP[Do,K,P2,4]	811	XKVP[K,K,P2,3]	1131
XKVP[Do,K,P2,5]	1054	XKVP[K,K,P2,4]	1470
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,K,P2,5]	1911
XKVP[Dr,B,P1,3]	572	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P1,4]	743	XKVP[L,B,P1,3]	572
XKVP[Dr,B,P1,5]	966	XKVP[L,B,P1,4]	743
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,5]	966
XKVP[Dr,B,P2,3]	572	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	743	XKVP[L,B,P2,3]	572
XKVP[Dr,B,P2,5]	966	XKVP[L,B,P2,4]	743
XKVP[Du,K,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,5]	966
XKVP[Du,K,P1,3]	520	XKVP[M,M,P1,2]	1200
XKVP[Du,K,P1,4]	676	XKVP[M,M,P1,3]	1560
XKVP[Du,K,P1,5]	879	XKVP[M,M,P1,4]	2028
XKVP[Du,K,P2,2]	400	XKVP[M,M,P1,5]	2636
XKVP[Du,K,P2,3]	520	XKVP[M,M,P2,2]	1200
XKVP[Du,K,P2,4]	676	XKVP[M,M,P2,3]	1560
XKVP[Du,K,P2,5]	879	XKVP[M,M,P2,4]	2028
XKVP[Due,K,P1,2]	500	XKVP[M,M,P2,5]	2636
XKVP[Due,K,P1,3]	650	XKVP[Nu,B,P1,3]	24
XKVP[Due,K,P1,4]	845	XKVP[Nu,B,P1,5]	1
XKVP[Due,K,P1,5]	1098	XKVP[Nu,B,P2,5]	1
XKVP[Due,K,P2,2]	500	XKVP[Nu,M,P1,2]	420
XKVP[Due,K,P2,3]	650	XKVP[Nu,M,P1,3]	522
XKVP[Due,K,P2,4]	845	XKVP[Nu,M,P1,4]	710
XKVP[Due,K,P2,5]	1098	XKVP[Nu,M,P1,5]	921
XKVP[E,K,P1,2]	480	XKVP[Nu,M,P2,2]	420
XKVP[E,K,P1,3]	624	XKVP[Nu,M,P2,3]	546
XKVP[E,K,P1,4]	811	XKVP[Nu,M,P2,4]	710
XKVP[E,K,P1,5]	1054	XKVP[Nu,M,P2,5]	921
XKVP[E,K,P2,2]	480	XKVP[S,K,P1,4]	3
XKVP[E,K,P2,3]	624	XKVP[S,K,P2,4]	3

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 9 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,K,P2,4]	811	XKVP[S,M,P1,2]	500
XKVP[E,K,P2,5]	1054	XKVP[S,M,P1,3]	650
XKVP[FM,K,P1,2]	600	XKVP[S,M,P1,4]	842
XKVP[FM,K,P1,3]	780	XKVP[S,M,P1,5]	1098
XKVP[FM,K,P1,4]	1014	XKVP[S,M,P2,2]	500
XKVP[FM,K,P1,5]	1318	XKVP[S,M,P2,3]	650
XKVP[FM,K,P2,2]	600	XKVP[S,M,P2,4]	842
XKVP[FM,K,P2,3]	780	XKVP[S,M,P2,5]	1098
XKVP[FM,K,P2,4]	1014		
Transportmengen von VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	4284	XVRP[B,Dis,P1,2]	1836
XVRP[B,B,P1,3]	5586	XVRP[B,Dis,P1,3]	2394
XVRP[B,B,P1,4]	7238	XVRP[B,Dis,P1,4]	3102
XVRP[B,B,P1,5]	9410	XVRP[B,Dis,P1,5]	4033
XVRP[B,B,P2,2]	4284	XVRP[B,Dis,P2,2]	1836
XVRP[B,B,P2,3]	5569	XVRP[B,Dis,P2,3]	2387
XVRP[B,B,P2,4]	7238	XVRP[B,Dis,P2,4]	3102
XVRP[B,B,P2,5]	9410	XVRP[B,Dis,P2,5]	4033
XVRP[K,B,P1,2]	2331	XVRP[K,Dis,P1,2]	999
XVRP[K,B,P1,3]	3030	XVRP[K,Dis,P1,3]	1299
XVRP[K,B,P1,4]	3941	XVRP[K,Dis,P1,4]	1689
XVRP[K,B,P1,5]	5110	XVRP[K,Dis,P1,5]	2204
XVRP[K,B,P2,2]	2331	XVRP[K,Dis,P2,2]	999
XVRP[K,B,P2,3]	3030	XVRP[K,Dis,P2,3]	1299
XVRP[K,B,P2,4]	3941	XVRP[K,Dis,P2,4]	1689
XVRP[K,B,P2,5]	5119	XVRP[K,Dis,P2,5]	2195
XVRP[M,B,P1,2]	1484	XVRP[M,Dis,P1,2]	636
XVRP[M,B,P1,3]	1912	XVRP[M,Dis,P1,3]	820
XVRP[M,B,P1,4]	2506	XVRP[M,Dis,P1,4]	1074
XVRP[M,B,P2,2]	1484	XVRP[M,Dis,P1,5]	4655
XVRP[M,B,P2,3]	1929	XVRP[M,Dis,P2,2]	636
XVRP[M,B,P2,4]	2506	XVRP[M,Dis,P2,3]	827
XVRP[M,B,P2,5]	951	XVRP[M,Dis,P2,4]	1074
		XVRP[M,Dis,P2,5]	3704
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8099	XCR[B,M2,4]	27380
XCR[B,M1,3]	10523	XCR[B,M2,5]	30000
XCR[B,M1,4]	13690	XCR[B,M3,2]	8099
XCR[B,M1,5]	14520	XCR[B,M3,3]	10523
XCR[B,M2,2]	16198	XCR[B,M3,4]	13690
XCR[B,M2,3]	21046	XCR[B,M3,5]	15480

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 9 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8099	XPR[B,P2,2]	8099
XPR[B,P1,3]	10523	XPR[B,P2,3]	10523
XPR[B,P1,4]	13690	XPR[B,P2,4]	13690
XPR[B,P1,5]	14520	XPR[B,P2,5]	15480
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5669	XCRF[B,M1,Dis,2]	2430
XCRF[B,M1,B,3]	7366	XCRF[B,M1,Dis,3]	3157
XCRF[B,M1,B,4]	9583	XCRF[B,M1,Dis,4]	4107
XCRF[B,M1,B,5]	10164	XCRF[B,M1,Dis,5]	4356
XCRF[B,M2,B,2]	11338	XCRF[B,M2,Dis,2]	4860
XCRF[B,M2,B,3]	14732	XCRF[B,M2,Dis,3]	6314
XCRF[B,M2,B,4]	19166	XCRF[B,M2,Dis,4]	8214
XCRF[B,M2,B,5]	21000	XCRF[B,M2,Dis,5]	9000
XCRF[B,M3,B,2]	5669	XCRF[B,M3,Dis,2]	2430
XCRF[B,M3,B,3]	7366	XCRF[B,M3,Dis,3]	3157
XCRF[B,M3,B,4]	9583	XCRF[B,M3,Dis,4]	4107
XCRF[B,M3,B,5]	10836	XCRF[B,M3,Dis,5]	4644
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,3]	5	IPR[B,P2,3]	5
Unbefriedigte Nachfragen			
U[B,P1,3]	1	U[H,P2,4]	1
U[B,P1,4]	1	U[Ha,P1,3]	1
U[B,P2,3]	1	U[Ha,P1,4]	1
U[B,P2,4]	1	U[Ha,P2,3]	1
U[Br,P1,3]	1	U[Ha,P2,4]	1
U[Br,P1,4]	1	U[K,P1,3]	1
U[Br,P2,3]	1	U[K,P1,4]	1
U[Br,P2,4]	1	U[K,P2,3]	1
U[Do,P1,4]	1	U[K,P2,4]	1
U[Do,P2,4]	1	U[L,P1,3]	1
U[Dr,P1,3]	1	U[L,P1,4]	1
U[Dr,P1,4]	1	U[L,P2,3]	1
U[Dr,P2,3]	1	U[L,P2,4]	1
U[Dr,P2,4]	1	U[M,P1,4]	1
U[Due,P1,4]	1	U[M,P2,4]	1
U[Due,P2,4]	1	U[Nu,P1,4]	1
U[E,P1,4]	1	U[Nu,P2,4]	1
U[E,P2,4]	1	U[S,P1,4]	1
U[H,P1,4]	1	U[S,P2,4]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Nachfrage-Anstieg von 30% pro Periode unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 9 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCPR-Modells mit Zulieferer nur in München in erster Periode verfügbar, c ^c = 0,001 zwischen Werken und c ^U = 500 für jede unbefriedigte Nachfrage			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[FM,1]	1	18.444.291,13	
YFGes[M,1]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten... ...im Werk	
YRGes[FM,2]	1		
YVGes[FM,1]	1	CapFT[FM,1]	463
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[FM,2]	463
YF[FM,1]	1	CapFT[FM,3]	463
YF[FM,2]	1	CapFT[FM,4]	463
YF[FM,3]	1	CapFT[FM,5]	462
YF[FM,4]	1	CapFT[M,1]	500
YF[FM,5]	1	CapFT[M,2]	1
YF[M,1]	1	CapFT[M,3]	1
YF[M,2]	1	CapFT[M,4]	1
YF[M,3]	1	CapFT[M,5]	1
YF[M,4]	1	...im VSZ	
YF[M,5]	1	CapVT[FM,1]	463
YR[FM,2]	1	CapVT[FM,2]	695
YR[FM,3]	1	CapVT[FM,3]	695
YR[FM,4]	1	CapVT[FM,4]	695
YR[FM,5]	1	CapVT[FM,5]	695
YV[FM,1]	1	...im WZ	
YV[FM,2]	1	CapRT[FM,2]	162
YV[FM,3]	1	CapRT[FM,3]	300
YV[FM,4]	1	CapRT[FM,4]	300
YV[FM,5]	1	CapRT[FM,5]	162
Kapazitätsveränderungen			
CCapR[FM,2]	162	CCapF[FM,1]	463
CCapR[FM,3]	138	CCapF[FM,5]	-1
CCapR[FM,5]	-138	CCapF[M,1]	500
CCapV[FM,1]	463	CCapF[M,2]	-499
CCapV[FM,2]	232		
Kapazitätsaufbau			
CCapFUP[FM,1]	463	CCapRUP[FM,3]	138
CCapFUP[M,1]	500	CCapVUP[FM,1]	463
CCapRUP[FM,2]	162	CCapVUP[FM,2]	232

Abbildung A.32: Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001$ GE, $\forall f, i \in F : f \neq i$, $c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 7 (Eigene Darstellung)

Kapazitätsabbau			
CCapFDOWN[FM,5]	-1	CCapRDOWN[FM,5]	-138
CCapFDOWN[M,2]	-499		
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[FM,1]	1	YCCapRUP[FM,2]	1
YCCapFUP[FM,2]	1	YCCapRUP[FM,3]	1
YCCapFUP[FM,4]	1	YCCapVUP[FM,1]	1
YCCapFUP[M,1]	1	YCCapVUP[FM,2]	1
YCCapFUP[M,3]	1	YCCapVUP[FM,4]	1
YCCapFUP[M,4]	1	YCCapVUP[FM,5]	1
YCCapFUP[M,5]	1		
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[FM,M1,1]	23140	XCF[FM,M2,5]	46200
XCF[FM,M1,2]	23140	XCF[FM,M3,1]	23140
XCF[FM,M1,3]	23140	XCF[FM,M3,2]	23140
XCF[FM,M1,4]	23140	XCF[FM,M3,3]	23140
XCF[FM,M1,5]	23140	XCF[FM,M3,4]	23140
XCF[FM,M2,1]	46280	XCF[FM,M3,5]	23060
XCF[FM,M2,2]	46280	XCF[M,M2,5]	80
XCF[FM,M2,3]	46280	XCF[M,M3,5]	80
XCF[FM,M2,4]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[FM,P1,1]	23140	XPF[FM,P2,2]	23140
XPF[FM,P1,2]	23140	XPF[FM,P2,3]	23140
XPF[FM,P1,3]	23140	XPF[FM,P2,4]	23140
XPF[FM,P1,4]	23140	XPF[FM,P2,5]	23060
XPF[FM,P1,5]	23140	XPF[M,P2,5]	80
XPF[FM,P2,1]	23140		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[FM,FM,P1,1]	23140	XPFV[FM,FM,P2,2]	23140
XPFV[FM,FM,P1,2]	23140	XPFV[FM,FM,P2,3]	23140
XPFV[FM,FM,P1,3]	23140	XPFV[FM,FM,P2,4]	23140
XPFV[FM,FM,P1,4]	23140	XPFV[FM,FM,P2,5]	23060
XPFV[FM,FM,P1,5]	23140	XPFV[M,FM,P2,5]	80
XPFV[FM,FM,P2,1]	23140		

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001 \text{ GE}$, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500 \text{ GE}$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 7 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[M,M1,FM,1]	23140	XCZF[M,M2,M,1]	110234
XCZF[M,M1,M,1]	69883	XCZF[M,M3,FM,1]	23140
XCZF[M,M2,FM,1]	75812	XCZF[M,M3,M,1]	69883
Lagermengen an Komponenten im Werk			
ICF[FM,M1,2]	46743	ICF[M,M1,1]	69883
ICF[FM,M1,3]	23603	ICF[M,M2,1]	92234
ICF[FM,M1,4]	463	ICF[M,M2,2]	420
ICF[FM,M2,1]	47532	ICF[M,M2,3]	420
ICF[FM,M2,2]	93066	ICF[M,M2,4]	420
ICF[FM,M2,3]	48463	ICF[M,M3,1]	69883
ICF[FM,M2,4]	13523	ICF[M,M3,2]	80
ICF[FM,M3,2]	46663	ICF[M,M3,3]	80
ICF[FM,M3,3]	25200	ICF[M,M3,4]	80
ICF[FM,M3,4]	13400		
Transportmengen zwischen Werken			
EXICF[M1,2,M,FM]	69883	EXICF[M2,5,M,FM]	340
EXICF[M2,1,M,FM]	18000	EXICF[M3,2,M,FM]	69803
EXICF[M2,2,M,FM]	91814		
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[FM,B,P1,1]	5700	XVKP[FM,FM,P2,1]	1200
XVKP[FM,B,P1,2]	5700	XVKP[FM,FM,P2,2]	1200
XVKP[FM,B,P1,3]	5700	XVKP[FM,FM,P2,3]	1200
XVKP[FM,B,P1,4]	5700	XVKP[FM,FM,P2,4]	1200
XVKP[FM,B,P1,5]	5700	XVKP[FM,FM,P2,5]	1200
XVKP[FM,B,P2,1]	5700	XVKP[FM,H,P1,1]	3000
XVKP[FM,B,P2,2]	5700	XVKP[FM,H,P1,2]	3000
XVKP[FM,B,P2,3]	5700	XVKP[FM,H,P1,3]	3000
XVKP[FM,B,P2,4]	5700	XVKP[FM,H,P1,4]	3000
XVKP[FM,B,P2,5]	5700	XVKP[FM,H,P1,5]	3000
XVKP[FM,Br,P1,1]	920	XVKP[FM,H,P2,1]	3000
XVKP[FM,Br,P1,2]	920	XVKP[FM,H,P2,2]	3000
XVKP[FM,Br,P1,3]	920	XVKP[FM,H,P2,3]	3000
XVKP[FM,Br,P1,4]	920	XVKP[FM,H,P2,4]	3000
XVKP[FM,Br,P1,5]	920	XVKP[FM,H,P2,5]	3000
XVKP[FM,Br,P2,1]	920	XVKP[FM,Ha,P1,1]	860
XVKP[FM,Br,P2,2]	920	XVKP[FM,Ha,P1,2]	860
XVKP[FM,Br,P2,3]	920	XVKP[FM,Ha,P1,3]	860

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001$ GE, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[FM,Br,P2,4]	920	XVKP[FM,Ha,P1,4]	860
XVKP[FM,Br,P2,5]	920	XVKP[FM,Ha,P1,5]	860
XVKP[FM,Do,P1,1]	960	XVKP[FM,Ha,P2,1]	860
XVKP[FM,Do,P1,2]	960	XVKP[FM,Ha,P2,2]	860
XVKP[FM,Do,P1,3]	960	XVKP[FM,Ha,P2,3]	860
XVKP[FM,Do,P1,4]	960	XVKP[FM,Ha,P2,4]	860
XVKP[FM,Do,P1,5]	960	XVKP[FM,Ha,P2,5]	860
XVKP[FM,Do,P2,1]	960	XVKP[FM,K,P1,1]	1740
XVKP[FM,Do,P2,2]	960	XVKP[FM,K,P1,2]	1740
XVKP[FM,Do,P2,3]	960	XVKP[FM,K,P1,3]	1740
XVKP[FM,Do,P2,4]	960	XVKP[FM,K,P1,4]	1740
XVKP[FM,Do,P2,5]	960	XVKP[FM,K,P1,5]	1740
XVKP[FM,Dr,P1,1]	880	XVKP[FM,K,P2,1]	1740
XVKP[FM,Dr,P1,2]	880	XVKP[FM,K,P2,2]	1740
XVKP[FM,Dr,P1,3]	880	XVKP[FM,K,P2,3]	1740
XVKP[FM,Dr,P1,4]	880	XVKP[FM,K,P2,4]	1740
XVKP[FM,Dr,P1,5]	880	XVKP[FM,K,P2,5]	1740
XVKP[FM,Dr,P2,1]	880	XVKP[FM,L,P1,1]	880
XVKP[FM,Dr,P2,2]	880	XVKP[FM,L,P1,2]	880
XVKP[FM,Dr,P2,3]	880	XVKP[FM,L,P1,3]	880
XVKP[FM,Dr,P2,4]	880	XVKP[FM,L,P1,4]	880
XVKP[FM,Dr,P2,5]	880	XVKP[FM,L,P1,5]	880
XVKP[FM,Du,P1,1]	800	XVKP[FM,L,P2,1]	880
XVKP[FM,Du,P1,2]	800	XVKP[FM,L,P2,2]	880
XVKP[FM,Du,P1,3]	800	XVKP[FM,L,P2,3]	880
XVKP[FM,Du,P1,4]	800	XVKP[FM,L,P2,4]	880
XVKP[FM,Du,P1,5]	800	XVKP[FM,L,P2,5]	880
XVKP[FM,Du,P2,1]	800	XVKP[FM,M,P1,1]	2400
XVKP[FM,Du,P2,2]	800	XVKP[FM,M,P1,2]	2400
XVKP[FM,Du,P2,3]	800	XVKP[FM,M,P1,3]	2400
XVKP[FM,Du,P2,4]	800	XVKP[FM,M,P1,4]	2400
XVKP[FM,Du,P2,5]	800	XVKP[FM,M,P1,5]	2400
XVKP[FM,Due,P1,1]	1000	XVKP[FM,M,P2,1]	2400
XVKP[FM,Due,P1,2]	1000	XVKP[FM,M,P2,2]	2400
XVKP[FM,Due,P1,3]	1000	XVKP[FM,M,P2,3]	2400
XVKP[FM,Due,P1,4]	1000	XVKP[FM,M,P2,4]	2400
XVKP[FM,Due,P1,5]	1000	XVKP[FM,M,P2,5]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001$ GE, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 7 (Eigene Darstellung)

XVKP[FM,Due,P2,1]	1000	XVKP[FM,Nu,P1,1]	840
XVKP[FM,Due,P2,2]	1000	XVKP[FM,Nu,P1,2]	840
XVKP[FM,Due,P2,3]	1000	XVKP[FM,Nu,P1,3]	840
XVKP[FM,Due,P2,4]	1000	XVKP[FM,Nu,P1,4]	840
XVKP[FM,Due,P2,5]	1000	XVKP[FM,Nu,P1,5]	840
XVKP[FM,E,P1,1]	960	XVKP[FM,Nu,P2,1]	840
XVKP[FM,E,P1,2]	960	XVKP[FM,Nu,P2,2]	840
XVKP[FM,E,P1,3]	960	XVKP[FM,Nu,P2,3]	840
XVKP[FM,E,P1,4]	960	XVKP[FM,Nu,P2,4]	840
XVKP[FM,E,P1,5]	960	XVKP[FM,Nu,P2,5]	840
XVKP[FM,E,P2,1]	960	XVKP[FM,S,P1,1]	1000
XVKP[FM,E,P2,2]	960	XVKP[FM,S,P1,2]	1000
XVKP[FM,E,P2,3]	960	XVKP[FM,S,P1,3]	1000
XVKP[FM,E,P2,4]	960	XVKP[FM,S,P1,4]	1000
XVKP[FM,E,P2,5]	960	XVKP[FM,S,P1,5]	1000
XVKP[FM,FM,P1,1]	1200	XVKP[FM,S,P2,1]	1000
XVKP[FM,FM,P1,2]	1200	XVKP[FM,S,P2,2]	1000
XVKP[FM,FM,P1,3]	1200	XVKP[FM,S,P2,3]	1000
XVKP[FM,FM,P1,4]	1200	XVKP[FM,S,P2,4]	1000
XVKP[FM,FM,P1,5]	1200	XVKP[FM,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,FM,P1,2]	2850	XKVP[FM,FM,P2,2]	600
XKVP[B,FM,P1,3]	2850	XKVP[FM,FM,P2,3]	600
XKVP[B,FM,P1,4]	2850	XKVP[FM,FM,P2,4]	600
XKVP[B,FM,P1,5]	2850	XKVP[FM,FM,P2,5]	600
XKVP[B,FM,P2,2]	2850	XKVP[H,FM,P1,2]	1500
XKVP[B,FM,P2,3]	2850	XKVP[H,FM,P1,3]	1500
XKVP[B,FM,P2,4]	2850	XKVP[H,FM,P1,4]	1500
XKVP[B,FM,P2,5]	2850	XKVP[H,FM,P1,5]	1500
XKVP[Br,FM,P1,2]	460	XKVP[H,FM,P2,2]	1500
XKVP[Br,FM,P1,3]	460	XKVP[H,FM,P2,3]	1500
XKVP[Br,FM,P1,4]	460	XKVP[H,FM,P2,4]	1500
XKVP[Br,FM,P1,5]	460	XKVP[H,FM,P2,5]	1500
XKVP[Br,FM,P2,2]	460	XKVP[Ha,FM,P1,2]	430
XKVP[Br,FM,P2,3]	460	XKVP[Ha,FM,P1,3]	430
XKVP[Br,FM,P2,4]	460	XKVP[Ha,FM,P1,4]	430
XKVP[Br,FM,P2,5]	460	XKVP[Ha,FM,P1,5]	430

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001$ GE, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,FM,P1,2]	480	XKVP[Ha,FM,P2,2]	430
XKVP[Do,FM,P1,3]	480	XKVP[Ha,FM,P2,3]	430
XKVP[Do,FM,P1,4]	480	XKVP[Ha,FM,P2,4]	430
XKVP[Do,FM,P1,5]	480	XKVP[Ha,FM,P2,5]	430
XKVP[Do,FM,P2,2]	480	XKVP[K,FM,P1,2]	870
XKVP[Do,FM,P2,3]	480	XKVP[K,FM,P1,3]	870
XKVP[Do,FM,P2,4]	480	XKVP[K,FM,P1,4]	870
XKVP[Do,FM,P2,5]	480	XKVP[K,FM,P1,5]	870
XKVP[Dr,FM,P1,2]	440	XKVP[K,FM,P2,2]	870
XKVP[Dr,FM,P1,3]	440	XKVP[K,FM,P2,3]	870
XKVP[Dr,FM,P1,4]	440	XKVP[K,FM,P2,4]	870
XKVP[Dr,FM,P1,5]	440	XKVP[K,FM,P2,5]	870
XKVP[Dr,FM,P2,2]	440	XKVP[L,FM,P1,2]	440
XKVP[Dr,FM,P2,3]	440	XKVP[L,FM,P1,3]	440
XKVP[Dr,FM,P2,4]	440	XKVP[L,FM,P1,4]	440
XKVP[Dr,FM,P2,5]	440	XKVP[L,FM,P1,5]	440
XKVP[Du,FM,P1,2]	400	XKVP[L,FM,P2,2]	440
XKVP[Du,FM,P1,3]	400	XKVP[L,FM,P2,3]	440
XKVP[Du,FM,P1,4]	400	XKVP[L,FM,P2,4]	440
XKVP[Du,FM,P1,5]	400	XKVP[L,FM,P2,5]	440
XKVP[Du,FM,P2,2]	400	XKVP[M,FM,P1,2]	1200
XKVP[Du,FM,P2,3]	400	XKVP[M,FM,P1,3]	1200
XKVP[Du,FM,P2,4]	400	XKVP[M,FM,P1,4]	1200
XKVP[Du,FM,P2,5]	400	XKVP[M,FM,P1,5]	1200
XKVP[Due,FM,P1,2]	500	XKVP[M,FM,P2,2]	1200
XKVP[Due,FM,P1,3]	500	XKVP[M,FM,P2,3]	1200
XKVP[Due,FM,P1,4]	500	XKVP[M,FM,P2,4]	1200
XKVP[Due,FM,P1,5]	500	XKVP[M,FM,P2,5]	1200
XKVP[Due,FM,P2,2]	500	XKVP[Nu,FM,P1,2]	420
XKVP[Due,FM,P2,3]	500	XKVP[Nu,FM,P1,3]	420
XKVP[Due,FM,P2,4]	500	XKVP[Nu,FM,P1,4]	420
XKVP[Due,FM,P2,5]	500	XKVP[Nu,FM,P1,5]	420
XKVP[E,FM,P1,2]	480	XKVP[Nu,FM,P2,2]	420
XKVP[E,FM,P1,3]	480	XKVP[Nu,FM,P2,3]	420
XKVP[E,FM,P1,4]	480	XKVP[Nu,FM,P2,4]	420
XKVP[E,FM,P1,5]	480	XKVP[Nu,FM,P2,5]	420
XKVP[E,FM,P2,2]	480	XKVP[S,FM,P1,2]	500

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001$ GE, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 7 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,FM,P2,3]	480	XKVP[S,FM,P1,3]	500
XKVP[E,FM,P2,4]	480	XKVP[S,FM,P1,4]	500
XKVP[E,FM,P2,5]	480	XKVP[S,FM,P1,5]	500
XKVP[FM,FM,P1,2]	600	XKVP[S,FM,P2,2]	500
XKVP[FM,FM,P1,3]	600	XKVP[S,FM,P2,3]	500
XKVP[FM,FM,P1,4]	600	XKVP[S,FM,P2,4]	500
XKVP[FM,FM,P1,5]	600	XKVP[S,FM,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ...			
... zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[FM,FM,P1,2]	8099	XVRP[FM,Dis,P1,2]	3471
XVRP[FM,FM,P1,3]	8099	XVRP[FM,Dis,P1,3]	3471
XVRP[FM,FM,P1,4]	8099	XVRP[FM,Dis,P1,4]	3471
XVRP[FM,FM,P1,5]	8099	XVRP[FM,Dis,P1,5]	3471
XVRP[FM,FM,P2,2]	8099	XVRP[FM,Dis,P2,2]	3471
XVRP[FM,FM,P2,3]	8099	XVRP[FM,Dis,P2,3]	3471
XVRP[FM,FM,P2,4]	8099	XVRP[FM,Dis,P2,4]	3471
XVRP[FM,FM,P2,5]	8099	XVRP[FM,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[FM,M1,5]	32396	XCR[FM,M3,3]	2396
XCR[FM,M2,3]	2396	XCR[FM,M3,4]	16200
XCR[FM,M2,4]	16200	XCR[FM,M3,5]	13800
XCR[FM,M2,5]	46196		
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[FM,P1,5]	32396	XPR[FM,P2,4]	16200
XPR[FM,P2,3]	2396	XPR[FM,P2,5]	13800
Transportmengen vom WZ...			
... zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[FM,M1,FM,5]	22677	XCRF[FM,M1,Dis,5]	9719
XCRF[FM,M2,FM,3]	1677	XCRF[FM,M2,Dis,3]	719
XCRF[FM,M2,FM,4]	11340	XCRF[FM,M2,Dis,4]	4860
XCRF[FM,M2,FM,5]	32337	XCRF[FM,M2,Dis,5]	13859
XCRF[FM,M3,FM,3]	1677	XCRF[FM,M3,Dis,3]	719
XCRF[FM,M3,FM,4]	11340	XCRF[FM,M3,Dis,4]	4860
XCRF[FM,M3,FM,5]	9660	XCRF[FM,M3,Dis,5]	4140
Lagermengen im WZ			
IPR[FM,P1,2]	8099	IPR[FM,P2,2]	8099
IPR[FM,P1,3]	16198	IPR[FM,P2,3]	13802
IPR[FM,P1,4]	24297	IPR[FM,P2,4]	5701

Gesamtkosten und Werte des FLCPR-Modells für Zulieferer nur in erster Periode in München verfügbar und $c_{fi}^c = 0,001$ GE, $\forall f, i \in F : f \neq i, c \in C$, unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 7 (Eigene Darstellung)

A.5 Lösungen des FLCAPPR-Modells

Lösung des FLCAPPR-Modells für $c^U = 84$ für jedes Produkt und jeden Kunden			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			18.867.811,01
Unbefriedigte Nachfrage			
U[B,P1,1]	5700	U[FM,P2,1]	1200
U[B,P1,2]	5700	U[FM,P2,2]	1200
U[B,P1,3]	5700	U[FM,P2,3]	1200
U[B,P1,4]	5700	U[FM,P2,4]	1200
U[B,P1,5]	5700	U[FM,P2,5]	1200
U[B,P2,1]	5700	U[H,P1,1]	3000
U[B,P2,2]	5700	U[H,P1,2]	3000
U[B,P2,3]	5700	U[H,P1,3]	3000
U[B,P2,4]	5700	U[H,P1,4]	3000
U[B,P2,5]	5700	U[H,P1,5]	3000
U[Br,P1,1]	920	U[H,P2,1]	3000
U[Br,P1,2]	920	U[H,P2,2]	3000
U[Br,P1,3]	920	U[H,P2,3]	3000
U[Br,P1,4]	920	U[H,P2,4]	3000
U[Br,P1,5]	920	U[H,P2,5]	3000
U[Br,P2,1]	920	U[Ha,P1,1]	860
U[Br,P2,2]	920	U[Ha,P1,2]	860
U[Br,P2,3]	920	U[Ha,P1,3]	860
U[Br,P2,4]	920	U[Ha,P1,4]	860
U[Br,P2,5]	920	U[Ha,P1,5]	860
U[Do,P1,1]	960	U[Ha,P2,1]	860
U[Do,P1,2]	960	U[Ha,P2,2]	860
U[Do,P1,3]	960	U[Ha,P2,3]	860
U[Do,P1,4]	960	U[Ha,P2,4]	860
U[Do,P1,5]	960	U[Ha,P2,5]	860
U[Do,P2,1]	960	U[K,P1,1]	1740
U[Do,P2,2]	960	U[K,P1,2]	1740
U[Do,P2,3]	960	U[K,P1,3]	1740
U[Do,P2,4]	960	U[K,P1,4]	1740
U[Do,P2,5]	960	U[K,P1,5]	1740
U[Dr,P1,1]	880	U[K,P2,1]	1740
U[Dr,P1,2]	880	U[K,P2,2]	1740
U[Dr,P1,3]	880	U[K,P2,3]	1740
U[Dr,P1,4]	880	U[K,P2,4]	1740
U[Dr,P1,5]	880	U[K,P2,5]	1740
U[Dr,P2,1]	880	U[L,P1,1]	880

Abbildung A.33: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 84$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

U[Dr,P2,2]	880	U[L,P1,2]	880
U[Dr,P2,3]	880	U[L,P1,3]	880
U[Dr,P2,4]	880	U[L,P1,4]	880
U[Dr,P2,5]	880	U[L,P1,5]	880
U[Du,P1,1]	800	U[L,P2,1]	880
U[Du,P1,2]	800	U[L,P2,2]	880
U[Du,P1,3]	800	U[L,P2,3]	880
U[Du,P1,4]	800	U[L,P2,4]	880
U[Du,P1,5]	800	U[L,P2,5]	880
U[Du,P2,1]	800	U[M,P1,1]	2400
U[Du,P2,2]	800	U[M,P1,2]	2400
U[Du,P2,3]	800	U[M,P1,3]	2400
U[Du,P2,4]	800	U[M,P1,4]	2400
U[Du,P2,5]	800	U[M,P1,5]	2400
U[Due,P1,1]	1000	U[M,P2,1]	2400
U[Due,P1,2]	1000	U[M,P2,2]	2400
U[Due,P1,3]	1000	U[M,P2,3]	2400
U[Due,P1,4]	1000	U[M,P2,4]	2400
U[Due,P1,5]	1000	U[M,P2,5]	2400
U[Due,P2,1]	1000	U[Nu,P1,1]	840
U[Due,P2,2]	1000	U[Nu,P1,2]	840
U[Due,P2,3]	1000	U[Nu,P1,3]	840
U[Due,P2,4]	1000	U[Nu,P1,4]	840
U[Due,P2,5]	1000	U[Nu,P1,5]	840
U[E,P1,1]	960	U[Nu,P2,1]	840
U[E,P1,2]	960	U[Nu,P2,2]	840
U[E,P1,3]	960	U[Nu,P2,3]	840
U[E,P1,4]	960	U[Nu,P2,4]	840
U[E,P1,5]	960	U[Nu,P2,5]	840
U[E,P2,1]	960	U[S,P1,1]	1000
U[E,P2,2]	960	U[S,P1,2]	1000
U[E,P2,3]	960	U[S,P1,3]	1000
U[E,P2,4]	960	U[S,P1,4]	1000
U[E,P2,5]	960	U[S,P1,5]	1000
U[FM,P1,1]	1200	U[S,P2,1]	1000
U[FM,P1,2]	1200	U[S,P2,2]	1000
U[FM,P1,3]	1200	U[S,P2,3]	1000
U[FM,P1,4]	1200	U[S,P2,4]	1000
U[FM,P1,5]	1200	U[S,P2,5]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 84, \forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	19.019.293,84	
YVGes[B,1]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
Variablen für Offen-sein von Standorten		...im Werk	
YF[B,1]	1	CapFT[B,1]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,5]	1	CapFT[B,5]	463
YV[B,1]	1	...im VSZ	
YV[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YV[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YV[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
Kapazitätsveränderungen		CapVT[B,5]	695
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapV[B,1]	463	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[B,2]	1
Personalbestand...			
...im Werk		...im VSZ	
LCapFT[B,1]	29	LCapVT[B,1]	15
LCapFT[B,2]	29	LCapVT[B,2]	22
LCapFT[B,3]	29	LCapVT[B,3]	22
LCapFT[B,4]	29	LCapVT[B,4]	22
LCapFT[B,5]	29	LCapVT[B,5]	22
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	46280
XCZF[B,M1,B,2]	23140	XCZF[B,M2,B,5]	46280
XCZF[B,M1,B,3]	23140	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	23140	XCZF[B,M3,B,2]	23140
XCZF[B,M1,B,5]	23140	XCZF[B,M3,B,3]	23140
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	23140
XCZF[B,M2,B,2]	46280	XCZF[B,M3,B,5]	23140
XCZF[B,M2,B,3]	46280		

Abbildung A.34: Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 85, \forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 5 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk		Transportmengen vom Werk zum VSZ	
XPF[B,P1,1]	23140	XPFFV[B,B,P1,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPFFV[B,B,P1,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPFFV[B,B,P1,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPFFV[B,B,P1,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPFFV[B,B,P1,5]	23140
XPF[B,P2,1]	23140	XPFFV[B,B,P2,1]	23140
XPF[B,P2,2]	23140	XPFFV[B,B,P2,2]	23140
XPF[B,P2,3]	23140	XPFFV[B,B,P2,3]	23140
XPF[B,P2,4]	23140	XPFFV[B,B,P2,4]	23140
XPF[B,P2,5]	23140	XPFFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 85$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 85$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 85$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 5 (Eigene Darstellung)

XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,2]	11570	XVRP[B,Dis,P2,2]	11570
XVRP[B,Dis,P1,3]	11570	XVRP[B,Dis,P2,3]	11570
XVRP[B,Dis,P1,4]	11570	XVRP[B,Dis,P2,4]	11570
XVRP[B,Dis,P1,5]	11570	XVRP[B,Dis,P2,5]	11570

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPR-Modells unter $c_{kp}^U = 85$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 5 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ für alle WZ			
Variablen für Standortöffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	18.980.700,04	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	695
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	162
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	162
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	162
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapRUP[B,2]	162
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapRUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapRUP[B,5]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,5]	1
Personalbestand...			
...im Werk		...im VSZ	
LCapFT[B,1]	29	LCapVT[B,1]	15
LCapFT[B,2]	29	LCapVT[B,2]	22
LCapFT[B,3]	29	LCapVT[B,3]	22
LCapFT[B,4]	29	LCapVT[B,4]	22
LCapFT[B,5]	29	LCapVT[B,5]	22
...im WZ			
LCapRT[B,2]	40	LCapRT[B,4]	40
LCapRT[B,3]	40	LCapRT[B,5]	41

Abbildung A.35: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	35010
XCZF[B,M1,B,2]	17477	XCZF[B,M2,B,5]	34736
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17671	XCZF[B,M3,B,2]	17533
XCZF[B,M1,B,5]	17265	XCZF[B,M3,B,3]	17540
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	17340
XCZF[B,M2,B,2]	35010	XCZF[B,M3,B,5]	17471
XCZF[B,M2,B,3]	35010		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8099	XVRP[B,Dis,P1,2]	3471
XVRP[B,B,P1,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1,3]	3471
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P1,5]	8099	XVRP[B,Dis,P1,5]	3471
XVRP[B,B,P2,2]	8099	XVRP[B,Dis,P2,2]	3471
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8099	XVRP[B,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8090	XCR[B,M2,4]	16100
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M2,5]	16492
XCR[B,M1,4]	7813	XCR[B,M3,2]	8010
XCR[B,M1,5]	8393	XCR[B,M3,3]	8000
XCR[B,M2,2]	16100	XCR[B,M3,4]	8287
XCR[B,M2,3]	16100	XCR[B,M3,5]	8099
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8090	XPR[B,P2,2]	8010
XPR[B,P1,3]	8100	XPR[B,P2,3]	8000
XPR[B,P1,4]	7813	XPR[B,P2,4]	8287
XPR[B,P1,5]	8393	XPR[B,P2,5]	8099
Transportmengen vom WZ...			
...zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5663	XCRF[B,M1,Dis,2]	2427
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5469	XCRF[B,M1,Dis,4]	2344
XCRF[B,M1,B,5]	5875	XCRF[B,M1,Dis,5]	2518
XCRF[B,M2,B,2]	11270	XCRF[B,M2,Dis,2]	4830
XCRF[B,M2,B,3]	11270	XCRF[B,M2,Dis,3]	4830
XCRF[B,M2,B,4]	11270	XCRF[B,M2,Dis,4]	4830
XCRF[B,M2,B,5]	11544	XCRF[B,M2,Dis,5]	4948
XCRF[B,M3,B,2]	5607	XCRF[B,M3,Dis,2]	2403
XCRF[B,M3,B,3]	5600	XCRF[B,M3,Dis,3]	2400
XCRF[B,M3,B,4]	5800	XCRF[B,M3,Dis,4]	2487
XCRF[B,M3,B,5]	5669	XCRF[B,M3,Dis,5]	2430
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	9	IPR[B,P2,2]	89
IPR[B,P1,3]	8	IPR[B,P2,3]	188
IPR[B,P1,4]	294		

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $c_r = -28$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0$ für alle WZ			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	18.729.611,42	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	695
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	162
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	162
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	162
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapRUP[B,2]	162
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,1]	463
		CCapVUP[B,2]	232
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapRUP[B,4]	1	YCCapVUP[B,4]	1
Personalbestand...			
...im Werk		...im VSZ	
LCapFT[B,1]	29	LCapVT[B,1]	15
LCapFT[B,2]	29	LCapVT[B,2]	22
LCapFT[B,3]	29	LCapVT[B,3]	22
LCapFT[B,4]	29	LCapVT[B,4]	22
LCapFT[B,5]	29	LCapVT[B,5]	22
...im WZ			
LCapRT[B,2]	621	LCapRT[B,4]	621
LCapRT[B,3]	621	LCapRT[B,5]	621

Abbildung A.36: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	34943
XCZF[B,M1,B,2]	17472	XCZF[B,M2,B,5]	34940
XCZF[B,M1,B,3]	17470	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17472	XCZF[B,M3,B,2]	17472
XCZF[B,M1,B,5]	17470	XCZF[B,M3,B,3]	17470
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	17472
XCZF[B,M2,B,2]	34943	XCZF[B,M3,B,5]	17470
XCZF[B,M2,B,3]	34940		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPFV[B,B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPFV[B,B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P2,2]	23140
XPFV[B,B,P1,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPFV[B,B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPFV[B,B,P1,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPF[B,P1,1]	23140	XPF[B,P2,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPF[B,P2,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23140	XPF[B,P2,3]	23140
XPF[B,P1,4]	23140	XPF[B,P2,4]	23140
XPF[B,P1,5]	23140	XPF[B,P2,5]	23140
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8099	XVRP[B,Dis,P1,2]	3471
XVRP[B,B,P1,3]	8099	XVRP[B,Dis,P1,3]	3471
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P1,5]	8099	XVRP[B,Dis,P1,5]	3471
XVRP[B,B,P2,2]	8099	XVRP[B,Dis,P2,2]	3471
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8099	XVRP[B,Dis,P2,5]	3471
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8098	XCR[B,M2,4]	16196
XCR[B,M1,3]	8100	XCR[B,M2,5]	16200
XCR[B,M1,4]	8098	XCR[B,M3,2]	8098
XCR[B,M1,5]	8100	XCR[B,M3,3]	8100
XCR[B,M2,2]	16196	XCR[B,M3,4]	8098
XCR[B,M2,3]	16200	XCR[B,M3,5]	8100
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8098	XPR[B,P2,2]	8098
XPR[B,P1,3]	8100	XPR[B,P2,3]	8100
XPR[B,P1,4]	8098	XPR[B,P2,4]	8098
XPR[B,P1,5]	8100	XPR[B,P2,5]	8100
Transportmengen vom WZ...			
...zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5668	XCRF[B,M1,Dis,2]	2430
XCRF[B,M1,B,3]	5670	XCRF[B,M1,Dis,3]	2430
XCRF[B,M1,B,4]	5668	XCRF[B,M1,Dis,4]	2430
XCRF[B,M1,B,5]	5670	XCRF[B,M1,Dis,5]	2430
XCRF[B,M2,B,2]	11337	XCRF[B,M2,Dis,2]	4859
XCRF[B,M2,B,3]	11340	XCRF[B,M2,Dis,3]	4860
XCRF[B,M2,B,4]	11337	XCRF[B,M2,Dis,4]	4859
XCRF[B,M2,B,5]	11340	XCRF[B,M2,Dis,5]	4860
XCRF[B,M3,B,2]	5668	XCRF[B,M3,Dis,2]	2430
XCRF[B,M3,B,3]	5670	XCRF[B,M3,Dis,3]	2430
XCRF[B,M3,B,4]	5668	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
XCRF[B,M3,B,5]	5670	XCRF[B,M3,Dis,5]	2430
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,2]	1	IPR[B,P2,2]	1
IPR[B,P1,4]	1	IPR[B,P2,4]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_r = 0, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden für jede Komponente und $c_r = -43$ GE für jede wiederaufbereitete Komponente			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	18.980.367,55	
YRGes[B,2]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,5]	1	...im VSZ	
YR[B,2]	1	CapVT[B,1]	463
YR[B,3]	1	CapVT[B,2]	695
YR[B,4]	1	CapVT[B,3]	695
YR[B,5]	1	CapVT[B,4]	695
YV[B,1]	1	CapVT[B,5]	695
YV[B,2]	1	...im WZ	
YV[B,3]	1	CapRT[B,2]	162
YV[B,4]	1	CapRT[B,3]	162
YV[B,5]	1	CapRT[B,4]	162
Kapazitätsveränderungen		CapRT[B,5]	161
CCapF[B,1]	463	Kapazitätsaufbau	
CCapR[B,2]	162	CCapFUP[B,1]	463
CCapR[B,5]	-1	CCapRUP[B,2]	162
CCapV[B,1]	463	CCapVUP[B,1]	463
CCapV[B,2]	232	CCapVUP[B,2]	232
Kapazitätsabbau		CCapRDOWN[B,5]	-1
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapVUP[B,1]	1		
Personalbestand...			
...im Werk		...im VSZ	
LCapFT[B,1]	29	LCapVT[B,1]	15
LCapFT[B,2]	29	LCapVT[B,2]	22
LCapFT[B,3]	29	LCapVT[B,3]	22
LCapFT[B,4]	29	LCapVT[B,4]	22
LCapFT[B,5]	29	LCapVT[B,5]	22
...im WZ			
LCapRT[B,2]	60	LCapRT[B,4]	61
LCapRT[B,3]	60	LCapRT[B,5]	60

Abbildung A.37: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M2,B,4]	34823
XCZF[B,M1,B,2]	17477	XCZF[B,M2,B,5]	35010
XCZF[B,M1,B,3]	17596	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	17352	XCZF[B,M3,B,2]	17533
XCZF[B,M1,B,5]	17533	XCZF[B,M3,B,3]	17414
XCZF[B,M2,B,1]	46280	XCZF[B,M3,B,4]	17471
XCZF[B,M2,B,2]	35010	XCZF[B,M3,B,5]	17477
XCZF[B,M2,B,3]	35010		
Transportmengen vom Werk zum VSZ			
XPfV[B,B,P1,1]	23140	XPfV[B,B,P2,1]	23140
XPfV[B,B,P1,2]	23140	XPfV[B,B,P2,2]	23140
XPfV[B,B,P1,3]	23140	XPfV[B,B,P2,3]	23140
XPfV[B,B,P1,4]	23140	XPfV[B,B,P2,4]	23140
XPfV[B,B,P1,5]	23140	XPfV[B,B,P2,5]	23140
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M2,4]	46280
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46280
XCF[B,M1,3]	23140	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[B,M3,2]	23140
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46280	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46280	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk			
XPf[B,P1,1]	23140	XPf[B,P2,1]	23140
XPf[B,P1,2]	23140	XPf[B,P2,2]	23140
XPf[B,P1,3]	23140	XPf[B,P2,3]	23140
XPf[B,P1,4]	23140	XPf[B,P2,4]	23140
XPf[B,P1,5]	23140	XPf[B,P2,5]	23140
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	500
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	500
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	500
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	500
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,2]	8090	XVRP[B,Dis,P1,2]	3480
XVRP[B,B,P1,3]	8090	XVRP[B,Dis,P1,3]	3480
XVRP[B,B,P1,4]	8099	XVRP[B,Dis,P1,4]	3471
XVRP[B,B,P1,5]	8010	XVRP[B,Dis,P1,5]	3560
XVRP[B,B,P2,2]	8091	XVRP[B,Dis,P2,2]	3479
XVRP[B,B,P2,3]	8099	XVRP[B,Dis,P2,3]	3471
XVRP[B,B,P2,4]	8099	XVRP[B,Dis,P2,4]	3471
XVRP[B,B,P2,5]	8090	XVRP[B,Dis,P2,5]	3480
Bearbeitungsmengen an Komponenten im WZ			
XCR[B,M1,2]	8090	XCR[B,M2,4]	16368
XCR[B,M1,3]	7920	XCR[B,M2,5]	16100
XCR[B,M1,4]	8269	XCR[B,M3,2]	8010
XCR[B,M1,5]	8010	XCR[B,M3,3]	8180
XCR[B,M2,2]	16100	XCR[B,M3,4]	8099
XCR[B,M2,3]	16100	XCR[B,M3,5]	8090
Bearbeitungsmengen an Produkten im WZ			
XPR[B,P1,2]	8090	XPR[B,P2,2]	8010
XPR[B,P1,3]	7920	XPR[B,P2,3]	8180
XPR[B,P1,4]	8269	XPR[B,P2,4]	8099
XPR[B,P1,5]	8010	XPR[B,P2,5]	8090
Transportmengen vom WZ...			
...zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,2]	5663	XCRF[B,M1,Dis,2]	2427
XCRF[B,M1,B,3]	5544	XCRF[B,M1,Dis,3]	2376
XCRF[B,M1,B,4]	5788	XCRF[B,M1,Dis,4]	2481
XCRF[B,M1,B,5]	5607	XCRF[B,M1,Dis,5]	2403
XCRF[B,M2,B,2]	11270	XCRF[B,M2,Dis,2]	4830
XCRF[B,M2,B,3]	11270	XCRF[B,M2,Dis,3]	4830
XCRF[B,M2,B,4]	11457	XCRF[B,M2,Dis,4]	4911
XCRF[B,M2,B,5]	11270	XCRF[B,M2,Dis,5]	4830
XCRF[B,M3,B,2]	5607	XCRF[B,M3,Dis,2]	2403
XCRF[B,M3,B,3]	5726	XCRF[B,M3,Dis,3]	2454
XCRF[B,M3,B,4]	5669	XCRF[B,M3,Dis,4]	2430
XCRF[B,M3,B,5]	5663	XCRF[B,M3,Dis,5]	2427
Lagermengen im WZ			
IPR[B,P1,3]	170	IPR[B,P2,2]	81

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dR_c = 3$ Stunden, $\forall c \in C$ und $c_r = -43$ GE, $\forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ)			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[H,1]	1	19.268.481,78	
YVGes[Ha,1]	1	Anzahl Kapazitätseinheiten...	
Variablen für Offen-sein von Standorten		...im Werk	
YF[H,1]	1	CapFT[H,1]	463
YF[H,2]	1	CapFT[H,2]	463
YF[H,3]	1	CapFT[H,3]	463
YF[H,4]	1	CapFT[H,4]	463
YF[H,5]	1	CapFT[H,5]	463
YV[Ha,1]	1	...im VSZ	
YV[Ha,2]	1	CapVT[Ha,1]	463
YV[Ha,3]	1	CapVT[Ha,2]	695
YV[Ha,4]	1	CapVT[Ha,3]	695
YV[Ha,5]	1	CapVT[Ha,4]	695
		CapVT[Ha,5]	695
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[H,1]	1	YCCapVUP[Ha,2]	1
YCCapFUP[H,3]	1	YCCapVUP[Ha,3]	1
YCCapVUP[Ha,1]	1		
Kapazitätsveränderungen		Kapazitätsaufbau	
CCapF[H,1]	463	CCapFUP[H,1]	463
CCapV[Ha,1]	463	CCapVUP[Ha,1]	463
CCapV[Ha,2]	232	CCapVUP[Ha,2]	232
Personalbestand...			
...im Werk		...im VSZ	
LCapFT[H,1]	29	LCapVT[Ha,1]	15
LCapFT[H,2]	29	LCapVT[Ha,2]	22
LCapFT[H,3]	29	LCapVT[Ha,3]	22
LCapFT[H,4]	29	LCapVT[Ha,4]	22
LCapFT[H,5]	29	LCapVT[Ha,5]	22
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[H,M1,H,1]	23140	XCZF[H,M2,H,4]	46280
XCZF[H,M1,H,2]	23140	XCZF[H,M2,H,5]	46280
XCZF[H,M1,H,3]	23140	XCZF[H,M3,H,1]	23140
XCZF[H,M1,H,4]	23140	XCZF[H,M3,H,2]	23140
XCZF[H,M1,H,5]	23140	XCZF[H,M3,H,3]	23140
XCZF[H,M2,H,1]	46280	XCZF[H,M3,H,4]	23140
XCZF[H,M2,H,2]	46280	XCZF[H,M3,H,5]	23140
XCZF[H,M2,H,3]	46280		

Abbildung A.38: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ), unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 5 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[H,M1,1]	23140	XCF[H,M2,4]	46280
XCF[H,M1,2]	23140	XCF[H,M2,5]	46280
XCF[H,M1,3]	23140	XCF[H,M3,1]	23140
XCF[H,M1,4]	23140	XCF[H,M3,2]	23140
XCF[H,M1,5]	23140	XCF[H,M3,3]	23140
XCF[H,M2,1]	46280	XCF[H,M3,4]	23140
XCF[H,M2,2]	46280	XCF[H,M3,5]	23140
XCF[H,M2,3]	46280		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk		Transportmengen vom Werk zum VSZ	
XPF[H,P1,1]	23140	XPfV[H,Ha,P1,1]	23140
XPF[H,P1,2]	23140	XPfV[H,Ha,P1,2]	23140
XPF[H,P1,3]	23140	XPfV[H,Ha,P1,3]	23140
XPF[H,P1,4]	23140	XPfV[H,Ha,P1,4]	23140
XPF[H,P1,5]	23140	XPfV[H,Ha,P1,5]	23140
XPF[H,P2,1]	23140	XPfV[H,Ha,P2,1]	23140
XPF[H,P2,2]	23140	XPfV[H,Ha,P2,2]	23140
XPF[H,P2,3]	23140	XPfV[H,Ha,P2,3]	23140
XPF[H,P2,4]	23140	XPfV[H,Ha,P2,4]	23140
XPF[H,P2,5]	23140	XPfV[H,Ha,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[Ha,B,P1,1]	5700	XVKP[Ha,FM,P2,1]	1200
XVKP[Ha,B,P1,2]	5700	XVKP[Ha,FM,P2,2]	1200
XVKP[Ha,B,P1,3]	5700	XVKP[Ha,FM,P2,3]	1200
XVKP[Ha,B,P1,4]	5700	XVKP[Ha,FM,P2,4]	1200
XVKP[Ha,B,P1,5]	5700	XVKP[Ha,FM,P2,5]	1200
XVKP[Ha,B,P2,1]	5700	XVKP[Ha,H,P1,1]	3000
XVKP[Ha,B,P2,2]	5700	XVKP[Ha,H,P1,2]	3000
XVKP[Ha,B,P2,3]	5700	XVKP[Ha,H,P1,3]	3000
XVKP[Ha,B,P2,4]	5700	XVKP[Ha,H,P1,4]	3000
XVKP[Ha,B,P2,5]	5700	XVKP[Ha,H,P1,5]	3000
XVKP[Ha,Br,P1,1]	920	XVKP[Ha,H,P2,1]	3000
XVKP[Ha,Br,P1,2]	920	XVKP[Ha,H,P2,2]	3000
XVKP[Ha,Br,P1,3]	920	XVKP[Ha,H,P2,3]	3000
XVKP[Ha,Br,P1,4]	920	XVKP[Ha,H,P2,4]	3000
XVKP[Ha,Br,P1,5]	920	XVKP[Ha,H,P2,5]	3000
XVKP[Ha,Br,P2,1]	920	XVKP[Ha,Ha,P1,1]	860
XVKP[Ha,Br,P2,2]	920	XVKP[Ha,Ha,P1,2]	860
XVKP[Ha,Br,P2,3]	920	XVKP[Ha,Ha,P1,3]	860
XVKP[Ha,Br,P2,4]	920	XVKP[Ha,Ha,P1,4]	860
XVKP[Ha,Br,P2,5]	920	XVKP[Ha,Ha,P1,5]	860

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ), unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[Ha,Do,P1,1]	960	XVKP[Ha,Ha,P2,1]	860
XVKP[Ha,Do,P1,2]	960	XVKP[Ha,Ha,P2,2]	860
XVKP[Ha,Do,P1,3]	960	XVKP[Ha,Ha,P2,3]	860
XVKP[Ha,Do,P1,4]	960	XVKP[Ha,Ha,P2,4]	860
XVKP[Ha,Do,P1,5]	960	XVKP[Ha,Ha,P2,5]	860
XVKP[Ha,Do,P2,1]	960	XVKP[Ha,K,P1,1]	1740
XVKP[Ha,Do,P2,2]	960	XVKP[Ha,K,P1,2]	1740
XVKP[Ha,Do,P2,3]	960	XVKP[Ha,K,P1,3]	1740
XVKP[Ha,Do,P2,4]	960	XVKP[Ha,K,P1,4]	1740
XVKP[Ha,Do,P2,5]	960	XVKP[Ha,K,P1,5]	1740
XVKP[Ha,Dr,P1,1]	880	XVKP[Ha,K,P2,1]	1740
XVKP[Ha,Dr,P1,2]	880	XVKP[Ha,K,P2,2]	1740
XVKP[Ha,Dr,P1,3]	880	XVKP[Ha,K,P2,3]	1740
XVKP[Ha,Dr,P1,4]	880	XVKP[Ha,K,P2,4]	1740
XVKP[Ha,Dr,P1,5]	880	XVKP[Ha,K,P2,5]	1740
XVKP[Ha,Dr,P2,1]	880	XVKP[Ha,L,P1,1]	880
XVKP[Ha,Dr,P2,2]	880	XVKP[Ha,L,P1,2]	880
XVKP[Ha,Dr,P2,3]	880	XVKP[Ha,L,P1,3]	880
XVKP[Ha,Dr,P2,4]	880	XVKP[Ha,L,P1,4]	880
XVKP[Ha,Dr,P2,5]	880	XVKP[Ha,L,P1,5]	880
XVKP[Ha,Du,P1,1]	800	XVKP[Ha,L,P2,1]	880
XVKP[Ha,Du,P1,2]	800	XVKP[Ha,L,P2,2]	880
XVKP[Ha,Du,P1,3]	800	XVKP[Ha,L,P2,3]	880
XVKP[Ha,Du,P1,4]	800	XVKP[Ha,L,P2,4]	880
XVKP[Ha,Du,P1,5]	800	XVKP[Ha,L,P2,5]	880
XVKP[Ha,Du,P2,1]	800	XVKP[Ha,M,P1,1]	2400
XVKP[Ha,Du,P2,2]	800	XVKP[Ha,M,P1,2]	2400
XVKP[Ha,Du,P2,3]	800	XVKP[Ha,M,P1,3]	2400
XVKP[Ha,Du,P2,4]	800	XVKP[Ha,M,P1,4]	2400
XVKP[Ha,Du,P2,5]	800	XVKP[Ha,M,P1,5]	2400
XVKP[Ha,Due,P1,1]	1000	XVKP[Ha,M,P2,1]	2400
XVKP[Ha,Due,P1,2]	1000	XVKP[Ha,M,P2,2]	2400
XVKP[Ha,Due,P1,3]	1000	XVKP[Ha,M,P2,3]	2400
XVKP[Ha,Due,P1,4]	1000	XVKP[Ha,M,P2,4]	2400
XVKP[Ha,Due,P1,5]	1000	XVKP[Ha,M,P2,5]	2400
XVKP[Ha,Due,P2,1]	1000	XVKP[Ha,Nu,P1,1]	840
XVKP[Ha,Due,P2,2]	1000	XVKP[Ha,Nu,P1,2]	840
XVKP[Ha,Due,P2,3]	1000	XVKP[Ha,Nu,P1,3]	840
XVKP[Ha,Due,P2,4]	1000	XVKP[Ha,Nu,P1,4]	840
XVKP[Ha,Due,P2,5]	1000	XVKP[Ha,Nu,P1,5]	840
XVKP[Ha,E,P1,1]	960	XVKP[Ha,Nu,P2,1]	840

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ), unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[Ha,E,P1,2]	960	XVKP[Ha,Nu,P2,2]	840
XVKP[Ha,E,P1,3]	960	XVKP[Ha,Nu,P2,3]	840
XVKP[Ha,E,P1,4]	960	XVKP[Ha,Nu,P2,4]	840
XVKP[Ha,E,P1,5]	960	XVKP[Ha,Nu,P2,5]	840
XVKP[Ha,E,P2,1]	960	XVKP[Ha,S,P1,1]	1000
XVKP[Ha,E,P2,2]	960	XVKP[Ha,S,P1,2]	1000
XVKP[Ha,E,P2,3]	960	XVKP[Ha,S,P1,3]	1000
XVKP[Ha,E,P2,4]	960	XVKP[Ha,S,P1,4]	1000
XVKP[Ha,E,P2,5]	960	XVKP[Ha,S,P1,5]	1000
XVKP[Ha,FM,P1,1]	1200	XVKP[Ha,S,P2,1]	1000
XVKP[Ha,FM,P1,2]	1200	XVKP[Ha,S,P2,2]	1000
XVKP[Ha,FM,P1,3]	1200	XVKP[Ha,S,P2,3]	1000
XVKP[Ha,FM,P1,4]	1200	XVKP[Ha,S,P2,4]	1000
XVKP[Ha,FM,P1,5]	1200	XVKP[Ha,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,Ha,P1,2]	2850	XKVP[FM,Ha,P2,2]	600
XKVP[B,Ha,P1,3]	2850	XKVP[FM,Ha,P2,3]	600
XKVP[B,Ha,P1,4]	2850	XKVP[FM,Ha,P2,4]	600
XKVP[B,Ha,P1,5]	2850	XKVP[FM,Ha,P2,5]	600
XKVP[B,Ha,P2,2]	2850	XKVP[H,Ha,P1,2]	1500
XKVP[B,Ha,P2,3]	2850	XKVP[H,Ha,P1,3]	1500
XKVP[B,Ha,P2,4]	2850	XKVP[H,Ha,P1,4]	1500
XKVP[B,Ha,P2,5]	2850	XKVP[H,Ha,P1,5]	1500
XKVP[Br,Ha,P1,2]	460	XKVP[H,Ha,P2,2]	1500
XKVP[Br,Ha,P1,3]	460	XKVP[H,Ha,P2,3]	1500
XKVP[Br,Ha,P1,4]	460	XKVP[H,Ha,P2,4]	1500
XKVP[Br,Ha,P1,5]	460	XKVP[H,Ha,P2,5]	1500
XKVP[Br,Ha,P2,2]	460	XKVP[Ha,Ha,P1,2]	430
XKVP[Br,Ha,P2,3]	460	XKVP[Ha,Ha,P1,3]	430
XKVP[Br,Ha,P2,4]	460	XKVP[Ha,Ha,P1,4]	430
XKVP[Br,Ha,P2,5]	460	XKVP[Ha,Ha,P1,5]	430
XKVP[Do,Ha,P1,2]	480	XKVP[Ha,Ha,P2,2]	430
XKVP[Do,Ha,P1,3]	480	XKVP[Ha,Ha,P2,3]	430
XKVP[Do,Ha,P1,4]	480	XKVP[Ha,Ha,P2,4]	430
XKVP[Do,Ha,P1,5]	480	XKVP[Ha,Ha,P2,5]	430
XKVP[Do,Ha,P2,2]	480	XKVP[K,Ha,P1,2]	870
XKVP[Do,Ha,P2,3]	480	XKVP[K,Ha,P1,3]	870
XKVP[Do,Ha,P2,4]	480	XKVP[K,Ha,P1,4]	870
XKVP[Do,Ha,P2,5]	480	XKVP[K,Ha,P1,5]	870
XKVP[Dr,Ha,P1,2]	440	XKVP[K,Ha,P2,2]	870

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ), unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 5 (Eigene Darstellung)

XKVP[Dr,Ha,P1,3]	440	XKVP[K,Ha,P2,3]	870
XKVP[Dr,Ha,P1,4]	440	XKVP[K,Ha,P2,4]	870
XKVP[Dr,Ha,P1,5]	440	XKVP[K,Ha,P2,5]	870
XKVP[Dr,Ha,P2,2]	440	XKVP[L,Ha,P1,2]	440
XKVP[Dr,Ha,P2,3]	440	XKVP[L,Ha,P1,3]	440
XKVP[Dr,Ha,P2,4]	440	XKVP[L,Ha,P1,4]	440
XKVP[Dr,Ha,P2,5]	440	XKVP[L,Ha,P1,5]	440
XKVP[Du,Ha,P1,2]	400	XKVP[L,Ha,P2,2]	440
XKVP[Du,Ha,P1,3]	400	XKVP[L,Ha,P2,3]	440
XKVP[Du,Ha,P1,4]	400	XKVP[L,Ha,P2,4]	440
XKVP[Du,Ha,P1,5]	400	XKVP[L,Ha,P2,5]	440
XKVP[Du,Ha,P2,2]	400	XKVP[M,Ha,P1,2]	1200
XKVP[Du,Ha,P2,3]	400	XKVP[M,Ha,P1,3]	1200
XKVP[Du,Ha,P2,4]	400	XKVP[M,Ha,P1,4]	1200
XKVP[Du,Ha,P2,5]	400	XKVP[M,Ha,P1,5]	1200
XKVP[Due,Ha,P1,2]	500	XKVP[M,Ha,P2,2]	1200
XKVP[Due,Ha,P1,3]	500	XKVP[M,Ha,P2,3]	1200
XKVP[Due,Ha,P1,4]	500	XKVP[M,Ha,P2,4]	1200
XKVP[Due,Ha,P1,5]	500	XKVP[M,Ha,P2,5]	1200
XKVP[Due,Ha,P2,2]	500	XKVP[Nu,Ha,P1,2]	420
XKVP[Due,Ha,P2,3]	500	XKVP[Nu,Ha,P1,3]	420
XKVP[Due,Ha,P2,4]	500	XKVP[Nu,Ha,P1,4]	420
XKVP[Due,Ha,P2,5]	500	XKVP[Nu,Ha,P1,5]	420
XKVP[E,Ha,P1,2]	480	XKVP[Nu,Ha,P2,2]	420
XKVP[E,Ha,P1,3]	480	XKVP[Nu,Ha,P2,3]	420
XKVP[E,Ha,P1,4]	480	XKVP[Nu,Ha,P2,4]	420
XKVP[E,Ha,P1,5]	480	XKVP[Nu,Ha,P2,5]	420
XKVP[E,Ha,P2,2]	480	XKVP[S,Ha,P1,2]	500
XKVP[E,Ha,P2,3]	480	XKVP[S,Ha,P1,3]	500
XKVP[E,Ha,P2,4]	480	XKVP[S,Ha,P1,4]	500
XKVP[E,Ha,P2,5]	480	XKVP[S,Ha,P1,5]	500
XKVP[FM,Ha,P1,2]	600	XKVP[S,Ha,P2,2]	500
XKVP[FM,Ha,P1,3]	600	XKVP[S,Ha,P2,3]	500
XKVP[FM,Ha,P1,4]	600	XKVP[S,Ha,P2,4]	500
XKVP[FM,Ha,P1,5]	600	XKVP[S,Ha,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[Ha,Dis,P1,2]	11570	XVRP[Ha,Dis,P2,2]	11570
XVRP[Ha,Dis,P1,3]	11570	XVRP[Ha,Dis,P2,3]	11570
XVRP[Ha,Dis,P1,4]	11570	XVRP[Ha,Dis,P2,4]	11570
XVRP[Ha,Dis,P1,5]	11570	XVRP[Ha,Dis,P2,5]	11570

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $labcc_B = 16$ GE (Lohnkosten im Berliner Werk oder VSZ), unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 5 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden für jedes Produkt und $c^U = 500$ GE			
pro unbefriedigter Nachfrage			
Zielfunktionswert in GE		86.411.464,73 bestehend aus:	
Diskontierte Strafkosten in GE		121.335,78 Diskontierte tatsächliche Kosten in GE 86.290.128,95	
Variablen für Standorteröffnungen		Anzahl Kapazitätseinheiten...	
YFGes[B,1]	1	...im Werk	
YVGes[B,1]	1	CapFT[B,1]	463
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,2]	463
YF[B,1]	1	CapFT[B,3]	463
YF[B,2]	1	CapFT[B,4]	463
YF[B,3]	1	CapFT[B,5]	463
YF[B,4]	1	...im VSZ	
YF[B,5]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,1]	1	CapVT[B,2]	694
YV[B,2]	1	CapVT[B,3]	694
YV[B,3]	1	CapVT[B,4]	694
YV[B,4]	1	CapVT[B,5]	694
YV[B,5]	1	Kapazitätsaufbau	
Kapazitätsveränderungen		CCapFUP[B,1]	463
CCapF[B,1]	463	CCapVUP[B,1]	463
CCapV[B,1]	463	CCapVUP[B,2]	231
CCapV[B,2]	231		
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapVUP[B,1]	1		
Personalbestand...			
...im Werk		...im VSZ	
LCapFT[B,1]	603	LCapVT[B,1]	15
LCapFT[B,2]	603	LCapVT[B,2]	22
LCapFT[B,3]	603	LCapVT[B,3]	22
LCapFT[B,4]	603	LCapVT[B,4]	22
LCapFT[B,5]	603	LCapVT[B,5]	22
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk			
XCZF[B,M1,B,1]	23090	XCZF[B,M2,B,4]	46230
XCZF[B,M1,B,2]	23140	XCZF[B,M2,B,5]	46230
XCZF[B,M1,B,3]	23090	XCZF[B,M3,B,1]	23140
XCZF[B,M1,B,4]	23090	XCZF[B,M3,B,2]	23090
XCZF[B,M1,B,5]	23090	XCZF[B,M3,B,3]	23140
XCZF[B,M2,B,1]	46230	XCZF[B,M3,B,4]	23140
XCZF[B,M2,B,2]	46230	XCZF[B,M3,B,5]	23140
XCZF[B,M2,B,3]	46230		

Abbildung A.39: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 5 (Eigene Darstellung)

Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk			
XCF[B,M1,1]	23090	XCF[B,M2,4]	46230
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M2,5]	46230
XCF[B,M1,3]	23090	XCF[B,M3,1]	23140
XCF[B,M1,4]	23090	XCF[B,M3,2]	23090
XCF[B,M1,5]	23090	XCF[B,M3,3]	23140
XCF[B,M2,1]	46230	XCF[B,M3,4]	23140
XCF[B,M2,2]	46230	XCF[B,M3,5]	23140
XCF[B,M2,3]	46230		
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk		Transportmengen vom Werk zum VSZ	
XPF[B,P1,1]	23090	XPFV[B,B,P1,1]	23090
XPF[B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P1,2]	23140
XPF[B,P1,3]	23090	XPFV[B,B,P1,3]	23090
XPF[B,P1,4]	23090	XPFV[B,B,P1,4]	23090
XPF[B,P1,5]	23090	XPFV[B,B,P1,5]	23090
XPF[B,P2,1]	23140	XPFV[B,B,P2,1]	23140
XPF[B,P2,2]	23090	XPFV[B,B,P2,2]	23090
XPF[B,P2,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPF[B,P2,4]	23140	XPFV[B,B,P2,4]	23140
XPF[B,P2,5]	23140	XPFV[B,B,P2,5]	23140
Transportmengen vom VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740
XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 5 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	950
XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	950
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	950
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	950
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	950
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zum VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 5 (Eigene Darstellung)

XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440
XKVP[Dr,B,P2,3]	440	XKVP[L,B,P1,3]	440
XKVP[Dr,B,P2,4]	440	XKVP[L,B,P1,4]	440
XKVP[Dr,B,P2,5]	440	XKVP[L,B,P1,5]	440
XKVP[Du,B,P1,2]	400	XKVP[L,B,P2,2]	440
XKVP[Du,B,P1,3]	400	XKVP[L,B,P2,3]	440
XKVP[Du,B,P1,4]	400	XKVP[L,B,P2,4]	440
XKVP[Du,B,P1,5]	400	XKVP[L,B,P2,5]	440
XKVP[Du,B,P2,2]	400	XKVP[M,B,P1,2]	1200
XKVP[Du,B,P2,3]	400	XKVP[M,B,P1,3]	1200
XKVP[Du,B,P2,4]	400	XKVP[M,B,P1,4]	1200
XKVP[Du,B,P2,5]	400	XKVP[M,B,P1,5]	1200
XKVP[Due,B,P1,2]	500	XKVP[M,B,P2,2]	1200
XKVP[Due,B,P1,3]	500	XKVP[M,B,P2,3]	1200
XKVP[Due,B,P1,4]	500	XKVP[M,B,P2,4]	1200
XKVP[Due,B,P1,5]	500	XKVP[M,B,P2,5]	1200
XKVP[Due,B,P2,2]	500	XKVP[Nu,B,P1,2]	420
XKVP[Due,B,P2,3]	500	XKVP[Nu,B,P1,3]	420
XKVP[Due,B,P2,4]	500	XKVP[Nu,B,P1,4]	420
XKVP[Due,B,P2,5]	500	XKVP[Nu,B,P1,5]	420
XKVP[E,B,P1,2]	480	XKVP[Nu,B,P2,2]	420
XKVP[E,B,P1,3]	480	XKVP[Nu,B,P2,3]	420
XKVP[E,B,P1,4]	480	XKVP[Nu,B,P2,4]	420
XKVP[E,B,P1,5]	480	XKVP[Nu,B,P2,5]	420
XKVP[E,B,P2,2]	480	XKVP[S,B,P1,2]	475
XKVP[E,B,P2,3]	480	XKVP[S,B,P1,3]	500
XKVP[E,B,P2,4]	480	XKVP[S,B,P1,4]	475
XKVP[E,B,P2,5]	480	XKVP[S,B,P1,5]	475
XKVP[FM,B,P1,2]	600	XKVP[S,B,P2,2]	500
XKVP[FM,B,P1,3]	600	XKVP[S,B,P2,3]	475
XKVP[FM,B,P1,4]	600	XKVP[S,B,P2,4]	500
XKVP[FM,B,P1,5]	600	XKVP[S,B,P2,5]	500
Transportmengen vom VSZ zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,2]	11545	XVRP[B,Dis,P2,2]	11570
XVRP[B,Dis,P1,3]	11570	XVRP[B,Dis,P2,3]	11545
XVRP[B,Dis,P1,4]	11570	XVRP[B,Dis,P2,4]	11545
XVRP[B,Dis,P1,5]	11570	XVRP[B,Dis,P2,5]	11545
Unbefriedigte Nachfrage			
U[S,P1,1]	50	U[S,P2,3]	50
U[S,P1,5]	50	U[S,P2,4]	50
U[S,P2,2]	50		

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 21$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 5 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 29$ oder $dV_p = 25$ Stunden für jedes Produkt und $c^U = 500$ GE pro unbefriedigter Nachfrage			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			112.308.398,88
Unbefriedigte Nachfrage			
U[B,P1,1]	5700	U[FM,P2,1]	1200
U[B,P1,2]	5700	U[FM,P2,2]	1200
U[B,P1,3]	5700	U[FM,P2,3]	1200
U[B,P1,4]	5700	U[FM,P2,4]	1200
U[B,P1,5]	5700	U[FM,P2,5]	1200
U[B,P2,1]	5700	U[H,P1,1]	3000
U[B,P2,2]	5700	U[H,P1,2]	3000
U[B,P2,3]	5700	U[H,P1,3]	3000
U[B,P2,4]	5700	U[H,P1,4]	3000
U[B,P2,5]	5700	U[H,P1,5]	3000
U[Br,P1,1]	920	U[H,P2,1]	3000
U[Br,P1,2]	920	U[H,P2,2]	3000
U[Br,P1,3]	920	U[H,P2,3]	3000
U[Br,P1,4]	920	U[H,P2,4]	3000
U[Br,P1,5]	920	U[H,P2,5]	3000
U[Br,P2,1]	920	U[Ha,P1,1]	860
U[Br,P2,2]	920	U[Ha,P1,2]	860
U[Br,P2,3]	920	U[Ha,P1,3]	860
U[Br,P2,4]	920	U[Ha,P1,4]	860
U[Br,P2,5]	920	U[Ha,P1,5]	860
U[Do,P1,1]	960	U[Ha,P2,1]	860
U[Do,P1,2]	960	U[Ha,P2,2]	860
U[Do,P1,3]	960	U[Ha,P2,3]	860
U[Do,P1,4]	960	U[Ha,P2,4]	860
U[Do,P1,5]	960	U[Ha,P2,5]	860
U[Do,P2,1]	960	U[K,P1,1]	1740
U[Do,P2,2]	960	U[K,P1,2]	1740
U[Do,P2,3]	960	U[K,P1,3]	1740
U[Do,P2,4]	960	U[K,P1,4]	1740
U[Do,P2,5]	960	U[K,P1,5]	1740
U[Dr,P1,1]	880	U[K,P2,1]	1740
U[Dr,P1,2]	880	U[K,P2,2]	1740
U[Dr,P1,3]	880	U[K,P2,3]	1740
U[Dr,P1,4]	880	U[K,P2,4]	1740
U[Dr,P1,5]	880	U[K,P2,5]	1740
U[Dr,P2,1]	880	U[L,P1,1]	880

Abbildung A.40: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 29$ bzw. $dV_p = 25$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

U[Dr,P2,2]	880	U[L,P1,2]	880
U[Dr,P2,3]	880	U[L,P1,3]	880
U[Dr,P2,4]	880	U[L,P1,4]	880
U[Dr,P2,5]	880	U[L,P1,5]	880
U[Du,P1,1]	800	U[L,P2,1]	880
U[Du,P1,2]	800	U[L,P2,2]	880
U[Du,P1,3]	800	U[L,P2,3]	880
U[Du,P1,4]	800	U[L,P2,4]	880
U[Du,P1,5]	800	U[L,P2,5]	880
U[Du,P2,1]	800	U[M,P1,1]	2400
U[Du,P2,2]	800	U[M,P1,2]	2400
U[Du,P2,3]	800	U[M,P1,3]	2400
U[Du,P2,4]	800	U[M,P1,4]	2400
U[Du,P2,5]	800	U[M,P1,5]	2400
U[Due,P1,1]	1000	U[M,P2,1]	2400
U[Due,P1,2]	1000	U[M,P2,2]	2400
U[Due,P1,3]	1000	U[M,P2,3]	2400
U[Due,P1,4]	1000	U[M,P2,4]	2400
U[Due,P1,5]	1000	U[M,P2,5]	2400
U[Due,P2,1]	1000	U[Nu,P1,1]	840
U[Due,P2,2]	1000	U[Nu,P1,2]	840
U[Due,P2,3]	1000	U[Nu,P1,3]	840
U[Due,P2,4]	1000	U[Nu,P1,4]	840
U[Due,P2,5]	1000	U[Nu,P1,5]	840
U[E,P1,1]	960	U[Nu,P2,1]	840
U[E,P1,2]	960	U[Nu,P2,2]	840
U[E,P1,3]	960	U[Nu,P2,3]	840
U[E,P1,4]	960	U[Nu,P2,4]	840
U[E,P1,5]	960	U[Nu,P2,5]	840
U[E,P2,1]	960	U[S,P1,1]	1000
U[E,P2,2]	960	U[S,P1,2]	1000
U[E,P2,3]	960	U[S,P1,3]	1000
U[E,P2,4]	960	U[S,P1,4]	1000
U[E,P2,5]	960	U[S,P1,5]	1000
U[FM,P1,1]	1200	U[S,P2,1]	1000
U[FM,P1,2]	1200	U[S,P2,2]	1000
U[FM,P1,3]	1200	U[S,P2,3]	1000
U[FM,P1,4]	1200	U[S,P2,4]	1000
U[FM,P1,5]	1200	U[S,P2,5]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $dF_p = 29$ bzw. $dV_p = 25$ Stunden unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $\text{LabCap}^O = 45.000$ Stunden pro Werk und Periode und $c^U = 85$ GE			
pro unbefriedigter Nachfrage			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			19.283.352,09
Unbefriedigte Nachfrage			
U[B,P1,1]	5700	U[FM,P2,1]	1200
U[B,P1,2]	5700	U[FM,P2,2]	1200
U[B,P1,3]	5700	U[FM,P2,3]	1200
U[B,P1,4]	5700	U[FM,P2,4]	1200
U[B,P1,5]	5700	U[FM,P2,5]	1200
U[B,P2,1]	5700	U[H,P1,1]	3000
U[B,P2,2]	5700	U[H,P1,2]	3000
U[B,P2,3]	5700	U[H,P1,3]	3000
U[B,P2,4]	5700	U[H,P1,4]	3000
U[B,P2,5]	5700	U[H,P1,5]	3000
U[Br,P1,1]	920	U[H,P2,1]	3000
U[Br,P1,2]	920	U[H,P2,2]	3000
U[Br,P1,3]	920	U[H,P2,3]	3000
U[Br,P1,4]	920	U[H,P2,4]	3000
U[Br,P1,5]	920	U[H,P2,5]	3000
U[Br,P2,1]	920	U[Ha,P1,1]	860
U[Br,P2,2]	920	U[Ha,P1,2]	860
U[Br,P2,3]	920	U[Ha,P1,3]	860
U[Br,P2,4]	920	U[Ha,P1,4]	860
U[Br,P2,5]	920	U[Ha,P1,5]	860
U[Do,P1,1]	960	U[Ha,P2,1]	860
U[Do,P1,2]	960	U[Ha,P2,2]	860
U[Do,P1,3]	960	U[Ha,P2,3]	860
U[Do,P1,4]	960	U[Ha,P2,4]	860
U[Do,P1,5]	960	U[Ha,P2,5]	860
U[Do,P2,1]	960	U[K,P1,1]	1740
U[Do,P2,2]	960	U[K,P1,2]	1740
U[Do,P2,3]	960	U[K,P1,3]	1740
U[Do,P2,4]	960	U[K,P1,4]	1740
U[Do,P2,5]	960	U[K,P1,5]	1740
U[Dr,P1,1]	880	U[K,P2,1]	1740
U[Dr,P1,2]	880	U[K,P2,2]	1740
U[Dr,P1,3]	880	U[K,P2,3]	1740
U[Dr,P1,4]	880	U[K,P2,4]	1740
U[Dr,P1,5]	880	U[K,P2,5]	1740
U[Dr,P2,1]	880	U[L,P1,1]	880
U[Dr,P2,2]	880	U[L,P1,2]	880

Abbildung A.41: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $\text{LabCap}_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 2 (Eigene Darstellung)

U[Dr,P2,3]	880	U[L,P1,3]	880
U[Dr,P2,4]	880	U[L,P1,4]	880
U[Dr,P2,5]	880	U[L,P1,5]	880
U[Du,P1,1]	800	U[L,P2,1]	880
U[Du,P1,2]	800	U[L,P2,2]	880
U[Du,P1,3]	800	U[L,P2,3]	880
U[Du,P1,4]	800	U[L,P2,4]	880
U[Du,P1,5]	800	U[L,P2,5]	880
U[Du,P2,1]	800	U[M,P1,1]	2400
U[Du,P2,2]	800	U[M,P1,2]	2400
U[Du,P2,3]	800	U[M,P1,3]	2400
U[Du,P2,4]	800	U[M,P1,4]	2400
U[Du,P2,5]	800	U[M,P1,5]	2400
U[Due,P1,1]	1000	U[M,P2,1]	2400
U[Due,P1,2]	1000	U[M,P2,2]	2400
U[Due,P1,3]	1000	U[M,P2,3]	2400
U[Due,P1,4]	1000	U[M,P2,4]	2400
U[Due,P1,5]	1000	U[M,P2,5]	2400
U[Due,P2,1]	1000	U[Nu,P1,1]	840
U[Due,P2,2]	1000	U[Nu,P1,2]	840
U[Due,P2,3]	1000	U[Nu,P1,3]	840
U[Due,P2,4]	1000	U[Nu,P1,4]	840
U[Due,P2,5]	1000	U[Nu,P1,5]	840
U[E,P1,1]	960	U[Nu,P2,1]	840
U[E,P1,2]	960	U[Nu,P2,2]	840
U[E,P1,3]	960	U[Nu,P2,3]	840
U[E,P1,4]	960	U[Nu,P2,4]	840
U[E,P1,5]	960	U[Nu,P2,5]	840
U[E,P2,1]	960	U[S,P1,1]	1000
U[E,P2,2]	960	U[S,P1,2]	1000
U[E,P2,3]	960	U[S,P1,3]	1000
U[E,P2,4]	960	U[S,P1,4]	1000
U[E,P2,5]	960	U[S,P1,5]	1000
U[FM,P1,1]	1200	U[S,P2,1]	1000
U[FM,P1,2]	1200	U[S,P2,2]	1000
U[FM,P1,3]	1200	U[S,P2,3]	1000
U[FM,P1,4]	1200	U[S,P2,4]	1000
U[FM,P1,5]	1200	U[S,P2,5]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500, \forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 2 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPR-Modells für $\text{LabCap}^O = 45.000$ Stunden pro Werk & $c^U = 500$ GE pro unbefriedigter Nachfrage			
Variablen für Standorteröffnungen		Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)	
YFGes[B,1]	1	24.227.464,76	
YFGes[H,1]	1	Anzahl Kapazitätenseinheiten...	
YVGes[B,1]	1	...im Werk in Berlin	
Variablen für Offen-sein von Standorten		CapFT[B,1]	435
YF[B,1]	1	CapFT[B,2]	435
YF[B,2]	1	CapFT[B,3]	435
YF[B,3]	1	CapFT[B,4]	435
YF[B,4]	1	CapFT[B,5]	434
YF[B,5]	1	...im Werk in Hamburg	
YF[H,1]	1	CapFT[H,1]	29
YF[H,2]	1	CapFT[H,2]	29
YF[H,3]	1	CapFT[H,3]	29
YF[H,4]	1	CapFT[H,4]	29
YF[H,5]	1	CapFT[H,5]	29
YV[B,2]	1	...im VSZ	
YV[B,3]	1	CapVT[B,1]	463
YV[B,4]	1	CapVT[B,2]	695
YV[B,5]	1	CapVT[B,3]	695
Kapazitätsveränderungen		CapVT[B,4]	695
CCapF[B,1]	435	CapVT[B,5]	695
CCapF[B,5]	-1	Indikator für Kein-Kapazitätsabbau	
CCapF[H,1]	29	YCCapFUP[B,1]	1
CCapV[B,1]	463	YCCapFUP[H,1]	1
CCapV[B,2]	232	YCCapFUP[H,2]	1
Kapazitätsabbau		YCCapFUP[H,3]	1
CCapFDOWN[B,5]	-1	YCCapFUP[H,4]	1
Kapazitätsaufbau		YCCapFUP[H,5]	1
CCapFUP[B,1]	435	YCCapVUP[B,1]	1
CCapFUP[H,1]	29	YCCapVUP[B,2]	1
CCapVUP[B,1]	463	YCCapVUP[B,4]	1
CCapVUP[B,2]	232		
Personalbestand...			
...im Werk in Berlin		...im Werk in Hamburg	
LCapFT[B,1]	27	LCapFT[H,1]	2
LCapFT[B,2]	27	LCapFT[H,2]	2
LCapFT[B,3]	27	LCapFT[H,3]	2

Abbildung A.42: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $\text{LabCap}_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 6 (Eigene Darstellung)

LCapFT[B,4]	27	LCapFT[H,4]	2
LCapFT[B,5]	27	LCapFT[H,5]	2
Personalbestand im VSZ			
LCapVT[B,1]	15	LCapVT[B,4]	22
LCapVT[B,2]	22	LCapVT[B,5]	22
LCapVT[B,3]	22		
Transportmengen von Zulieferern zu Werken			
XCZF[B,M2,B,1]	43470	XCZF[B,M3,B,4]	20330
XCZF[B,M1,B,1]	23140	XCZF[B,M3,B,5]	20260
XCZF[B,M1,B,2]	23140	XCZF[H,M1,H,3]	2810
XCZF[B,M1,B,3]	20330	XCZF[H,M2,H,1]	2810
XCZF[B,M1,B,4]	23140	XCZF[H,M2,H,2]	2810
XCZF[B,M1,B,5]	23140	XCZF[H,M2,H,3]	2810
XCZF[B,M2,B,2]	43470	XCZF[H,M2,H,4]	2810
XCZF[B,M2,B,3]	43470	XCZF[H,M2,H,5]	2880
XCZF[B,M2,B,4]	43470	XCZF[H,M3,H,1]	2810
XCZF[B,M2,B,5]	43400	XCZF[H,M3,H,2]	2810
XCZF[B,M3,B,1]	20330	XCZF[H,M3,H,4]	2810
XCZF[B,M3,B,2]	20330	XCZF[H,M3,H,5]	2880
XCZF[B,M3,B,3]	23140		
Bearbeitungsmengen an Komponenten in Werken			
XCF[B,M1,1]	23140	XCF[B,M3,4]	20330
XCF[B,M1,2]	23140	XCF[B,M3,5]	20260
XCF[B,M1,3]	20330	XCF[H,M1,3]	2810
XCF[B,M1,4]	23140	XCF[H,M2,1]	2810
XCF[B,M1,5]	23140	XCF[H,M2,2]	2810
XCF[B,M2,1]	43470	XCF[H,M2,3]	2810
XCF[B,M2,2]	43470	XCF[H,M2,4]	2810
XCF[B,M2,3]	43470	XCF[H,M2,5]	2880
XCF[B,M2,4]	43470	XCF[H,M3,1]	2810
XCF[B,M2,5]	43400	XCF[H,M3,2]	2810
XCF[B,M3,1]	20330	XCF[H,M3,4]	2810
XCF[B,M3,2]	20330	XCF[H,M3,5]	2880
XCF[B,M3,3]	23140		
Bearbeitungsmengen an Produkten in Werken		Transportmengen von Werken zum VSZ	
XPF[B,P1,1]	23140	XPFV[B,B,P1,1]	23140
XPF[B,P1,2]	23140	XPFV[B,B,P1,2]	23140
XPF[B,P1,3]	20330	XPFV[B,B,P1,3]	20330
XPF[B,P1,4]	23140	XPFV[B,B,P1,4]	23140

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 6 (Eigene Darstellung)

XPF[B,P1,5]	23140	XPFV[B,B,P1,5]	23140
XPF[B,P2,1]	20330	XPFV[B,B,P2,1]	20330
XPF[B,P2,2]	20330	XPFV[B,B,P2,2]	20330
XPF[B,P2,3]	23140	XPFV[B,B,P2,3]	23140
XPF[B,P2,4]	20330	XPFV[B,B,P2,4]	20330
XPF[B,P2,5]	20260	XPFV[B,B,P2,5]	20260
XPF[H,P1,3]	2810	XPFV[H,B,P1,3]	2810
XPF[H,P2,1]	2810	XPFV[H,B,P2,1]	2810
XPF[H,P2,2]	2810	XPFV[H,B,P2,2]	2810
XPF[H,P2,4]	2810	XPFV[H,B,P2,4]	2810
XPF[H,P2,5]	2880	XPFV[H,B,P2,5]	2880
Transportmengen von VSZ zu Kunden			
XVKP[B,B,P1,1]	5700	XVKP[B,FM,P2,1]	1200
XVKP[B,B,P1,2]	5700	XVKP[B,FM,P2,2]	1200
XVKP[B,B,P1,3]	5700	XVKP[B,FM,P2,3]	1200
XVKP[B,B,P1,4]	5700	XVKP[B,FM,P2,4]	1200
XVKP[B,B,P1,5]	5700	XVKP[B,FM,P2,5]	1200
XVKP[B,B,P2,1]	5700	XVKP[B,H,P1,1]	3000
XVKP[B,B,P2,2]	5700	XVKP[B,H,P1,2]	3000
XVKP[B,B,P2,3]	5700	XVKP[B,H,P1,3]	3000
XVKP[B,B,P2,4]	5700	XVKP[B,H,P1,4]	3000
XVKP[B,B,P2,5]	5700	XVKP[B,H,P1,5]	3000
XVKP[B,Br,P1,1]	920	XVKP[B,H,P2,1]	3000
XVKP[B,Br,P1,2]	920	XVKP[B,H,P2,2]	3000
XVKP[B,Br,P1,3]	920	XVKP[B,H,P2,3]	3000
XVKP[B,Br,P1,4]	920	XVKP[B,H,P2,4]	3000
XVKP[B,Br,P1,5]	920	XVKP[B,H,P2,5]	3000
XVKP[B,Br,P2,1]	920	XVKP[B,Ha,P1,1]	860
XVKP[B,Br,P2,2]	920	XVKP[B,Ha,P1,2]	860
XVKP[B,Br,P2,3]	920	XVKP[B,Ha,P1,3]	860
XVKP[B,Br,P2,4]	920	XVKP[B,Ha,P1,4]	860
XVKP[B,Br,P2,5]	920	XVKP[B,Ha,P1,5]	860
XVKP[B,Do,P1,1]	960	XVKP[B,Ha,P2,1]	860
XVKP[B,Do,P1,2]	960	XVKP[B,Ha,P2,2]	860
XVKP[B,Do,P1,3]	960	XVKP[B,Ha,P2,3]	860
XVKP[B,Do,P1,4]	960	XVKP[B,Ha,P2,4]	860
XVKP[B,Do,P1,5]	960	XVKP[B,Ha,P2,5]	860
XVKP[B,Do,P2,1]	960	XVKP[B,K,P1,1]	1740
XVKP[B,Do,P2,2]	960	XVKP[B,K,P1,2]	1740

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P2,3]	960	XVKP[B,K,P1,3]	1740
XVKP[B,Do,P2,4]	960	XVKP[B,K,P1,4]	1740
XVKP[B,Do,P2,5]	960	XVKP[B,K,P1,5]	1740
XVKP[B,Dr,P1,1]	880	XVKP[B,K,P2,1]	1740
XVKP[B,Dr,P1,2]	880	XVKP[B,K,P2,2]	1740
XVKP[B,Dr,P1,3]	880	XVKP[B,K,P2,3]	1740
XVKP[B,Dr,P1,4]	880	XVKP[B,K,P2,4]	1740
XVKP[B,Dr,P1,5]	880	XVKP[B,K,P2,5]	1740
XVKP[B,Dr,P2,1]	880	XVKP[B,L,P1,1]	880
XVKP[B,Dr,P2,2]	880	XVKP[B,L,P1,2]	880
XVKP[B,Dr,P2,3]	880	XVKP[B,L,P1,3]	880
XVKP[B,Dr,P2,4]	880	XVKP[B,L,P1,4]	880
XVKP[B,Dr,P2,5]	880	XVKP[B,L,P1,5]	880
XVKP[B,Du,P1,1]	800	XVKP[B,L,P2,1]	880
XVKP[B,Du,P1,2]	800	XVKP[B,L,P2,2]	880
XVKP[B,Du,P1,3]	800	XVKP[B,L,P2,3]	880
XVKP[B,Du,P1,4]	800	XVKP[B,L,P2,4]	880
XVKP[B,Du,P1,5]	800	XVKP[B,L,P2,5]	880
XVKP[B,Du,P2,1]	800	XVKP[B,M,P1,1]	2400
XVKP[B,Du,P2,2]	800	XVKP[B,M,P1,2]	2400
XVKP[B,Du,P2,3]	800	XVKP[B,M,P1,3]	2400
XVKP[B,Du,P2,4]	800	XVKP[B,M,P1,4]	2400
XVKP[B,Du,P2,5]	800	XVKP[B,M,P1,5]	2400
XVKP[B,Due,P1,1]	1000	XVKP[B,M,P2,1]	2400
XVKP[B,Due,P1,2]	1000	XVKP[B,M,P2,2]	2400
XVKP[B,Due,P1,3]	1000	XVKP[B,M,P2,3]	2400
XVKP[B,Due,P1,4]	1000	XVKP[B,M,P2,4]	2400
XVKP[B,Due,P1,5]	1000	XVKP[B,M,P2,5]	2400
XVKP[B,Due,P2,1]	1000	XVKP[B,Nu,P1,1]	840
XVKP[B,Due,P2,2]	1000	XVKP[B,Nu,P1,2]	840
XVKP[B,Due,P2,3]	1000	XVKP[B,Nu,P1,3]	840
XVKP[B,Due,P2,4]	1000	XVKP[B,Nu,P1,4]	840
XVKP[B,Due,P2,5]	1000	XVKP[B,Nu,P1,5]	840
XVKP[B,E,P1,1]	960	XVKP[B,Nu,P2,1]	840
XVKP[B,E,P1,2]	960	XVKP[B,Nu,P2,2]	840
XVKP[B,E,P1,3]	960	XVKP[B,Nu,P2,3]	840
XVKP[B,E,P1,4]	960	XVKP[B,Nu,P2,4]	840
XVKP[B,E,P1,5]	960	XVKP[B,Nu,P2,5]	840
XVKP[B,E,P2,1]	960	XVKP[B,S,P1,1]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 6 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P2,2]	960	XVKP[B,S,P1,2]	1000
XVKP[B,E,P2,3]	960	XVKP[B,S,P1,3]	1000
XVKP[B,E,P2,4]	960	XVKP[B,S,P1,4]	1000
XVKP[B,E,P2,5]	960	XVKP[B,S,P1,5]	1000
XVKP[B,FM,P1,1]	1200	XVKP[B,S,P2,1]	1000
XVKP[B,FM,P1,2]	1200	XVKP[B,S,P2,2]	1000
XVKP[B,FM,P1,3]	1200	XVKP[B,S,P2,3]	1000
XVKP[B,FM,P1,4]	1200	XVKP[B,S,P2,4]	1000
XVKP[B,FM,P1,5]	1200	XVKP[B,S,P2,5]	1000
Transportmengen von Kunden zu VSZ			
XKVP[B,B,P1,2]	2850	XKVP[FM,B,P2,2]	600
XKVP[B,B,P1,3]	2850	XKVP[FM,B,P2,3]	600
XKVP[B,B,P1,4]	2850	XKVP[FM,B,P2,4]	600
XKVP[B,B,P1,5]	2850	XKVP[FM,B,P2,5]	600
XKVP[B,B,P2,2]	2850	XKVP[H,B,P1,2]	1500
XKVP[B,B,P2,3]	2850	XKVP[H,B,P1,3]	1500
XKVP[B,B,P2,4]	2850	XKVP[H,B,P1,4]	1500
XKVP[B,B,P2,5]	2850	XKVP[H,B,P1,5]	1500
XKVP[Br,B,P1,2]	460	XKVP[H,B,P2,2]	1500
XKVP[Br,B,P1,3]	460	XKVP[H,B,P2,3]	1500
XKVP[Br,B,P1,4]	460	XKVP[H,B,P2,4]	1500
XKVP[Br,B,P1,5]	460	XKVP[H,B,P2,5]	1500
XKVP[Br,B,P2,2]	460	XKVP[Ha,B,P1,2]	430
XKVP[Br,B,P2,3]	460	XKVP[Ha,B,P1,3]	430
XKVP[Br,B,P2,4]	460	XKVP[Ha,B,P1,4]	430
XKVP[Br,B,P2,5]	460	XKVP[Ha,B,P1,5]	430
XKVP[Do,B,P1,2]	480	XKVP[Ha,B,P2,2]	430
XKVP[Do,B,P1,3]	480	XKVP[Ha,B,P2,3]	430
XKVP[Do,B,P1,4]	480	XKVP[Ha,B,P2,4]	430
XKVP[Do,B,P1,5]	480	XKVP[Ha,B,P2,5]	430
XKVP[Do,B,P2,2]	480	XKVP[K,B,P1,2]	870
XKVP[Do,B,P2,3]	480	XKVP[K,B,P1,3]	870
XKVP[Do,B,P2,4]	480	XKVP[K,B,P1,4]	870
XKVP[Do,B,P2,5]	480	XKVP[K,B,P1,5]	870
XKVP[Dr,B,P1,2]	440	XKVP[K,B,P2,2]	870
XKVP[Dr,B,P1,3]	440	XKVP[K,B,P2,3]	870
XKVP[Dr,B,P1,4]	440	XKVP[K,B,P2,4]	870
XKVP[Dr,B,P1,5]	440	XKVP[K,B,P2,5]	870
XKVP[Dr,B,P2,2]	440	XKVP[L,B,P1,2]	440

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPR-Modells für $LabCap_{ft}^O = 45.000$ Stunden, $\forall f \in F, t \in ST$, unter $c_{kp}^U = 500$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 6 (Eigene Darstellung)

A.6 Das „Two-level Facility Location Capacity Aggregate Production Planning with Transportation and Remanufacturing“ (FLCAPPTR2)-Modell

Das FLCAPPTR2-Modell wird im folgenden vollständig aufgelistet; auf Erläuterungen wird hier verzichtet, da sie im Text aufgeführt werden.

Die Zielfunktion des FLCAPPTR2-Modells lautet:

$$\min ZF_{FLCAPPTR2} = ZF_{FLC} + ZF_{TACAPWTR}$$

mit

$$\begin{aligned} ZF_{FLC} = & \sum_{t \in ST} \left(\left(1/(1+\alpha)^t \right) \cdot \left(\sum_{r \in R} f_r \cdot Y_{Et}^r + \sum_{v \in V} f_v \cdot Y_{Et}^v + \sum_{f \in F} f_f \cdot Y_{Et}^f \right. \right. \\ & + \sum_{r \in R} f_t^r \cdot Y_t^r + \sum_{v \in V} f_t^v \cdot Y_t^v + \sum_{f \in F} f_t^f \cdot Y_t^f \\ & + \sum_{r \in R} sf_r \cdot H_t^r + \sum_{v \in V} sf_v \cdot H_t^v + \sum_{f \in F} sf_f \cdot H_t^f \\ & + e \cdot \left(\sum_{r \in R} fcap_r^{Cost} \cdot CCapU_t^r + \sum_{f \in F} fcap_f^{Cost} \cdot CCapU_t^f + \sum_{v \in V} fcap_v^{Cost} \cdot CCapU_t^v \right. \\ & \left. \left. + \sum_{r \in R} fcap_y^{Rev} \cdot CCapD_t^y + \sum_{f \in F} fcap_f^{Rev} \cdot CCapD_t^f + \sum_{v \in V} fcap_v^{Rev} \cdot CCapD_t^v \right) \right) \end{aligned} \quad (A.1)$$

und

$$\begin{aligned} ZF_{TACAPWTR} = & \sum_{t \in ST} \left(\left(1/(1+\alpha)^t \right) \cdot \sum_{\theta \in \Theta} \left(le\theta \cdot \left(\sum_{r \in R} labcc_r^{Cost} \cdot LCap_{\theta t}^r \right. \right. \right. \\ & + \sum_{f \in F} labcc_f^{Cost} \cdot LCap_{\theta t}^f + \sum_{v \in V} labcc_v^{Cost} \cdot LCap_{\theta t}^v \Big) \\ & + \sum_{r \in R, c \in C} c_r \cdot X_{c\theta t}^r + \sum_{f \in F, p \in P} c_f \cdot X_{p\theta t}^f \\ & + \sum_{r \in R} \left(\sum_{p \in P} h_r^{p\theta} \cdot I_{p\theta t}^r + \sum_{c \in C} h_r^{c\theta} \cdot I_{c\theta t}^r \right) + \sum_{f \in F, c \in C} h_f^{c\theta} \cdot I_{c\theta t}^f \\ & + c^{DEnt} \cdot \left(\sum_{v \in V, p \in P} X_{p\theta t}^{vD} + \sum_{r \in R, c \in C} X_{c\theta t}^{rD} \right) \\ & + \sum_{z \in Z, c \in C, f \in F} (c_{zf}^c \cdot t_{zf}^c + c_z^c) \cdot X_{c\theta t}^{zf} + \sum_{r \in R, c \in C, f \in F} c_{rf}^c \cdot t_{rf}^c \cdot X_{c\theta t}^{rf} \end{aligned} \quad (A.2)$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{f \in F, v \in V, p \in P} c_{fv}^p \cdot t_{fv}^p \cdot X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{vk}^p \cdot t_{vk}^p \cdot X_{p\theta t}^{vk} \\
& + \sum_{k \in K, p \in P} c_k^U \cdot U_{\theta t}^{kp} \\
& + \sum_{v \in V, k \in K, p \in P} c_{kv}^p \cdot t_{kv}^p \cdot X_{p\theta t}^{kv} + \sum_{v \in V, r \in R, p \in P} c_{vr}^p \cdot t_{vr}^p \cdot X_{p\theta t}^{vr} \\
& + \sum_{c \in C, (r,s) \in R: r \neq s} c_{rs}^c \cdot t_{rs}^c \cdot EXI_{c\theta t}^{rs} + \sum_{p \in P, (r,s) \in R: r \neq s} c_{rs}^p \cdot t_{rs}^p \cdot EXI_{p\theta t}^{rs} \\
& + \left(\sum_{c \in C, (f,i) \in F: f \neq i} c_{fi}^c \cdot t_{fi}^c \cdot EXI_{c\theta t}^{fi} + \sum_{p \in P, (v,j) \in V: v \neq j} c_{vj}^p \cdot t_{vj}^p \cdot EXI_{p\theta t}^{vj} \right) \\
& + \left(1/(1 + \alpha)^{LST} \right) \cdot \left(\sum_{f \in F, c \in C} sh_f^c \cdot EI_c^f + \sum_{r \in R} \left(\sum_{p \in P} sh_r^p \cdot EI_p^r + \sum_{c \in C} sh_r^c \cdot EI_c^r \right) \right)
\end{aligned}$$

Bei der Kostenminimierung, also Minimierung von $ZF_{FLCAPPTR2}$ gelten die folgenden Nebenbedingungen.

Nebenbedingungen zur dynamischen Standortplanung:

$$\sum_{t \in ST} Y_{Et}^y \leq 1 \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (\text{A.3})$$

$$Y_{E1}^y = Y_1^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (\text{A.4})$$

$$Y_{t-1}^y - Y_t^y \leq H_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST : t > 1 \quad (\text{A.5})$$

$$\sum_{t \in ST: t \leq s} (Y_{Et}^y - H_t^y) = Y_s^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, s \in ST : s > 1 \quad (\text{A.6})$$

$$\sum_{t \in ST} H_t^y \leq 1 \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (\text{A.7})$$

Nebenbedingungen zur mittelfristigen Transportplanung:

$$N_{kp\theta t} - \sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{vk} = U_{\theta t}^{kp} \quad \forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (\text{A.8})$$

$$\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{kv} = 0 \quad \forall k \in K, p \in P, \theta \in \Theta, t \in \{1, \dots, Mindest - 1\} \quad (\text{A.9})$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{kv} = \sum_{s=1}^t \left(rg_{kp\theta s}^t \cdot \sum_{v \in V, \theta \in \Theta} X_{p\theta s}^{vk} \right) \quad \forall t \in \{Mindest, \dots, LST\}, \\
& \theta \in \Theta, k \in K, p \in P
\end{aligned} \quad (\text{A.10})$$

$$\sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{kv} = \sum_{r \in RD} X_{p\theta t}^{vr} \quad \forall v \in V, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.11)$$

$$\sum_{f \in F} X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{p\theta t}^{jv} = \sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{vk} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{p\theta t}^{vj} \quad \forall v \in V, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.12)$$

$$\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{fv} = X_{p\theta t}^f \quad \forall f \in F, p \in P, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.13)$$

$$X_{p\theta t}^{vD} \geq md_{\theta t} \cdot \sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{kv} \quad \forall v \in V, p \in P, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (A.14)$$

$$md^c \cdot X_{c\theta t}^r \leq X_{c\theta t}^{rD} \quad \forall r \in R, c \in C, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (A.15)$$

Nebenbedingungen zur mittelfristigen aggregierten Produktions- und Personalbestandsplanung:

$$X_{c\theta t}^r = \sum_{p \in P} a_{cp} \cdot X_{p\theta t}^r \quad \forall r \in R, c \in C, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (A.16)$$

$$X_{c\theta t}^f = \sum_{p \in P} b_{cp} \cdot X_{p\theta t}^f \quad \forall f \in F, c \in C, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.17)$$

$$\sum_{c \in C} dR_c \cdot X_{c\theta t}^r \leq le\theta \cdot LCap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (A.18)$$

$$\sum_{p \in P} dF_p \cdot X_{p\theta t}^f \leq le\theta \cdot LCap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.19)$$

$$\sum_{p \in P} dV_p \cdot \sum_{k \in K} \left(X_{p\theta t}^{kv} + X_{p\theta t}^{vk} \right) \leq le\theta \cdot LCap_{\theta t}^v \quad \forall v \in V, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.20)$$

$$LabCap_y^U \cdot Y_t^y \leq le \cdot LCapT_t^y \leq LabCap_{yt}^O \cdot Y_t^y \quad \forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.21)$$

$$LCap_{\theta t}^y \leq LCapT_t^y \quad \forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.22)$$

$$I_{x\theta t}^r = 0 \quad \forall r \in R, x \in C \cup P, \theta \in \Theta, t \in ST : t \leq Mindest - 1 \quad (A.23)$$

$$I_{p1Mindest}^r = \sum_{v \in V} X_{p1Mindest}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p1Mindest}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p1Mindest}^{rs} - X_{p1Mindest}^r \quad \forall r \in R, p \in P \quad (A.24)$$

$$I_{p1t}^r = I_{pL\theta STt-1}^r + \sum_{v \in V} X_{p1t}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p1t}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p1t}^{rs} - X_{p1t}^r \quad \forall r \in R, p \in P, t \in \{Mindest + 1, \dots, LST\} \quad (A.25)$$

$$I_{p\theta t}^r = I_{p\theta-1t}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p\theta t}^{sr} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p\theta t}^{rs} - X_{p\theta t}^r \quad (\text{A.26})$$

$$\forall r \in R, p \in P, \theta \in \Theta : \theta > 1, t \in \{Mindest, \dots, LST\}$$

$$\begin{aligned} I_{c1Mindest}^r &= \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c1Mindest}^{sr} + X_{c1Mindest}^r - \sum_{f \in FD} X_{c1Mindest}^{rf} \\ &- \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c1Mindest}^{rs} \quad \forall r \in R, c \in C \end{aligned} \quad (\text{A.27})$$

$$\begin{aligned} I_{c1t}^r &= I_{cL\theta STt-1}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c1t}^{sr} + X_{c1t}^r - \sum_{f \in FD} X_{c1t}^{rf} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c1t}^{rs} \\ &\forall r \in R, c \in C, t \in \{Mindest + 1, \dots, LST\} \end{aligned} \quad (\text{A.28})$$

$$\begin{aligned} I_{c\theta t}^r &= I_{c\theta-1t}^r + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{sr} + X_{c\theta t}^r - \sum_{f \in FD} X_{c\theta t}^{rf} - \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{rs} \\ &\forall r \in R, c \in C, \theta \in \Theta : \theta > 1, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \end{aligned} \quad (\text{A.29})$$

$$\begin{aligned} I_{c11}^f &= \sum_{z \in Z} X_{c11}^{zf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c11}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c11}^{fi} - X_{c11}^f \\ &\forall f \in F, c \in C \end{aligned} \quad (\text{A.30})$$

$$\begin{aligned} I_{c1t}^f &= I_{cL\theta STt-1}^f + \sum_{z \in Z} X_{c1t}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c1t}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c1t}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c1t}^{fi} - X_{c1t}^f \\ &\forall f \in F, c \in C, t \in ST : t > 1 \end{aligned} \quad (\text{A.31})$$

$$\begin{aligned} I_{c\theta t}^f &= I_{c\theta-1t}^f + \sum_{z \in Z} X_{c\theta t}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c\theta t}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{if} - \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{fi} - X_{c\theta t}^f \\ &\forall f \in F, c \in C, t \in ST, \theta \in \Theta : \theta > 1 \end{aligned} \quad (\text{A.32})$$

$$I_{xL\theta STLST}^r = EI_x^r \quad \forall r \in R, x \in C \cup P \quad (\text{A.33})$$

$$I_{cL\theta STLST}^f = EI_c^f \quad \forall f \in F, c \in C \quad (\text{A.34})$$

Nebenbedingungen zur Kapazitätseinhaltung und -planung:

$$Cap_{\theta t}^y \leq CapT_t^y \quad \forall y \in V \cup F \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (\text{A.35})$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot I_{c\theta t}^f \leq e \cdot Cap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (\text{A.36})$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot I_{c\theta t}^r + \sum_{p \in P} g_p \cdot I_{p\theta t}^r \leq e \cdot Cap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (\text{A.37})$$

$$\sum_{p \in P} g_p \cdot X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{c \in C} g_c \cdot \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{fi} \leq e \cdot Cap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (\text{A.38})$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{z \in Z} X_{c\theta t}^{zf} + \sum_{r \in R} X_{c\theta t}^{rf} + \sum_{i \in F: i \neq f} EXI_{c\theta t}^{if} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^f \quad \forall f \in F, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (A.39)$$

$$\sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{f \in F} X_{p\theta t}^{fv} + \sum_{k \in K} X_{p\theta t}^{kv} + \sum_{j \in V: j \neq v} EXI_{p\theta t}^{jv} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^v \quad (A.40)$$

$$\forall v \in V, \theta \in \Theta, t \in ST$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{f \in F} X_{c\theta t}^{rf} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{rs} \right) + \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p\theta t}^{rs} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (A.41)$$

$$\sum_{c \in C} g_c \cdot \left(\sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{c\theta t}^{sr} \right) + \sum_{p \in P} g_p \cdot \left(\sum_{v \in V} X_{p\theta t}^{vr} + \sum_{s \in R: s \neq r} EXI_{p\theta t}^{sr} \right) \leq e \cdot Cap_{\theta t}^r \quad \forall r \in R, \theta \in \Theta, t \in \{Mindest, \dots, LST\} \quad (A.42)$$

$$Cap_y^U \cdot Y_t^y \leq e \cdot CapT_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot Y_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (A.43)$$

$$CapT_1^y = CCap_1^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V \quad (A.44)$$

$$CapT_t^y - CapT_{t-1}^y = CCap_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST : t > 1 \quad (A.45)$$

$$CCap_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot YCCapU_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (A.46)$$

$$CCap_t^y - CCapU_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot (1 - YCCapU_t^y) \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (A.47)$$

$$CCapU_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot YCCapU_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in T, t \in ST \quad (A.48)$$

$$CCap_t^y - CCapD_t^y \leq Cap_{yt}^O \cdot YCCapU_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (A.49)$$

$$CCapD_t^y \geq -Cap_{yt}^O \cdot (1 - YCCapU_t^y) \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (A.50)$$

$$YCCapU_t^y \leq Y_t^y \quad \forall y \in F \cup R \cup V, t \in ST \quad (A.51)$$

Nebenbedingungen zur Definition der Entscheidungsvariablen:

$$\begin{aligned} & U_{pt}^k, X_{p\theta t}^{kv}, X_{p\theta t}^{vk}, X_{p\theta t}^{vr}, X_{c\theta t}^{zf}, X_{c\theta t}^{rf}, X_{p\theta t}^{fv}, EXI_{c\theta t}^{rs}, EXI_{p\theta t}^{rs}, EXI_{c\theta t}^{fi}, EXI_{p\theta t}^{vj}, \\ & X_{c\theta t}^r, X_{p\theta t}^r, X_{p\theta t}^f, X_{c\theta t}^f, I_{c\theta t}^f, I_{c\theta t}^r, I_{p\theta t}^r, EI_c^f, EI_c^r, EI_p^r, \\ & LCap_{\theta t}^r, LCap_{\theta t}^f, LCap_{\theta t}^v, LCapT_t^r, LCapT_t^f, LCapT_t^v, Cap_{\theta t}^r, Cap_{\theta t}^f, Cap_{\theta t}^v, \\ & CCapU_t^y, CapT_t^r, CapT_t^f, CapT_t^v \in \mathbb{Z}^+ \end{aligned} \quad (A.52)$$

$$\forall p \in P, c \in C, r \in RD, k \in K, v \in V, f \in FD, z \in Z, \theta \in \Theta, t \in ST$$

$$CCap_t^y \in \mathbb{Z} \quad \forall y \in F \cup V \cup R, \theta \in \Theta, t \in ST \quad (\text{A.53})$$

$$CCapD_t^y \in \mathbb{Z}^- \quad \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \quad (\text{A.54})$$

$$Y^y, Y_t^y, H_t^y, YCCapU_t^y \in \{0, 1\} \quad \forall y \in F \cup V \cup R, t \in ST \quad (\text{A.55})$$

A.7 Lösungen des FLCAPPTR2-Modells und weitere Daten für die Ausgangslösung und Sensitivitätsanalyse

Tabelle A.17: Nachgefragte Menge der Kunden pro Quartal im Jahr

Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt P_1 bzw. P_2
Du	200
Nu	210
Ha	214
L	220
Dr	220
Br	230
E	240
Do	240
Due	250
S	250
FM	300
K	434
M	600
H	750
B	1.424

Lösung des FLCAPPTR2-Modells für $c^U = 80$ für jedes Produkt und jeden Kunden			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			17.960.025,23
Unbefriedigte Nachfrage in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
Utac[B,P1,1,1]	1424	Utac[FM,P2,1,1]	300
Utac[B,P1,1,2]	1424	Utac[FM,P2,1,2]	300
Utac[B,P1,1,3]	1424	Utac[FM,P2,1,3]	300
Utac[B,P1,1,4]	1424	Utac[FM,P2,1,4]	300
Utac[B,P1,1,5]	1424	Utac[FM,P2,1,5]	300
Utac[B,P1,2,1]	1424	Utac[FM,P2,2,1]	300
Utac[B,P1,2,2]	1424	Utac[FM,P2,2,2]	300
Utac[B,P1,2,3]	1424	Utac[FM,P2,2,3]	300
Utac[B,P1,2,4]	1424	Utac[FM,P2,2,4]	300
Utac[B,P1,2,5]	1424	Utac[FM,P2,2,5]	300
Utac[B,P1,3,1]	1424	Utac[FM,P2,3,1]	300
Utac[B,P1,3,2]	1424	Utac[FM,P2,3,2]	300
Utac[B,P1,3,3]	1424	Utac[FM,P2,3,3]	300
Utac[B,P1,3,4]	1424	Utac[FM,P2,3,4]	300
Utac[B,P1,3,5]	1424	Utac[FM,P2,3,5]	300
Utac[B,P1,4,1]	1424	Utac[FM,P2,4,1]	300
Utac[B,P1,4,2]	1424	Utac[FM,P2,4,2]	300
Utac[B,P1,4,3]	1424	Utac[FM,P2,4,3]	300
Utac[B,P1,4,4]	1424	Utac[FM,P2,4,4]	300
Utac[B,P1,4,5]	1424	Utac[FM,P2,4,5]	300
Utac[B,P2,1,1]	1424	Utac[H,P1,1,1]	750
Utac[B,P2,1,2]	1424	Utac[H,P1,1,2]	750
Utac[B,P2,1,3]	1424	Utac[H,P1,1,3]	750
Utac[B,P2,1,4]	1424	Utac[H,P1,1,4]	750
Utac[B,P2,1,5]	1424	Utac[H,P1,1,5]	750
Utac[B,P2,2,1]	1424	Utac[H,P1,2,1]	750
Utac[B,P2,2,2]	1424	Utac[H,P1,2,2]	750
Utac[B,P2,2,3]	1424	Utac[H,P1,2,3]	750
Utac[B,P2,2,4]	1424	Utac[H,P1,2,4]	750
Utac[B,P2,2,5]	1424	Utac[H,P1,2,5]	750
Utac[B,P2,3,1]	1424	Utac[H,P1,3,1]	750
Utac[B,P2,3,2]	1424	Utac[H,P1,3,2]	750
Utac[B,P2,3,3]	1424	Utac[H,P1,3,3]	750
Utac[B,P2,3,4]	1424	Utac[H,P1,3,4]	750
Utac[B,P2,3,5]	1424	Utac[H,P1,3,5]	750

Abbildung A.43: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[B,P2,4,1]	1424	Utac[H,P1,4,1]	750
Utac[B,P2,4,2]	1424	Utac[H,P1,4,2]	750
Utac[B,P2,4,3]	1424	Utac[H,P1,4,3]	750
Utac[B,P2,4,4]	1424	Utac[H,P1,4,4]	750
Utac[B,P2,4,5]	1424	Utac[H,P1,4,5]	750
Utac[Br,P1,1,1]	230	Utac[H,P2,1,1]	750
Utac[Br,P1,1,2]	230	Utac[H,P2,1,2]	750
Utac[Br,P1,1,3]	230	Utac[H,P2,1,3]	750
Utac[Br,P1,1,4]	230	Utac[H,P2,1,4]	750
Utac[Br,P1,1,5]	230	Utac[H,P2,1,5]	750
Utac[Br,P1,2,1]	230	Utac[H,P2,2,1]	750
Utac[Br,P1,2,2]	230	Utac[H,P2,2,2]	750
Utac[Br,P1,2,3]	230	Utac[H,P2,2,3]	750
Utac[Br,P1,2,4]	230	Utac[H,P2,2,4]	750
Utac[Br,P1,2,5]	230	Utac[H,P2,2,5]	750
Utac[Br,P1,3,1]	230	Utac[H,P2,3,1]	750
Utac[Br,P1,3,2]	230	Utac[H,P2,3,2]	750
Utac[Br,P1,3,3]	230	Utac[H,P2,3,3]	750
Utac[Br,P1,3,4]	230	Utac[H,P2,3,4]	750
Utac[Br,P1,3,5]	230	Utac[H,P2,3,5]	750
Utac[Br,P1,4,1]	230	Utac[H,P2,4,1]	750
Utac[Br,P1,4,2]	230	Utac[H,P2,4,2]	750
Utac[Br,P1,4,3]	230	Utac[H,P2,4,3]	750
Utac[Br,P1,4,4]	230	Utac[H,P2,4,4]	750
Utac[Br,P1,4,5]	230	Utac[H,P2,4,5]	750
Utac[Br,P2,1,1]	230	Utac[Ha,P1,1,1]	214
Utac[Br,P2,1,2]	230	Utac[Ha,P1,1,2]	214
Utac[Br,P2,1,3]	230	Utac[Ha,P1,1,3]	214
Utac[Br,P2,1,4]	230	Utac[Ha,P1,1,4]	214
Utac[Br,P2,1,5]	230	Utac[Ha,P1,1,5]	214
Utac[Br,P2,2,1]	230	Utac[Ha,P1,2,1]	214
Utac[Br,P2,2,2]	230	Utac[Ha,P1,2,2]	214
Utac[Br,P2,2,3]	230	Utac[Ha,P1,2,3]	214
Utac[Br,P2,2,4]	230	Utac[Ha,P1,2,4]	214
Utac[Br,P2,2,5]	230	Utac[Ha,P1,2,5]	214
Utac[Br,P2,3,1]	230	Utac[Ha,P1,3,1]	214
Utac[Br,P2,3,2]	230	Utac[Ha,P1,3,2]	214
Utac[Br,P2,3,3]	230	Utac[Ha,P1,3,3]	214

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Br,P2,3,4]	230	Utac[Ha,P1,3,4]	214
Utac[Br,P2,3,5]	230	Utac[Ha,P1,3,5]	214
Utac[Br,P2,4,1]	230	Utac[Ha,P1,4,1]	214
Utac[Br,P2,4,2]	230	Utac[Ha,P1,4,2]	214
Utac[Br,P2,4,3]	230	Utac[Ha,P1,4,3]	214
Utac[Br,P2,4,4]	230	Utac[Ha,P1,4,4]	214
Utac[Br,P2,4,5]	230	Utac[Ha,P1,4,5]	214
Utac[Do,P1,1,1]	240	Utac[Ha,P2,1,1]	214
Utac[Do,P1,1,2]	240	Utac[Ha,P2,1,2]	214
Utac[Do,P1,1,3]	240	Utac[Ha,P2,1,3]	214
Utac[Do,P1,1,4]	240	Utac[Ha,P2,1,4]	214
Utac[Do,P1,1,5]	240	Utac[Ha,P2,1,5]	214
Utac[Do,P1,2,1]	240	Utac[Ha,P2,2,1]	214
Utac[Do,P1,2,2]	240	Utac[Ha,P2,2,2]	214
Utac[Do,P1,2,3]	240	Utac[Ha,P2,2,3]	214
Utac[Do,P1,2,4]	240	Utac[Ha,P2,2,4]	214
Utac[Do,P1,2,5]	240	Utac[Ha,P2,2,5]	214
Utac[Do,P1,3,1]	240	Utac[Ha,P2,3,1]	214
Utac[Do,P1,3,2]	240	Utac[Ha,P2,3,2]	214
Utac[Do,P1,3,3]	240	Utac[Ha,P2,3,3]	214
Utac[Do,P1,3,4]	240	Utac[Ha,P2,3,4]	214
Utac[Do,P1,3,5]	240	Utac[Ha,P2,3,5]	214
Utac[Do,P1,4,1]	240	Utac[Ha,P2,4,1]	214
Utac[Do,P1,4,2]	240	Utac[Ha,P2,4,2]	214
Utac[Do,P1,4,3]	240	Utac[Ha,P2,4,3]	214
Utac[Do,P1,4,4]	240	Utac[Ha,P2,4,4]	214
Utac[Do,P1,4,5]	240	Utac[Ha,P2,4,5]	214
Utac[Do,P2,1,1]	240	Utac[K,P1,1,1]	434
Utac[Do,P2,1,2]	240	Utac[K,P1,1,2]	434
Utac[Do,P2,1,3]	240	Utac[K,P1,1,3]	434
Utac[Do,P2,1,4]	240	Utac[K,P1,1,4]	434
Utac[Do,P2,1,5]	240	Utac[K,P1,1,5]	434
Utac[Do,P2,2,1]	240	Utac[K,P1,2,1]	434
Utac[Do,P2,2,2]	240	Utac[K,P1,2,2]	434
Utac[Do,P2,2,3]	240	Utac[K,P1,2,3]	434
Utac[Do,P2,2,4]	240	Utac[K,P1,2,4]	434
Utac[Do,P2,2,5]	240	Utac[K,P1,2,5]	434
Utac[Do,P2,3,1]	240	Utac[K,P1,3,1]	434

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Do,P2,3,2]	240	Utac[K,P1,3,2]	434
Utac[Do,P2,3,3]	240	Utac[K,P1,3,3]	434
Utac[Do,P2,3,4]	240	Utac[K,P1,3,4]	434
Utac[Do,P2,3,5]	240	Utac[K,P1,3,5]	434
Utac[Do,P2,4,1]	240	Utac[K,P1,4,1]	434
Utac[Do,P2,4,2]	240	Utac[K,P1,4,2]	434
Utac[Do,P2,4,3]	240	Utac[K,P1,4,3]	434
Utac[Do,P2,4,4]	240	Utac[K,P1,4,4]	434
Utac[Do,P2,4,5]	240	Utac[K,P1,4,5]	434
Utac[Dr,P1,1,1]	220	Utac[K,P2,1,1]	434
Utac[Dr,P1,1,2]	220	Utac[K,P2,1,2]	434
Utac[Dr,P1,1,3]	220	Utac[K,P2,1,3]	434
Utac[Dr,P1,1,4]	220	Utac[K,P2,1,4]	434
Utac[Dr,P1,1,5]	220	Utac[K,P2,1,5]	434
Utac[Dr,P1,2,1]	220	Utac[K,P2,2,1]	434
Utac[Dr,P1,2,2]	220	Utac[K,P2,2,2]	434
Utac[Dr,P1,2,3]	220	Utac[K,P2,2,3]	434
Utac[Dr,P1,2,4]	220	Utac[K,P2,2,4]	434
Utac[Dr,P1,2,5]	220	Utac[K,P2,2,5]	434
Utac[Dr,P1,3,1]	220	Utac[K,P2,3,1]	434
Utac[Dr,P1,3,2]	220	Utac[K,P2,3,2]	434
Utac[Dr,P1,3,3]	220	Utac[K,P2,3,3]	434
Utac[Dr,P1,3,4]	220	Utac[K,P2,3,4]	434
Utac[Dr,P1,3,5]	220	Utac[K,P2,3,5]	434
Utac[Dr,P1,4,1]	220	Utac[K,P2,4,1]	434
Utac[Dr,P1,4,2]	220	Utac[K,P2,4,2]	434
Utac[Dr,P1,4,3]	220	Utac[K,P2,4,3]	434
Utac[Dr,P1,4,4]	220	Utac[K,P2,4,4]	434
Utac[Dr,P1,4,5]	220	Utac[K,P2,4,5]	434
Utac[Dr,P2,1,1]	220	Utac[L,P1,1,1]	220
Utac[Dr,P2,1,2]	220	Utac[L,P1,1,2]	220
Utac[Dr,P2,1,3]	220	Utac[L,P1,1,3]	220
Utac[Dr,P2,1,4]	220	Utac[L,P1,1,4]	220
Utac[Dr,P2,1,5]	220	Utac[L,P1,1,5]	220
Utac[Dr,P2,2,1]	220	Utac[L,P1,2,1]	220
Utac[Dr,P2,2,2]	220	Utac[L,P1,2,2]	220
Utac[Dr,P2,2,3]	220	Utac[L,P1,2,3]	220
Utac[Dr,P2,2,4]	220	Utac[L,P1,2,4]	220

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Dr,P2,2,5]	220	Utac[L,P1,2,5]	220
Utac[Dr,P2,3,1]	220	Utac[L,P1,3,1]	220
Utac[Dr,P2,3,2]	220	Utac[L,P1,3,2]	220
Utac[Dr,P2,3,3]	220	Utac[L,P1,3,3]	220
Utac[Dr,P2,3,4]	220	Utac[L,P1,3,4]	220
Utac[Dr,P2,3,5]	220	Utac[L,P1,3,5]	220
Utac[Dr,P2,4,1]	220	Utac[L,P1,4,1]	220
Utac[Dr,P2,4,2]	220	Utac[L,P1,4,2]	220
Utac[Dr,P2,4,3]	220	Utac[L,P1,4,3]	220
Utac[Dr,P2,4,4]	220	Utac[L,P1,4,4]	220
Utac[Dr,P2,4,5]	220	Utac[L,P1,4,5]	220
Utac[Du,P1,1,1]	200	Utac[L,P2,1,1]	220
Utac[Du,P1,1,2]	200	Utac[L,P2,1,2]	220
Utac[Du,P1,1,3]	200	Utac[L,P2,1,3]	220
Utac[Du,P1,1,4]	200	Utac[L,P2,1,4]	220
Utac[Du,P1,1,5]	200	Utac[L,P2,1,5]	220
Utac[Du,P1,2,1]	200	Utac[L,P2,2,1]	220
Utac[Du,P1,2,2]	200	Utac[L,P2,2,2]	220
Utac[Du,P1,2,3]	200	Utac[L,P2,2,3]	220
Utac[Du,P1,2,4]	200	Utac[L,P2,2,4]	220
Utac[Du,P1,2,5]	200	Utac[L,P2,2,5]	220
Utac[Du,P1,3,1]	200	Utac[L,P2,3,1]	220
Utac[Du,P1,3,2]	200	Utac[L,P2,3,2]	220
Utac[Du,P1,3,3]	200	Utac[L,P2,3,3]	220
Utac[Du,P1,3,4]	200	Utac[L,P2,3,4]	220
Utac[Du,P1,3,5]	200	Utac[L,P2,3,5]	220
Utac[Du,P1,4,1]	200	Utac[L,P2,4,1]	220
Utac[Du,P1,4,2]	200	Utac[L,P2,4,2]	220
Utac[Du,P1,4,3]	200	Utac[L,P2,4,3]	220
Utac[Du,P1,4,4]	200	Utac[L,P2,4,4]	220
Utac[Du,P1,4,5]	200	Utac[L,P2,4,5]	220
Utac[Du,P2,1,1]	200	Utac[M,P1,1,1]	600
Utac[Du,P2,1,2]	200	Utac[M,P1,1,2]	600
Utac[Du,P2,1,3]	200	Utac[M,P1,1,3]	600
Utac[Du,P2,1,4]	200	Utac[M,P1,1,4]	600
Utac[Du,P2,1,5]	200	Utac[M,P1,1,5]	600
Utac[Du,P2,2,1]	200	Utac[M,P1,2,1]	600
Utac[Du,P2,2,2]	200	Utac[M,P1,2,2]	600

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Du,P2,2,3]	200	Utac[M,P1,2,3]	600
Utac[Du,P2,2,4]	200	Utac[M,P1,2,4]	600
Utac[Du,P2,2,5]	200	Utac[M,P1,2,5]	600
Utac[Du,P2,3,1]	200	Utac[M,P1,3,1]	600
Utac[Du,P2,3,2]	200	Utac[M,P1,3,2]	600
Utac[Du,P2,3,3]	200	Utac[M,P1,3,3]	600
Utac[Du,P2,3,4]	200	Utac[M,P1,3,4]	600
Utac[Du,P2,3,5]	200	Utac[M,P1,3,5]	600
Utac[Du,P2,4,1]	200	Utac[M,P1,4,1]	600
Utac[Du,P2,4,2]	200	Utac[M,P1,4,2]	600
Utac[Du,P2,4,3]	200	Utac[M,P1,4,3]	600
Utac[Du,P2,4,4]	200	Utac[M,P1,4,4]	600
Utac[Du,P2,4,5]	200	Utac[M,P1,4,5]	600
Utac[Due,P1,1,1]	250	Utac[M,P2,1,1]	600
Utac[Due,P1,1,2]	250	Utac[M,P2,1,2]	600
Utac[Due,P1,1,3]	250	Utac[M,P2,1,3]	600
Utac[Due,P1,1,4]	250	Utac[M,P2,1,4]	600
Utac[Due,P1,1,5]	250	Utac[M,P2,1,5]	600
Utac[Due,P1,2,1]	250	Utac[M,P2,2,1]	600
Utac[Due,P1,2,2]	250	Utac[M,P2,2,2]	600
Utac[Due,P1,2,3]	250	Utac[M,P2,2,3]	600
Utac[Due,P1,2,4]	250	Utac[M,P2,2,4]	600
Utac[Due,P1,2,5]	250	Utac[M,P2,2,5]	600
Utac[Due,P1,3,1]	250	Utac[M,P2,3,1]	600
Utac[Due,P1,3,2]	250	Utac[M,P2,3,2]	600
Utac[Due,P1,3,3]	250	Utac[M,P2,3,3]	600
Utac[Due,P1,3,4]	250	Utac[M,P2,3,4]	600
Utac[Due,P1,3,5]	250	Utac[M,P2,3,5]	600
Utac[Due,P1,4,1]	250	Utac[M,P2,4,1]	600
Utac[Due,P1,4,2]	250	Utac[M,P2,4,2]	600
Utac[Due,P1,4,3]	250	Utac[M,P2,4,3]	600
Utac[Due,P1,4,4]	250	Utac[M,P2,4,4]	600
Utac[Due,P1,4,5]	250	Utac[M,P2,4,5]	600
Utac[Due,P2,1,1]	250	Utac[Nu,P1,1,1]	210
Utac[Due,P2,1,2]	250	Utac[Nu,P1,1,2]	210
Utac[Due,P2,1,3]	250	Utac[Nu,P1,1,3]	210
Utac[Due,P2,1,4]	250	Utac[Nu,P1,1,4]	210
Utac[Due,P2,1,5]	250	Utac[Nu,P1,1,5]	210

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Due,P2,2,1]	250	Utac[Nu,P1,2,1]	210
Utac[Due,P2,2,2]	250	Utac[Nu,P1,2,2]	210
Utac[Due,P2,2,3]	250	Utac[Nu,P1,2,3]	210
Utac[Due,P2,2,4]	250	Utac[Nu,P1,2,4]	210
Utac[Due,P2,2,5]	250	Utac[Nu,P1,2,5]	210
Utac[Due,P2,3,1]	250	Utac[Nu,P1,3,1]	210
Utac[Due,P2,3,2]	250	Utac[Nu,P1,3,2]	210
Utac[Due,P2,3,3]	250	Utac[Nu,P1,3,3]	210
Utac[Due,P2,3,4]	250	Utac[Nu,P1,3,4]	210
Utac[Due,P2,3,5]	250	Utac[Nu,P1,3,5]	210
Utac[Due,P2,4,1]	250	Utac[Nu,P1,4,1]	210
Utac[Due,P2,4,2]	250	Utac[Nu,P1,4,2]	210
Utac[Due,P2,4,3]	250	Utac[Nu,P1,4,3]	210
Utac[Due,P2,4,4]	250	Utac[Nu,P1,4,4]	210
Utac[Due,P2,4,5]	250	Utac[Nu,P1,4,5]	210
Utac[E,P1,1,1]	240	Utac[Nu,P2,1,1]	210
Utac[E,P1,1,2]	240	Utac[Nu,P2,1,2]	210
Utac[E,P1,1,3]	240	Utac[Nu,P2,1,3]	210
Utac[E,P1,1,4]	240	Utac[Nu,P2,1,4]	210
Utac[E,P1,1,5]	240	Utac[Nu,P2,1,5]	210
Utac[E,P1,2,1]	240	Utac[Nu,P2,2,1]	210
Utac[E,P1,2,2]	240	Utac[Nu,P2,2,2]	210
Utac[E,P1,2,3]	240	Utac[Nu,P2,2,3]	210
Utac[E,P1,2,4]	240	Utac[Nu,P2,2,4]	210
Utac[E,P1,2,5]	240	Utac[Nu,P2,2,5]	210
Utac[E,P1,3,1]	240	Utac[Nu,P2,3,1]	210
Utac[E,P1,3,2]	240	Utac[Nu,P2,3,2]	210
Utac[E,P1,3,3]	240	Utac[Nu,P2,3,3]	210
Utac[E,P1,3,4]	240	Utac[Nu,P2,3,4]	210
Utac[E,P1,3,5]	240	Utac[Nu,P2,3,5]	210
Utac[E,P1,4,1]	240	Utac[Nu,P2,4,1]	210
Utac[E,P1,4,2]	240	Utac[Nu,P2,4,2]	210
Utac[E,P1,4,3]	240	Utac[Nu,P2,4,3]	210
Utac[E,P1,4,4]	240	Utac[Nu,P2,4,4]	210
Utac[E,P1,4,5]	240	Utac[Nu,P2,4,5]	210
Utac[E,P2,1,1]	240	Utac[S,P1,1,1]	250
Utac[E,P2,1,2]	240	Utac[S,P1,1,2]	250
Utac[E,P2,1,3]	240	Utac[S,P1,1,3]	250

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[E,P2,1,4]	240	Utac[S,P1,1,4]	250
Utac[E,P2,1,5]	240	Utac[S,P1,1,5]	250
Utac[E,P2,2,1]	240	Utac[S,P1,2,1]	250
Utac[E,P2,2,2]	240	Utac[S,P1,2,2]	250
Utac[E,P2,2,3]	240	Utac[S,P1,2,3]	250
Utac[E,P2,2,4]	240	Utac[S,P1,2,4]	250
Utac[E,P2,2,5]	240	Utac[S,P1,2,5]	250
Utac[E,P2,3,1]	240	Utac[S,P1,3,1]	250
Utac[E,P2,3,2]	240	Utac[S,P1,3,2]	250
Utac[E,P2,3,3]	240	Utac[S,P1,3,3]	250
Utac[E,P2,3,4]	240	Utac[S,P1,3,4]	250
Utac[E,P2,3,5]	240	Utac[S,P1,3,5]	250
Utac[E,P2,4,1]	240	Utac[S,P1,4,1]	250
Utac[E,P2,4,2]	240	Utac[S,P1,4,2]	250
Utac[E,P2,4,3]	240	Utac[S,P1,4,3]	250
Utac[E,P2,4,4]	240	Utac[S,P1,4,4]	250
Utac[E,P2,4,5]	240	Utac[S,P1,4,5]	250
Utac[FM,P1,1,1]	300	Utac[S,P2,1,1]	250
Utac[FM,P1,1,2]	300	Utac[S,P2,1,2]	250
Utac[FM,P1,1,3]	300	Utac[S,P2,1,3]	250
Utac[FM,P1,1,4]	300	Utac[S,P2,1,4]	250
Utac[FM,P1,1,5]	300	Utac[S,P2,1,5]	250
Utac[FM,P1,2,1]	300	Utac[S,P2,2,1]	250
Utac[FM,P1,2,2]	300	Utac[S,P2,2,2]	250
Utac[FM,P1,2,3]	300	Utac[S,P2,2,3]	250
Utac[FM,P1,2,4]	300	Utac[S,P2,2,4]	250
Utac[FM,P1,2,5]	300	Utac[S,P2,2,5]	250
Utac[FM,P1,3,1]	300	Utac[S,P2,3,1]	250
Utac[FM,P1,3,2]	300	Utac[S,P2,3,2]	250
Utac[FM,P1,3,3]	300	Utac[S,P2,3,3]	250
Utac[FM,P1,3,4]	300	Utac[S,P2,3,4]	250
Utac[FM,P1,3,5]	300	Utac[S,P2,3,5]	250
Utac[FM,P1,4,1]	300	Utac[S,P2,4,1]	250
Utac[FM,P1,4,2]	300	Utac[S,P2,4,2]	250
Utac[FM,P1,4,3]	300	Utac[S,P2,4,3]	250
Utac[FM,P1,4,4]	300	Utac[S,P2,4,4]	250
Utac[FM,P1,4,5]	300	Utac[S,P2,4,5]	250

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 10 (Eigene Darstellung)

Unbefriedigte Nachfrage der langfristigen Periode			
U[B,P1,1]	5696	U[FM,P2,1]	1200
U[B,P1,2]	5696	U[FM,P2,2]	1200
U[B,P1,3]	5696	U[FM,P2,3]	1200
U[B,P1,4]	5696	U[FM,P2,4]	1200
U[B,P1,5]	5696	U[FM,P2,5]	1200
U[B,P2,1]	5696	U[H,P1,1]	3000
U[B,P2,2]	5696	U[H,P1,2]	3000
U[B,P2,3]	5696	U[H,P1,3]	3000
U[B,P2,4]	5696	U[H,P1,4]	3000
U[B,P2,5]	5696	U[H,P1,5]	3000
U[Br,P1,1]	920	U[H,P2,1]	3000
U[Br,P1,2]	920	U[H,P2,2]	3000
U[Br,P1,3]	920	U[H,P2,3]	3000
U[Br,P1,4]	920	U[H,P2,4]	3000
U[Br,P1,5]	920	U[H,P2,5]	3000
U[Br,P2,1]	920	U[Ha,P1,1]	856
U[Br,P2,2]	920	U[Ha,P1,2]	856
U[Br,P2,3]	920	U[Ha,P1,3]	856
U[Br,P2,4]	920	U[Ha,P1,4]	856
U[Br,P2,5]	920	U[Ha,P1,5]	856
U[Do,P1,1]	960	U[Ha,P2,1]	856
U[Do,P1,2]	960	U[Ha,P2,2]	856
U[Do,P1,3]	960	U[Ha,P2,3]	856
U[Do,P1,4]	960	U[Ha,P2,4]	856
U[Do,P1,5]	960	U[Ha,P2,5]	856
U[Do,P2,1]	960	U[K,P1,1]	1736
U[Do,P2,2]	960	U[K,P1,2]	1736
U[Do,P2,3]	960	U[K,P1,3]	1736
U[Do,P2,4]	960	U[K,P1,4]	1736
U[Do,P2,5]	960	U[K,P1,5]	1736
U[Dr,P1,1]	880	U[K,P2,1]	1736
U[Dr,P1,2]	880	U[K,P2,2]	1736
U[Dr,P1,3]	880	U[K,P2,3]	1736
U[Dr,P1,4]	880	U[K,P2,4]	1736
U[Dr,P1,5]	880	U[K,P2,5]	1736
U[Dr,P2,1]	880	U[L,P1,1]	880
U[Dr,P2,2]	880	U[L,P1,2]	880
U[Dr,P2,3]	880	U[L,P1,3]	880

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80, \forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 10 (Eigene Darstellung)

U[Dr,P2,4]	880	U[L,P1,4]	880
U[Dr,P2,5]	880	U[L,P1,5]	880
U[Du,P1,1]	800	U[L,P2,1]	880
U[Du,P1,2]	800	U[L,P2,2]	880
U[Du,P1,3]	800	U[L,P2,3]	880
U[Du,P1,4]	800	U[L,P2,4]	880
U[Du,P1,5]	800	U[L,P2,5]	880
U[Du,P2,1]	800	U[M,P1,1]	2400
U[Du,P2,2]	800	U[M,P1,2]	2400
U[Du,P2,3]	800	U[M,P1,3]	2400
U[Du,P2,4]	800	U[M,P1,4]	2400
U[Du,P2,5]	800	U[M,P1,5]	2400
U[Due,P1,1]	1000	U[M,P2,1]	2400
U[Due,P1,2]	1000	U[M,P2,2]	2400
U[Due,P1,3]	1000	U[M,P2,3]	2400
U[Due,P1,4]	1000	U[M,P2,4]	2400
U[Due,P1,5]	1000	U[M,P2,5]	2400
U[Due,P2,1]	1000	U[Nu,P1,1]	840
U[Due,P2,2]	1000	U[Nu,P1,2]	840
U[Due,P2,3]	1000	U[Nu,P1,3]	840
U[Due,P2,4]	1000	U[Nu,P1,4]	840
U[Due,P2,5]	1000	U[Nu,P1,5]	840
U[E,P1,1]	960	U[Nu,P2,1]	840
U[E,P1,2]	960	U[Nu,P2,2]	840
U[E,P1,3]	960	U[Nu,P2,3]	840
U[E,P1,4]	960	U[Nu,P2,4]	840
U[E,P1,5]	960	U[Nu,P2,5]	840
U[E,P2,1]	960	U[S,P1,1]	1000
U[E,P2,2]	960	U[S,P1,2]	1000
U[E,P2,3]	960	U[S,P1,3]	1000
U[E,P2,4]	960	U[S,P1,4]	1000
U[E,P2,5]	960	U[S,P1,5]	1000
U[FM,P1,1]	1200	U[S,P2,1]	1000
U[FM,P1,2]	1200	U[S,P2,2]	1000
U[FM,P1,3]	1200	U[S,P2,3]	1000
U[FM,P1,4]	1200	U[S,P2,4]	1000
U[FM,P1,5]	1200	U[S,P2,5]	1000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 80$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 10 von 10 (Eigene Darstellung)

Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)			18.122.659,02
Variablen für Standorteröffnungen in langfristiger Periode			
YFGes[B,1]	1	YVGes[B,1]	1
Variablen für Offen-sein von Standorten in langfristiger Periode			
YF[B,1]	1	YV[B,1]	1
YF[B,2]	1	YV[B,2]	1
YF[B,3]	1	YV[B,3]	1
YF[B,4]	1	YV[B,4]	1
YF[B,5]	1	YV[B,5]	1
Kapazitätsveränderungen in langfristiger Periode			
CCapF[B,1]	116	CCapV[B,2]	58
CCapV[B,1]	116		
Kapazitätsaufbau in langfristiger Periode			
CCapFUP[B,1]	116	CCapVUP[B,2]	58
CCapVUP[B,1]	116		
Anzahl Kapazitätenseinheiten in langfristiger Periode...			
...im VSZ		...im Werk	
CapVT[B,1]	116	CapFT[B,1]	116
CapVT[B,2]	174	CapFT[B,2]	116
CapVT[B,3]	174	CapFT[B,3]	116
CapVT[B,4]	174	CapFT[B,4]	116
CapVT[B,5]	174	CapFT[B,5]	116
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität in langfristiger Periode			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapVUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,5]	1
YCCapVUP[B,2]	1		
Anzahl Kapazitätenseinheiten im Werk für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapF[B,1,1]	116	CapF[B,3,1]	116
CapF[B,1,2]	116	CapF[B,3,2]	116
CapF[B,1,3]	116	CapF[B,3,3]	116
CapF[B,1,4]	116	CapF[B,3,4]	116
CapF[B,1,5]	116	CapF[B,3,5]	116
CapF[B,2,1]	116	CapF[B,4,1]	116
CapF[B,2,2]	116	CapF[B,4,2]	116
CapF[B,2,3]	116	CapF[B,4,3]	116
CapF[B,2,4]	116	CapF[B,4,4]	116
CapF[B,2,5]	116	CapF[B,4,5]	116

Abbildung A.44: Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 19 (Eigene Darstellung)

Variablen für Anzahl Kapazitätenseinheiten im VSZ für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapV[B,1,1]	116	CapV[B,3,1]	116
CapV[B,1,2]	174	CapV[B,3,2]	174
CapV[B,1,3]	174	CapV[B,3,3]	174
CapV[B,1,4]	174	CapV[B,3,4]	174
CapV[B,1,5]	174	CapV[B,3,5]	174
CapV[B,2,1]	116	CapV[B,4,1]	116
CapV[B,2,2]	174	CapV[B,4,2]	174
CapV[B,2,3]	174	CapV[B,4,3]	174
CapV[B,2,4]	174	CapV[B,4,4]	174
CapV[B,2,5]	174	CapV[B,4,5]	174
Personalbestand im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapF[B,1,1]	29	LCapF[B,3,1]	29
LCapF[B,1,2]	29	LCapF[B,3,2]	29
LCapF[B,1,3]	29	LCapF[B,3,3]	29
LCapF[B,1,4]	29	LCapF[B,3,4]	29
LCapF[B,1,5]	29	LCapF[B,3,5]	29
LCapF[B,2,1]	29	LCapF[B,4,1]	29
LCapF[B,2,2]	29	LCapF[B,4,2]	29
LCapF[B,2,3]	29	LCapF[B,4,3]	29
LCapF[B,2,4]	29	LCapF[B,4,4]	29
LCapF[B,2,5]	29	LCapF[B,4,5]	29
Personalbestand im VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapV[B,1,1]	15	LCapV[B,3,1]	15
LCapV[B,1,2]	22	LCapV[B,3,2]	22
LCapV[B,1,3]	22	LCapV[B,3,3]	22
LCapV[B,1,4]	22	LCapV[B,3,4]	22
LCapV[B,1,5]	22	LCapV[B,3,5]	22
LCapV[B,2,1]	15	LCapV[B,4,1]	15
LCapV[B,2,2]	22	LCapV[B,4,2]	22
LCapV[B,2,3]	22	LCapV[B,4,3]	22
LCapV[B,2,4]	22	LCapV[B,4,4]	22
LCapV[B,2,5]	22	LCapV[B,4,5]	22
Maximaler Personalbestand in der langfristigen Periode...			
...im VSZ		... im Werk	
LCapVT[B,1]	621	LCapFT[B,1]	621
LCapVT[B,2]	621	LCapFT[B,2]	621
LCapVT[B,3]	621	LCapFT[B,3]	621
LCapVT[B,4]	621	LCapFT[B,4]	621
LCapVT[B,5]	621	LCapFT[B,5]	621

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 19 (Eigene Darstellung)

Transportmengen vom Zulieferer zum Werk in mittelfristigen Periode der langfristigen Periode			
XCZF[B,M1,B,1,1]	5782	XCZF[B,M2,B,3,1]	11564
XCZF[B,M1,B,1,2]	5782	XCZF[B,M2,B,3,2]	11564
XCZF[B,M1,B,1,3]	5782	XCZF[B,M2,B,3,3]	11564
XCZF[B,M1,B,1,4]	5782	XCZF[B,M2,B,3,4]	11564
XCZF[B,M1,B,1,5]	5782	XCZF[B,M2,B,3,5]	11564
XCZF[B,M1,B,2,1]	5782	XCZF[B,M2,B,4,1]	11564
XCZF[B,M1,B,2,2]	5782	XCZF[B,M2,B,4,2]	11564
XCZF[B,M1,B,2,3]	5782	XCZF[B,M2,B,4,3]	11564
XCZF[B,M1,B,2,4]	5782	XCZF[B,M2,B,4,4]	11564
XCZF[B,M1,B,2,5]	5782	XCZF[B,M2,B,4,5]	11564
XCZF[B,M1,B,3,1]	5782	XCZF[B,M3,B,1,1]	5782
XCZF[B,M1,B,3,2]	5782	XCZF[B,M3,B,1,2]	5782
XCZF[B,M1,B,3,3]	5782	XCZF[B,M3,B,1,3]	5782
XCZF[B,M1,B,3,4]	5782	XCZF[B,M3,B,1,4]	5782
XCZF[B,M1,B,3,5]	5782	XCZF[B,M3,B,1,5]	5782
XCZF[B,M1,B,4,1]	5782	XCZF[B,M3,B,2,1]	5782
XCZF[B,M1,B,4,2]	5782	XCZF[B,M3,B,2,2]	5782
XCZF[B,M1,B,4,3]	5782	XCZF[B,M3,B,2,3]	5782
XCZF[B,M1,B,4,4]	5782	XCZF[B,M3,B,2,4]	5782
XCZF[B,M1,B,4,5]	5782	XCZF[B,M3,B,2,5]	5782
XCZF[B,M2,B,1,1]	11564	XCZF[B,M3,B,3,1]	5782
XCZF[B,M2,B,1,2]	11564	XCZF[B,M3,B,3,2]	5782
XCZF[B,M2,B,1,3]	11564	XCZF[B,M3,B,3,3]	5782
XCZF[B,M2,B,1,4]	11564	XCZF[B,M3,B,3,4]	5782
XCZF[B,M2,B,1,5]	11564	XCZF[B,M3,B,3,5]	5782
XCZF[B,M2,B,2,1]	11564	XCZF[B,M3,B,4,1]	5782
XCZF[B,M2,B,2,2]	11564	XCZF[B,M3,B,4,2]	5782
XCZF[B,M2,B,2,3]	11564	XCZF[B,M3,B,4,3]	5782
XCZF[B,M2,B,2,4]	11564	XCZF[B,M3,B,4,4]	5782
XCZF[B,M2,B,2,5]	11564	XCZF[B,M3,B,4,5]	5782
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCF[B,M1,1,1]	5782	XCF[B,M2,3,1]	11564
XCF[B,M1,1,2]	5782	XCF[B,M2,3,2]	11564
XCF[B,M1,1,3]	5782	XCF[B,M2,3,3]	11564
XCF[B,M1,1,4]	5782	XCF[B,M2,3,4]	11564
XCF[B,M1,1,5]	5782	XCF[B,M2,3,5]	11564
XCF[B,M1,2,1]	5782	XCF[B,M2,4,1]	11564
XCF[B,M1,2,2]	5782	XCF[B,M2,4,2]	11564

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 19 (Eigene Darstellung)

XCF[B,M1,2,3]	5782	XCF[B,M2,4,3]	11564
XCF[B,M1,2,4]	5782	XCF[B,M2,4,4]	11564
XCF[B,M1,2,5]	5782	XCF[B,M2,4,5]	11564
XCF[B,M1,3,1]	5782	XCF[B,M3,1,1]	5782
XCF[B,M1,3,2]	5782	XCF[B,M3,1,2]	5782
XCF[B,M1,3,3]	5782	XCF[B,M3,1,3]	5782
XCF[B,M1,3,4]	5782	XCF[B,M3,1,4]	5782
XCF[B,M1,3,5]	5782	XCF[B,M3,1,5]	5782
XCF[B,M1,4,1]	5782	XCF[B,M3,2,1]	5782
XCF[B,M1,4,2]	5782	XCF[B,M3,2,2]	5782
XCF[B,M1,4,3]	5782	XCF[B,M3,2,3]	5782
XCF[B,M1,4,4]	5782	XCF[B,M3,2,4]	5782
XCF[B,M1,4,5]	5782	XCF[B,M3,2,5]	5782
XCF[B,M2,1,1]	11564	XCF[B,M3,3,1]	5782
XCF[B,M2,1,2]	11564	XCF[B,M3,3,2]	5782
XCF[B,M2,1,3]	11564	XCF[B,M3,3,3]	5782
XCF[B,M2,1,4]	11564	XCF[B,M3,3,4]	5782
XCF[B,M2,1,5]	11564	XCF[B,M3,3,5]	5782
XCF[B,M2,2,1]	11564	XCF[B,M3,4,1]	5782
XCF[B,M2,2,2]	11564	XCF[B,M3,4,2]	5782
XCF[B,M2,2,3]	11564	XCF[B,M3,4,3]	5782
XCF[B,M2,2,4]	11564	XCF[B,M3,4,4]	5782
XCF[B,M2,2,5]	11564	XCF[B,M3,4,5]	5782
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPF[B,P1,1,1]	5782	XPF[B,P2,1,1]	5782
XPF[B,P1,1,2]	5782	XPF[B,P2,1,2]	5782
XPF[B,P1,1,3]	5782	XPF[B,P2,1,3]	5782
XPF[B,P1,1,4]	5782	XPF[B,P2,1,4]	5782
XPF[B,P1,1,5]	5782	XPF[B,P2,1,5]	5782
XPF[B,P1,2,1]	5782	XPF[B,P2,2,1]	5782
XPF[B,P1,2,2]	5782	XPF[B,P2,2,2]	5782
XPF[B,P1,2,3]	5782	XPF[B,P2,2,3]	5782
XPF[B,P1,2,4]	5782	XPF[B,P2,2,4]	5782
XPF[B,P1,2,5]	5782	XPF[B,P2,2,5]	5782
XPF[B,P1,3,1]	5782	XPF[B,P2,3,1]	5782
XPF[B,P1,3,2]	5782	XPF[B,P2,3,2]	5782
XPF[B,P1,3,3]	5782	XPF[B,P2,3,3]	5782
XPF[B,P1,3,4]	5782	XPF[B,P2,3,4]	5782
XPF[B,P1,3,5]	5782	XPF[B,P2,3,5]	5782

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 19 (Eigene Darstellung)

XPF[B,P1,4,1]	5782	XPF[B,P2,4,1]	5782
XPF[B,P1,4,2]	5782	XPF[B,P2,4,2]	5782
XPF[B,P1,4,3]	5782	XPF[B,P2,4,3]	5782
XPF[B,P1,4,4]	5782	XPF[B,P2,4,4]	5782
XPF[B,P1,4,5]	5782	XPF[B,P2,4,5]	5782
Transportmengen vom Werk zum VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPFV[B,B,P1,1,1]	5782	XPFV[B,B,P2,1,1]	5782
XPFV[B,B,P1,1,2]	5782	XPFV[B,B,P2,1,2]	5782
XPFV[B,B,P1,1,3]	5782	XPFV[B,B,P2,1,3]	5782
XPFV[B,B,P1,1,4]	5782	XPFV[B,B,P2,1,4]	5782
XPFV[B,B,P1,1,5]	5782	XPFV[B,B,P2,1,5]	5782
XPFV[B,B,P1,2,1]	5782	XPFV[B,B,P2,2,1]	5782
XPFV[B,B,P1,2,2]	5782	XPFV[B,B,P2,2,2]	5782
XPFV[B,B,P1,2,3]	5782	XPFV[B,B,P2,2,3]	5782
XPFV[B,B,P1,2,4]	5782	XPFV[B,B,P2,2,4]	5782
XPFV[B,B,P1,2,5]	5782	XPFV[B,B,P2,2,5]	5782
XPFV[B,B,P1,3,1]	5782	XPFV[B,B,P2,3,1]	5782
XPFV[B,B,P1,3,2]	5782	XPFV[B,B,P2,3,2]	5782
XPFV[B,B,P1,3,3]	5782	XPFV[B,B,P2,3,3]	5782
XPFV[B,B,P1,3,4]	5782	XPFV[B,B,P2,3,4]	5782
XPFV[B,B,P1,3,5]	5782	XPFV[B,B,P2,3,5]	5782
XPFV[B,B,P1,4,1]	5782	XPFV[B,B,P2,4,1]	5782
XPFV[B,B,P1,4,2]	5782	XPFV[B,B,P2,4,2]	5782
XPFV[B,B,P1,4,3]	5782	XPFV[B,B,P2,4,3]	5782
XPFV[B,B,P1,4,4]	5782	XPFV[B,B,P2,4,4]	5782
XPFV[B,B,P1,4,5]	5782	XPFV[B,B,P2,4,5]	5782
Transportmengen vom VSZ zu Kunden in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XVKP[B,B,P1,1,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,1]	300
XVKP[B,B,P1,1,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,2]	300
XVKP[B,B,P1,1,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,3]	300
XVKP[B,B,P1,1,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,4]	300
XVKP[B,B,P1,1,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,5]	300
XVKP[B,B,P1,2,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,1]	300
XVKP[B,B,P1,2,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,2]	300
XVKP[B,B,P1,2,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,3]	300
XVKP[B,B,P1,2,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,4]	300
XVKP[B,B,P1,2,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,5]	300
XVKP[B,B,P1,3,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,1]	300
XVKP[B,B,P1,3,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,2]	300

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P1,3,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,3]	300
XVKP[B,B,P1,3,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,4]	300
XVKP[B,B,P1,3,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,5]	300
XVKP[B,B,P1,4,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,1]	300
XVKP[B,B,P1,4,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,2]	300
XVKP[B,B,P1,4,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,3]	300
XVKP[B,B,P1,4,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,4]	300
XVKP[B,B,P1,4,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,5]	300
XVKP[B,B,P2,1,1]	1424	XVKP[B,H,P1,1,1]	750
XVKP[B,B,P2,1,2]	1424	XVKP[B,H,P1,1,2]	750
XVKP[B,B,P2,1,3]	1424	XVKP[B,H,P1,1,3]	750
XVKP[B,B,P2,1,4]	1424	XVKP[B,H,P1,1,4]	750
XVKP[B,B,P2,1,5]	1424	XVKP[B,H,P1,1,5]	750
XVKP[B,B,P2,2,1]	1424	XVKP[B,H,P1,2,1]	750
XVKP[B,B,P2,2,2]	1424	XVKP[B,H,P1,2,2]	750
XVKP[B,B,P2,2,3]	1424	XVKP[B,H,P1,2,3]	750
XVKP[B,B,P2,2,4]	1424	XVKP[B,H,P1,2,4]	750
XVKP[B,B,P2,2,5]	1424	XVKP[B,H,P1,2,5]	750
XVKP[B,B,P2,3,1]	1424	XVKP[B,H,P1,3,1]	750
XVKP[B,B,P2,3,2]	1424	XVKP[B,H,P1,3,2]	750
XVKP[B,B,P2,3,3]	1424	XVKP[B,H,P1,3,3]	750
XVKP[B,B,P2,3,4]	1424	XVKP[B,H,P1,3,4]	750
XVKP[B,B,P2,3,5]	1424	XVKP[B,H,P1,3,5]	750
XVKP[B,B,P2,4,1]	1424	XVKP[B,H,P1,4,1]	750
XVKP[B,B,P2,4,2]	1424	XVKP[B,H,P1,4,2]	750
XVKP[B,B,P2,4,3]	1424	XVKP[B,H,P1,4,3]	750
XVKP[B,B,P2,4,4]	1424	XVKP[B,H,P1,4,4]	750
XVKP[B,B,P2,4,5]	1424	XVKP[B,H,P1,4,5]	750
XVKP[B,Br,P1,1,1]	230	XVKP[B,H,P2,1,1]	750
XVKP[B,Br,P1,1,2]	230	XVKP[B,H,P2,1,2]	750
XVKP[B,Br,P1,1,3]	230	XVKP[B,H,P2,1,3]	750
XVKP[B,Br,P1,1,4]	230	XVKP[B,H,P2,1,4]	750
XVKP[B,Br,P1,1,5]	230	XVKP[B,H,P2,1,5]	750
XVKP[B,Br,P1,2,1]	230	XVKP[B,H,P2,2,1]	750
XVKP[B,Br,P1,2,2]	230	XVKP[B,H,P2,2,2]	750
XVKP[B,Br,P1,2,3]	230	XVKP[B,H,P2,2,3]	750
XVKP[B,Br,P1,2,4]	230	XVKP[B,H,P2,2,4]	750
XVKP[B,Br,P1,2,5]	230	XVKP[B,H,P2,2,5]	750
XVKP[B,Br,P1,3,1]	230	XVKP[B,H,P2,3,1]	750

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P1,3,2]	230	XVKP[B,H,P2,3,2]	750
XVKP[B,Br,P1,3,3]	230	XVKP[B,H,P2,3,3]	750
XVKP[B,Br,P1,3,4]	230	XVKP[B,H,P2,3,4]	750
XVKP[B,Br,P1,3,5]	230	XVKP[B,H,P2,3,5]	750
XVKP[B,Br,P1,4,1]	230	XVKP[B,H,P2,4,1]	750
XVKP[B,Br,P1,4,2]	230	XVKP[B,H,P2,4,2]	750
XVKP[B,Br,P1,4,3]	230	XVKP[B,H,P2,4,3]	750
XVKP[B,Br,P1,4,4]	230	XVKP[B,H,P2,4,4]	750
XVKP[B,Br,P1,4,5]	230	XVKP[B,H,P2,4,5]	750
XVKP[B,Br,P2,1,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,1]	214
XVKP[B,Br,P2,1,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,2]	214
XVKP[B,Br,P2,1,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,3]	214
XVKP[B,Br,P2,1,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,4]	214
XVKP[B,Br,P2,1,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,5]	214
XVKP[B,Br,P2,2,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,1]	214
XVKP[B,Br,P2,2,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,2]	214
XVKP[B,Br,P2,2,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,3]	214
XVKP[B,Br,P2,2,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,4]	214
XVKP[B,Br,P2,2,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,5]	214
XVKP[B,Br,P2,3,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,1]	214
XVKP[B,Br,P2,3,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,2]	214
XVKP[B,Br,P2,3,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,3]	214
XVKP[B,Br,P2,3,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,4]	214
XVKP[B,Br,P2,3,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,5]	214
XVKP[B,Br,P2,4,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,1]	214
XVKP[B,Br,P2,4,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,2]	214
XVKP[B,Br,P2,4,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,3]	214
XVKP[B,Br,P2,4,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,4]	214
XVKP[B,Br,P2,4,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,5]	214
XVKP[B,Do,P1,1,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,1]	214
XVKP[B,Do,P1,1,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,2]	214
XVKP[B,Do,P1,1,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,3]	214
XVKP[B,Do,P1,1,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,4]	214
XVKP[B,Do,P1,1,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,5]	214
XVKP[B,Do,P1,2,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,1]	214
XVKP[B,Do,P1,2,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,2]	214
XVKP[B,Do,P1,2,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,3]	214
XVKP[B,Do,P1,2,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,4]	214
XVKP[B,Do,P1,2,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,5]	214

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P1,3,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,1]	214
XVKP[B,Do,P1,3,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,2]	214
XVKP[B,Do,P1,3,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,3]	214
XVKP[B,Do,P1,3,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,4]	214
XVKP[B,Do,P1,3,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,5]	214
XVKP[B,Do,P1,4,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,1]	214
XVKP[B,Do,P1,4,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,2]	214
XVKP[B,Do,P1,4,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,3]	214
XVKP[B,Do,P1,4,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,4]	214
XVKP[B,Do,P1,4,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,5]	214
XVKP[B,Do,P2,1,1]	240	XVKP[B,K,P1,1,1]	434
XVKP[B,Do,P2,1,2]	240	XVKP[B,K,P1,1,2]	434
XVKP[B,Do,P2,1,3]	240	XVKP[B,K,P1,1,3]	434
XVKP[B,Do,P2,1,4]	240	XVKP[B,K,P1,1,4]	434
XVKP[B,Do,P2,1,5]	240	XVKP[B,K,P1,1,5]	434
XVKP[B,Do,P2,2,1]	240	XVKP[B,K,P1,2,1]	434
XVKP[B,Do,P2,2,2]	240	XVKP[B,K,P1,2,2]	434
XVKP[B,Do,P2,2,3]	240	XVKP[B,K,P1,2,3]	434
XVKP[B,Do,P2,2,4]	240	XVKP[B,K,P1,2,4]	434
XVKP[B,Do,P2,2,5]	240	XVKP[B,K,P1,2,5]	434
XVKP[B,Do,P2,3,1]	240	XVKP[B,K,P1,3,1]	434
XVKP[B,Do,P2,3,2]	240	XVKP[B,K,P1,3,2]	434
XVKP[B,Do,P2,3,3]	240	XVKP[B,K,P1,3,3]	434
XVKP[B,Do,P2,3,4]	240	XVKP[B,K,P1,3,4]	434
XVKP[B,Do,P2,3,5]	240	XVKP[B,K,P1,3,5]	434
XVKP[B,Do,P2,4,1]	240	XVKP[B,K,P1,4,1]	434
XVKP[B,Do,P2,4,2]	240	XVKP[B,K,P1,4,2]	434
XVKP[B,Do,P2,4,3]	240	XVKP[B,K,P1,4,3]	434
XVKP[B,Do,P2,4,4]	240	XVKP[B,K,P1,4,4]	434
XVKP[B,Do,P2,4,5]	240	XVKP[B,K,P1,4,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,1]	220	XVKP[B,K,P2,1,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,2]	220	XVKP[B,K,P2,1,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,3]	220	XVKP[B,K,P2,1,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,4]	220	XVKP[B,K,P2,1,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,5]	220	XVKP[B,K,P2,1,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,1]	220	XVKP[B,K,P2,2,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,2]	220	XVKP[B,K,P2,2,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,3]	220	XVKP[B,K,P2,2,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,4]	220	XVKP[B,K,P2,2,4]	434

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Dr,P1,2,5]	220	XVKP[B,K,P2,2,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,1]	220	XVKP[B,K,P2,3,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,2]	220	XVKP[B,K,P2,3,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,3]	220	XVKP[B,K,P2,3,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,4]	220	XVKP[B,K,P2,3,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,5]	220	XVKP[B,K,P2,3,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,1]	220	XVKP[B,K,P2,4,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,2]	220	XVKP[B,K,P2,4,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,3]	220	XVKP[B,K,P2,4,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,4]	220	XVKP[B,K,P2,4,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,5]	220	XVKP[B,K,P2,4,5]	434
XVKP[B,Dr,P2,1,1]	220	XVKP[B,L,P1,1,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,2]	220	XVKP[B,L,P1,1,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,3]	220	XVKP[B,L,P1,1,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,4]	220	XVKP[B,L,P1,1,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,5]	220	XVKP[B,L,P1,1,5]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,1]	220	XVKP[B,L,P1,2,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,2]	220	XVKP[B,L,P1,2,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,3]	220	XVKP[B,L,P1,2,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,4]	220	XVKP[B,L,P1,2,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,5]	220	XVKP[B,L,P1,2,5]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,1]	220	XVKP[B,L,P1,3,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,2]	220	XVKP[B,L,P1,3,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,3]	220	XVKP[B,L,P1,3,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,4]	220	XVKP[B,L,P1,3,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,5]	220	XVKP[B,L,P1,3,5]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,1]	220	XVKP[B,L,P1,4,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,2]	220	XVKP[B,L,P1,4,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,3]	220	XVKP[B,L,P1,4,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,4]	220	XVKP[B,L,P1,4,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,5]	220	XVKP[B,L,P1,4,5]	220
XVKP[B,Du,P1,1,1]	200	XVKP[B,L,P2,1,1]	220
XVKP[B,Du,P1,1,2]	200	XVKP[B,L,P2,1,2]	220
XVKP[B,Du,P1,1,3]	200	XVKP[B,L,P2,1,3]	220
XVKP[B,Du,P1,1,4]	200	XVKP[B,L,P2,1,4]	220
XVKP[B,Du,P1,1,5]	200	XVKP[B,L,P2,1,5]	220
XVKP[B,Du,P1,2,1]	200	XVKP[B,L,P2,2,1]	220
XVKP[B,Du,P1,2,2]	200	XVKP[B,L,P2,2,2]	220
XVKP[B,Du,P1,2,3]	200	XVKP[B,L,P2,2,3]	220

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P1,2,4]	200	XVKP[B,L,P2,2,4]	220
XVKP[B,Du,P1,2,5]	200	XVKP[B,L,P2,2,5]	220
XVKP[B,Du,P1,3,1]	200	XVKP[B,L,P2,3,1]	220
XVKP[B,Du,P1,3,2]	200	XVKP[B,L,P2,3,2]	220
XVKP[B,Du,P1,3,3]	200	XVKP[B,L,P2,3,3]	220
XVKP[B,Du,P1,3,4]	200	XVKP[B,L,P2,3,4]	220
XVKP[B,Du,P1,3,5]	200	XVKP[B,L,P2,3,5]	220
XVKP[B,Du,P1,4,1]	200	XVKP[B,L,P2,4,1]	220
XVKP[B,Du,P1,4,2]	200	XVKP[B,L,P2,4,2]	220
XVKP[B,Du,P1,4,3]	200	XVKP[B,L,P2,4,3]	220
XVKP[B,Du,P1,4,4]	200	XVKP[B,L,P2,4,4]	220
XVKP[B,Du,P1,4,5]	200	XVKP[B,L,P2,4,5]	220
XVKP[B,Du,P2,1,1]	200	XVKP[B,M,P1,1,1]	600
XVKP[B,Du,P2,1,2]	200	XVKP[B,M,P1,1,2]	600
XVKP[B,Du,P2,1,3]	200	XVKP[B,M,P1,1,3]	600
XVKP[B,Du,P2,1,4]	200	XVKP[B,M,P1,1,4]	600
XVKP[B,Du,P2,1,5]	200	XVKP[B,M,P1,1,5]	600
XVKP[B,Du,P2,2,1]	200	XVKP[B,M,P1,2,1]	600
XVKP[B,Du,P2,2,2]	200	XVKP[B,M,P1,2,2]	600
XVKP[B,Du,P2,2,3]	200	XVKP[B,M,P1,2,3]	600
XVKP[B,Du,P2,2,4]	200	XVKP[B,M,P1,2,4]	600
XVKP[B,Du,P2,2,5]	200	XVKP[B,M,P1,2,5]	600
XVKP[B,Du,P2,3,1]	200	XVKP[B,M,P1,3,1]	600
XVKP[B,Du,P2,3,2]	200	XVKP[B,M,P1,3,2]	600
XVKP[B,Du,P2,3,3]	200	XVKP[B,M,P1,3,3]	600
XVKP[B,Du,P2,3,4]	200	XVKP[B,M,P1,3,4]	600
XVKP[B,Du,P2,3,5]	200	XVKP[B,M,P1,3,5]	600
XVKP[B,Du,P2,4,1]	200	XVKP[B,M,P1,4,1]	600
XVKP[B,Du,P2,4,2]	200	XVKP[B,M,P1,4,2]	600
XVKP[B,Du,P2,4,3]	200	XVKP[B,M,P1,4,3]	600
XVKP[B,Du,P2,4,4]	200	XVKP[B,M,P1,4,4]	600
XVKP[B,Du,P2,4,5]	200	XVKP[B,M,P1,4,5]	600
XVKP[B,Due,P1,1,1]	250	XVKP[B,M,P2,1,1]	600
XVKP[B,Due,P1,1,2]	250	XVKP[B,M,P2,1,2]	600
XVKP[B,Due,P1,1,3]	250	XVKP[B,M,P2,1,3]	600
XVKP[B,Due,P1,1,4]	250	XVKP[B,M,P2,1,4]	600
XVKP[B,Due,P1,1,5]	250	XVKP[B,M,P2,1,5]	600
XVKP[B,Due,P1,2,1]	250	XVKP[B,M,P2,2,1]	600
XVKP[B,Due,P1,2,2]	250	XVKP[B,M,P2,2,2]	600

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 10 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P1,2,3]	250	XVKP[B,M,P2,2,3]	600
XVKP[B,Due,P1,2,4]	250	XVKP[B,M,P2,2,4]	600
XVKP[B,Due,P1,2,5]	250	XVKP[B,M,P2,2,5]	600
XVKP[B,Due,P1,3,1]	250	XVKP[B,M,P2,3,1]	600
XVKP[B,Due,P1,3,2]	250	XVKP[B,M,P2,3,2]	600
XVKP[B,Due,P1,3,3]	250	XVKP[B,M,P2,3,3]	600
XVKP[B,Due,P1,3,4]	250	XVKP[B,M,P2,3,4]	600
XVKP[B,Due,P1,3,5]	250	XVKP[B,M,P2,3,5]	600
XVKP[B,Due,P1,4,1]	250	XVKP[B,M,P2,4,1]	600
XVKP[B,Due,P1,4,2]	250	XVKP[B,M,P2,4,2]	600
XVKP[B,Due,P1,4,3]	250	XVKP[B,M,P2,4,3]	600
XVKP[B,Due,P1,4,4]	250	XVKP[B,M,P2,4,4]	600
XVKP[B,Due,P1,4,5]	250	XVKP[B,M,P2,4,5]	600
XVKP[B,Due,P2,1,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,1]	210
XVKP[B,Due,P2,1,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,2]	210
XVKP[B,Due,P2,1,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,3]	210
XVKP[B,Due,P2,1,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,4]	210
XVKP[B,Due,P2,1,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,5]	210
XVKP[B,Due,P2,2,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,1]	210
XVKP[B,Due,P2,2,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,2]	210
XVKP[B,Due,P2,2,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,3]	210
XVKP[B,Due,P2,2,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,4]	210
XVKP[B,Due,P2,2,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,5]	210
XVKP[B,Due,P2,3,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,1]	210
XVKP[B,Due,P2,3,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,2]	210
XVKP[B,Due,P2,3,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,3]	210
XVKP[B,Due,P2,3,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,4]	210
XVKP[B,Due,P2,3,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,5]	210
XVKP[B,Due,P2,4,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,1]	210
XVKP[B,Due,P2,4,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,2]	210
XVKP[B,Due,P2,4,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,3]	210
XVKP[B,Due,P2,4,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,4]	210
XVKP[B,Due,P2,4,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,5]	210
XVKP[B,E,P1,1,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,1]	210
XVKP[B,E,P1,1,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,2]	210
XVKP[B,E,P1,1,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,3]	210
XVKP[B,E,P1,1,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,4]	210
XVKP[B,E,P1,1,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,5]	210
XVKP[B,E,P1,2,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,1]	210

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 11 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P1,2,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,2]	210
XVKP[B,E,P1,2,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,3]	210
XVKP[B,E,P1,2,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,4]	210
XVKP[B,E,P1,2,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,5]	210
XVKP[B,E,P1,3,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,1]	210
XVKP[B,E,P1,3,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,2]	210
XVKP[B,E,P1,3,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,3]	210
XVKP[B,E,P1,3,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,4]	210
XVKP[B,E,P1,3,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,5]	210
XVKP[B,E,P1,4,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,1]	210
XVKP[B,E,P1,4,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,2]	210
XVKP[B,E,P1,4,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,3]	210
XVKP[B,E,P1,4,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,4]	210
XVKP[B,E,P1,4,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,5]	210
XVKP[B,E,P2,1,1]	240	XVKP[B,S,P1,1,1]	250
XVKP[B,E,P2,1,2]	240	XVKP[B,S,P1,1,2]	250
XVKP[B,E,P2,1,3]	240	XVKP[B,S,P1,1,3]	250
XVKP[B,E,P2,1,4]	240	XVKP[B,S,P1,1,4]	250
XVKP[B,E,P2,1,5]	240	XVKP[B,S,P1,1,5]	250
XVKP[B,E,P2,2,1]	240	XVKP[B,S,P1,2,1]	250
XVKP[B,E,P2,2,2]	240	XVKP[B,S,P1,2,2]	250
XVKP[B,E,P2,2,3]	240	XVKP[B,S,P1,2,3]	250
XVKP[B,E,P2,2,4]	240	XVKP[B,S,P1,2,4]	250
XVKP[B,E,P2,2,5]	240	XVKP[B,S,P1,2,5]	250
XVKP[B,E,P2,3,1]	240	XVKP[B,S,P1,3,1]	250
XVKP[B,E,P2,3,2]	240	XVKP[B,S,P1,3,2]	250
XVKP[B,E,P2,3,3]	240	XVKP[B,S,P1,3,3]	250
XVKP[B,E,P2,3,4]	240	XVKP[B,S,P1,3,4]	250
XVKP[B,E,P2,3,5]	240	XVKP[B,S,P1,3,5]	250
XVKP[B,E,P2,4,1]	240	XVKP[B,S,P1,4,1]	250
XVKP[B,E,P2,4,2]	240	XVKP[B,S,P1,4,2]	250
XVKP[B,E,P2,4,3]	240	XVKP[B,S,P1,4,3]	250
XVKP[B,E,P2,4,4]	240	XVKP[B,S,P1,4,4]	250
XVKP[B,E,P2,4,5]	240	XVKP[B,S,P1,4,5]	250
XVKP[B,FM,P1,1,1]	300	XVKP[B,S,P2,1,1]	250
XVKP[B,FM,P1,1,2]	300	XVKP[B,S,P2,1,2]	250
XVKP[B,FM,P1,1,3]	300	XVKP[B,S,P2,1,3]	250
XVKP[B,FM,P1,1,4]	300	XVKP[B,S,P2,1,4]	250
XVKP[B,FM,P1,1,5]	300	XVKP[B,S,P2,1,5]	250

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 12 von 19 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,FM,P1,2,1]	300	XVKP[B,S,P2,2,1]	250
XVKP[B,FM,P1,2,2]	300	XVKP[B,S,P2,2,2]	250
XVKP[B,FM,P1,2,3]	300	XVKP[B,S,P2,2,3]	250
XVKP[B,FM,P1,2,4]	300	XVKP[B,S,P2,2,4]	250
XVKP[B,FM,P1,2,5]	300	XVKP[B,S,P2,2,5]	250
XVKP[B,FM,P1,3,1]	300	XVKP[B,S,P2,3,1]	250
XVKP[B,FM,P1,3,2]	300	XVKP[B,S,P2,3,2]	250
XVKP[B,FM,P1,3,3]	300	XVKP[B,S,P2,3,3]	250
XVKP[B,FM,P1,3,4]	300	XVKP[B,S,P2,3,4]	250
XVKP[B,FM,P1,3,5]	300	XVKP[B,S,P2,3,5]	250
XVKP[B,FM,P1,4,1]	300	XVKP[B,S,P2,4,1]	250
XVKP[B,FM,P1,4,2]	300	XVKP[B,S,P2,4,2]	250
XVKP[B,FM,P1,4,3]	300	XVKP[B,S,P2,4,3]	250
XVKP[B,FM,P1,4,4]	300	XVKP[B,S,P2,4,4]	250
XVKP[B,FM,P1,4,5]	300	XVKP[B,S,P2,4,5]	250
Transportmengen von Kunden zum VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XKVP[B,B,P1,1,2]	712	XKVP[FM,B,P2,1,2]	150
XKVP[B,B,P1,1,3]	712	XKVP[FM,B,P2,1,3]	150
XKVP[B,B,P1,1,4]	712	XKVP[FM,B,P2,1,4]	150
XKVP[B,B,P1,1,5]	712	XKVP[FM,B,P2,1,5]	150
XKVP[B,B,P1,2,2]	712	XKVP[FM,B,P2,2,2]	150
XKVP[B,B,P1,2,3]	712	XKVP[FM,B,P2,2,3]	150
XKVP[B,B,P1,2,4]	712	XKVP[FM,B,P2,2,4]	150
XKVP[B,B,P1,2,5]	712	XKVP[FM,B,P2,2,5]	150
XKVP[B,B,P1,3,2]	712	XKVP[FM,B,P2,3,2]	150
XKVP[B,B,P1,3,3]	712	XKVP[FM,B,P2,3,3]	150
XKVP[B,B,P1,3,4]	712	XKVP[FM,B,P2,3,4]	150
XKVP[B,B,P1,3,5]	712	XKVP[FM,B,P2,3,5]	150
XKVP[B,B,P1,4,2]	712	XKVP[FM,B,P2,4,2]	150
XKVP[B,B,P1,4,3]	712	XKVP[FM,B,P2,4,3]	150
XKVP[B,B,P1,4,4]	712	XKVP[FM,B,P2,4,4]	150
XKVP[B,B,P1,4,5]	712	XKVP[FM,B,P2,4,5]	150
XKVP[B,B,P2,1,2]	712	XKVP[H,B,P1,1,2]	375
XKVP[B,B,P2,1,3]	712	XKVP[H,B,P1,1,3]	375
XKVP[B,B,P2,1,4]	712	XKVP[H,B,P1,1,4]	375
XKVP[B,B,P2,1,5]	712	XKVP[H,B,P1,1,5]	375
XKVP[B,B,P2,2,2]	712	XKVP[H,B,P1,2,2]	375
XKVP[B,B,P2,2,3]	712	XKVP[H,B,P1,2,3]	375
XKVP[B,B,P2,2,4]	712	XKVP[H,B,P1,2,4]	375

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 13 von 19 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P2,2,5]	712	XKVP[H,B,P1,2,5]	375
XKVP[B,B,P2,3,2]	712	XKVP[H,B,P1,3,2]	375
XKVP[B,B,P2,3,3]	712	XKVP[H,B,P1,3,3]	375
XKVP[B,B,P2,3,4]	712	XKVP[H,B,P1,3,4]	375
XKVP[B,B,P2,3,5]	712	XKVP[H,B,P1,3,5]	375
XKVP[B,B,P2,4,2]	712	XKVP[H,B,P1,4,2]	375
XKVP[B,B,P2,4,3]	712	XKVP[H,B,P1,4,3]	375
XKVP[B,B,P2,4,4]	712	XKVP[H,B,P1,4,4]	375
XKVP[B,B,P2,4,5]	712	XKVP[H,B,P1,4,5]	375
XKVP[Br,B,P1,1,2]	115	XKVP[H,B,P2,1,2]	375
XKVP[Br,B,P1,1,3]	115	XKVP[H,B,P2,1,3]	375
XKVP[Br,B,P1,1,4]	115	XKVP[H,B,P2,1,4]	375
XKVP[Br,B,P1,1,5]	115	XKVP[H,B,P2,1,5]	375
XKVP[Br,B,P1,2,2]	115	XKVP[H,B,P2,2,2]	375
XKVP[Br,B,P1,2,3]	115	XKVP[H,B,P2,2,3]	375
XKVP[Br,B,P1,2,4]	115	XKVP[H,B,P2,2,4]	375
XKVP[Br,B,P1,2,5]	115	XKVP[H,B,P2,2,5]	375
XKVP[Br,B,P1,3,2]	115	XKVP[H,B,P2,3,2]	375
XKVP[Br,B,P1,3,3]	115	XKVP[H,B,P2,3,3]	375
XKVP[Br,B,P1,3,4]	115	XKVP[H,B,P2,3,4]	375
XKVP[Br,B,P1,3,5]	115	XKVP[H,B,P2,3,5]	375
XKVP[Br,B,P1,4,2]	115	XKVP[H,B,P2,4,2]	375
XKVP[Br,B,P1,4,3]	115	XKVP[H,B,P2,4,3]	375
XKVP[Br,B,P1,4,4]	115	XKVP[H,B,P2,4,4]	375
XKVP[Br,B,P1,4,5]	115	XKVP[H,B,P2,4,5]	375
XKVP[Br,B,P2,1,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,2]	107
XKVP[Br,B,P2,1,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,3]	107
XKVP[Br,B,P2,1,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,4]	107
XKVP[Br,B,P2,1,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,5]	107
XKVP[Br,B,P2,2,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,2]	107
XKVP[Br,B,P2,2,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,3]	107
XKVP[Br,B,P2,2,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,4]	107
XKVP[Br,B,P2,2,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,5]	107
XKVP[Br,B,P2,3,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,2]	107
XKVP[Br,B,P2,3,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,3]	107
XKVP[Br,B,P2,3,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,4]	107
XKVP[Br,B,P2,3,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,5]	107
XKVP[Br,B,P2,4,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,2]	107
XKVP[Br,B,P2,4,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,3]	107

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 14 von 19 (Eigene Darstellung)

XKVP[Br,B,P2,4,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,4]	107
XKVP[Br,B,P2,4,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,5]	107
XKVP[Do,B,P1,1,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,2]	107
XKVP[Do,B,P1,1,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,3]	107
XKVP[Do,B,P1,1,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,4]	107
XKVP[Do,B,P1,1,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,5]	107
XKVP[Do,B,P1,2,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,2]	107
XKVP[Do,B,P1,2,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,3]	107
XKVP[Do,B,P1,2,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,4]	107
XKVP[Do,B,P1,2,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,5]	107
XKVP[Do,B,P1,3,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,2]	107
XKVP[Do,B,P1,3,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,3]	107
XKVP[Do,B,P1,3,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,4]	107
XKVP[Do,B,P1,3,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,5]	107
XKVP[Do,B,P1,4,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,2]	107
XKVP[Do,B,P1,4,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,3]	107
XKVP[Do,B,P1,4,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,4]	107
XKVP[Do,B,P1,4,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,5]	107
XKVP[Do,B,P2,1,2]	120	XKVP[K,B,P1,1,2]	217
XKVP[Do,B,P2,1,3]	120	XKVP[K,B,P1,1,3]	217
XKVP[Do,B,P2,1,4]	120	XKVP[K,B,P1,1,4]	217
XKVP[Do,B,P2,1,5]	120	XKVP[K,B,P1,1,5]	217
XKVP[Do,B,P2,2,2]	120	XKVP[K,B,P1,2,2]	217
XKVP[Do,B,P2,2,3]	120	XKVP[K,B,P1,2,3]	217
XKVP[Do,B,P2,2,4]	120	XKVP[K,B,P1,2,4]	217
XKVP[Do,B,P2,2,5]	120	XKVP[K,B,P1,2,5]	217
XKVP[Do,B,P2,3,2]	120	XKVP[K,B,P1,3,2]	217
XKVP[Do,B,P2,3,3]	120	XKVP[K,B,P1,3,3]	217
XKVP[Do,B,P2,3,4]	120	XKVP[K,B,P1,3,4]	217
XKVP[Do,B,P2,3,5]	120	XKVP[K,B,P1,3,5]	217
XKVP[Do,B,P2,4,2]	120	XKVP[K,B,P1,4,2]	217
XKVP[Do,B,P2,4,3]	120	XKVP[K,B,P1,4,3]	217
XKVP[Do,B,P2,4,4]	120	XKVP[K,B,P1,4,4]	217
XKVP[Do,B,P2,4,5]	120	XKVP[K,B,P1,4,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,2]	110	XKVP[K,B,P2,1,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,3]	110	XKVP[K,B,P2,1,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,4]	110	XKVP[K,B,P2,1,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,5]	110	XKVP[K,B,P2,1,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,2]	110	XKVP[K,B,P2,2,2]	217

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 15 von 19 (Eigene Darstellung)

XKVP[Dr,B,P1,2,3]	110	XKVP[K,B,P2,2,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,4]	110	XKVP[K,B,P2,2,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,5]	110	XKVP[K,B,P2,2,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,2]	110	XKVP[K,B,P2,3,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,3]	110	XKVP[K,B,P2,3,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,4]	110	XKVP[K,B,P2,3,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,5]	110	XKVP[K,B,P2,3,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,2]	110	XKVP[K,B,P2,4,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,3]	110	XKVP[K,B,P2,4,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,4]	110	XKVP[K,B,P2,4,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,5]	110	XKVP[K,B,P2,4,5]	217
XKVP[Dr,B,P2,1,2]	110	XKVP[L,B,P1,1,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,3]	110	XKVP[L,B,P1,1,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,4]	110	XKVP[L,B,P1,1,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,5]	110	XKVP[L,B,P1,1,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,2]	110	XKVP[L,B,P1,2,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,3]	110	XKVP[L,B,P1,2,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,4]	110	XKVP[L,B,P1,2,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,5]	110	XKVP[L,B,P1,2,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,2]	110	XKVP[L,B,P1,3,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,3]	110	XKVP[L,B,P1,3,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,4]	110	XKVP[L,B,P1,3,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,5]	110	XKVP[L,B,P1,3,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,2]	110	XKVP[L,B,P1,4,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,3]	110	XKVP[L,B,P1,4,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,4]	110	XKVP[L,B,P1,4,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,5]	110	XKVP[L,B,P1,4,5]	110
XKVP[Du,B,P1,1,2]	100	XKVP[L,B,P2,1,2]	110
XKVP[Du,B,P1,1,3]	100	XKVP[L,B,P2,1,3]	110
XKVP[Du,B,P1,1,4]	100	XKVP[L,B,P2,1,4]	110
XKVP[Du,B,P1,1,5]	100	XKVP[L,B,P2,1,5]	110
XKVP[Du,B,P1,2,2]	100	XKVP[L,B,P2,2,2]	110
XKVP[Du,B,P1,2,3]	100	XKVP[L,B,P2,2,3]	110
XKVP[Du,B,P1,2,4]	100	XKVP[L,B,P2,2,4]	110
XKVP[Du,B,P1,2,5]	100	XKVP[L,B,P2,2,5]	110
XKVP[Du,B,P1,3,2]	100	XKVP[L,B,P2,3,2]	110
XKVP[Du,B,P1,3,3]	100	XKVP[L,B,P2,3,3]	110
XKVP[Du,B,P1,3,4]	100	XKVP[L,B,P2,3,4]	110
XKVP[Du,B,P1,3,5]	100	XKVP[L,B,P2,3,5]	110

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 16 von 19 (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,B,P1,4,2]	100	XKVP[L,B,P2,4,2]	110
XKVP[Du,B,P1,4,3]	100	XKVP[L,B,P2,4,3]	110
XKVP[Du,B,P1,4,4]	100	XKVP[L,B,P2,4,4]	110
XKVP[Du,B,P1,4,5]	100	XKVP[L,B,P2,4,5]	110
XKVP[Du,B,P2,1,2]	100	XKVP[M,B,P1,1,2]	300
XKVP[Du,B,P2,1,3]	100	XKVP[M,B,P1,1,3]	300
XKVP[Du,B,P2,1,4]	100	XKVP[M,B,P1,1,4]	300
XKVP[Du,B,P2,1,5]	100	XKVP[M,B,P1,1,5]	300
XKVP[Du,B,P2,2,2]	100	XKVP[M,B,P1,2,2]	300
XKVP[Du,B,P2,2,3]	100	XKVP[M,B,P1,2,3]	300
XKVP[Du,B,P2,2,4]	100	XKVP[M,B,P1,2,4]	300
XKVP[Du,B,P2,2,5]	100	XKVP[M,B,P1,2,5]	300
XKVP[Du,B,P2,3,2]	100	XKVP[M,B,P1,3,2]	300
XKVP[Du,B,P2,3,3]	100	XKVP[M,B,P1,3,3]	300
XKVP[Du,B,P2,3,4]	100	XKVP[M,B,P1,3,4]	300
XKVP[Du,B,P2,3,5]	100	XKVP[M,B,P1,3,5]	300
XKVP[Du,B,P2,4,2]	100	XKVP[M,B,P1,4,2]	300
XKVP[Du,B,P2,4,3]	100	XKVP[M,B,P1,4,3]	300
XKVP[Du,B,P2,4,4]	100	XKVP[M,B,P1,4,4]	300
XKVP[Du,B,P2,4,5]	100	XKVP[M,B,P1,4,5]	300
XKVP[Due,B,P1,1,2]	125	XKVP[M,B,P2,1,2]	300
XKVP[Due,B,P1,1,3]	125	XKVP[M,B,P2,1,3]	300
XKVP[Due,B,P1,1,4]	125	XKVP[M,B,P2,1,4]	300
XKVP[Due,B,P1,1,5]	125	XKVP[M,B,P2,1,5]	300
XKVP[Due,B,P1,2,2]	125	XKVP[M,B,P2,2,2]	300
XKVP[Due,B,P1,2,3]	125	XKVP[M,B,P2,2,3]	300
XKVP[Due,B,P1,2,4]	125	XKVP[M,B,P2,2,4]	300
XKVP[Due,B,P1,2,5]	125	XKVP[M,B,P2,2,5]	300
XKVP[Due,B,P1,3,2]	125	XKVP[M,B,P2,3,2]	300
XKVP[Due,B,P1,3,3]	125	XKVP[M,B,P2,3,3]	300
XKVP[Due,B,P1,3,4]	125	XKVP[M,B,P2,3,4]	300
XKVP[Due,B,P1,3,5]	125	XKVP[M,B,P2,3,5]	300
XKVP[Due,B,P1,4,2]	125	XKVP[M,B,P2,4,2]	300
XKVP[Due,B,P1,4,3]	125	XKVP[M,B,P2,4,3]	300
XKVP[Due,B,P1,4,4]	125	XKVP[M,B,P2,4,4]	300
XKVP[Due,B,P1,4,5]	125	XKVP[M,B,P2,4,5]	300
XKVP[Due,B,P2,1,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,2]	105
XKVP[Due,B,P2,1,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,3]	105
XKVP[Due,B,P2,1,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,4]	105

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 17 von 19 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,B,P2,1,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,5]	105
XKVP[Due,B,P2,2,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,2]	105
XKVP[Due,B,P2,2,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,3]	105
XKVP[Due,B,P2,2,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,4]	105
XKVP[Due,B,P2,2,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,5]	105
XKVP[Due,B,P2,3,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,2]	105
XKVP[Due,B,P2,3,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,3]	105
XKVP[Due,B,P2,3,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,4]	105
XKVP[Due,B,P2,3,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,5]	105
XKVP[Due,B,P2,4,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,2]	105
XKVP[Due,B,P2,4,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,3]	105
XKVP[Due,B,P2,4,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,4]	105
XKVP[Due,B,P2,4,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,5]	105
XKVP[E,B,P1,1,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,2]	105
XKVP[E,B,P1,1,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,3]	105
XKVP[E,B,P1,1,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,4]	105
XKVP[E,B,P1,1,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,5]	105
XKVP[E,B,P1,2,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,2]	105
XKVP[E,B,P1,2,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,3]	105
XKVP[E,B,P1,2,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,4]	105
XKVP[E,B,P1,2,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,5]	105
XKVP[E,B,P1,3,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,2]	105
XKVP[E,B,P1,3,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,3]	105
XKVP[E,B,P1,3,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,4]	105
XKVP[E,B,P1,3,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,5]	105
XKVP[E,B,P1,4,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,2]	105
XKVP[E,B,P1,4,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,3]	105
XKVP[E,B,P1,4,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,4]	105
XKVP[E,B,P1,4,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,5]	105
XKVP[E,B,P2,1,2]	120	XKVP[S,B,P1,1,2]	125
XKVP[E,B,P2,1,3]	120	XKVP[S,B,P1,1,3]	125
XKVP[E,B,P2,1,4]	120	XKVP[S,B,P1,1,4]	125
XKVP[E,B,P2,1,5]	120	XKVP[S,B,P1,1,5]	125
XKVP[E,B,P2,2,2]	120	XKVP[S,B,P1,2,2]	125
XKVP[E,B,P2,2,3]	120	XKVP[S,B,P1,2,3]	125
XKVP[E,B,P2,2,4]	120	XKVP[S,B,P1,2,4]	125
XKVP[E,B,P2,2,5]	120	XKVP[S,B,P1,2,5]	125
XKVP[E,B,P2,3,2]	120	XKVP[S,B,P1,3,2]	125
XKVP[E,B,P2,3,3]	120	XKVP[S,B,P1,3,3]	125

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 18 von 19 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,B,P2,3,4]	120	XKVP[S,B,P1,3,4]	125
XKVP[E,B,P2,3,5]	120	XKVP[S,B,P1,3,5]	125
XKVP[E,B,P2,4,2]	120	XKVP[S,B,P1,4,2]	125
XKVP[E,B,P2,4,3]	120	XKVP[S,B,P1,4,3]	125
XKVP[E,B,P2,4,4]	120	XKVP[S,B,P1,4,4]	125
XKVP[E,B,P2,4,5]	120	XKVP[S,B,P1,4,5]	125
XKVP[FM,B,P1,1,2]	150	XKVP[S,B,P2,1,2]	125
XKVP[FM,B,P1,1,3]	150	XKVP[S,B,P2,1,3]	125
XKVP[FM,B,P1,1,4]	150	XKVP[S,B,P2,1,4]	125
XKVP[FM,B,P1,1,5]	150	XKVP[S,B,P2,1,5]	125
XKVP[FM,B,P1,2,2]	150	XKVP[S,B,P2,2,2]	125
XKVP[FM,B,P1,2,3]	150	XKVP[S,B,P2,2,3]	125
XKVP[FM,B,P1,2,4]	150	XKVP[S,B,P2,2,4]	125
XKVP[FM,B,P1,2,5]	150	XKVP[S,B,P2,2,5]	125
XKVP[FM,B,P1,3,2]	150	XKVP[S,B,P2,3,2]	125
XKVP[FM,B,P1,3,3]	150	XKVP[S,B,P2,3,3]	125
XKVP[FM,B,P1,3,4]	150	XKVP[S,B,P2,3,4]	125
XKVP[FM,B,P1,3,5]	150	XKVP[S,B,P2,3,5]	125
XKVP[FM,B,P1,4,2]	150	XKVP[S,B,P2,4,2]	125
XKVP[FM,B,P1,4,3]	150	XKVP[S,B,P2,4,3]	125
XKVP[FM,B,P1,4,4]	150	XKVP[S,B,P2,4,4]	125
XKVP[FM,B,P1,4,5]	150	XKVP[S,B,P2,4,5]	125
Transportmengen vom VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,1,2]	2891	XVRP[B,Dis,P2,1,2]	2891
XVRP[B,Dis,P1,1,3]	2891	XVRP[B,Dis,P2,1,3]	2891
XVRP[B,Dis,P1,1,4]	2891	XVRP[B,Dis,P2,1,4]	2891
XVRP[B,Dis,P1,1,5]	2891	XVRP[B,Dis,P2,1,5]	2891
XVRP[B,Dis,P1,2,2]	2891	XVRP[B,Dis,P2,2,2]	2891
XVRP[B,Dis,P1,2,3]	2891	XVRP[B,Dis,P2,2,3]	2891
XVRP[B,Dis,P1,2,4]	2891	XVRP[B,Dis,P2,2,4]	2891
XVRP[B,Dis,P1,2,5]	2891	XVRP[B,Dis,P2,2,5]	2891
XVRP[B,Dis,P1,3,2]	2891	XVRP[B,Dis,P2,3,2]	2891
XVRP[B,Dis,P1,3,3]	2891	XVRP[B,Dis,P2,3,3]	2891
XVRP[B,Dis,P1,3,4]	2891	XVRP[B,Dis,P2,3,4]	2891
XVRP[B,Dis,P1,3,5]	2891	XVRP[B,Dis,P2,3,5]	2891
XVRP[B,Dis,P1,4,2]	2891	XVRP[B,Dis,P2,4,2]	2891
XVRP[B,Dis,P1,4,3]	2891	XVRP[B,Dis,P2,4,3]	2891
XVRP[B,Dis,P1,4,4]	2891	XVRP[B,Dis,P2,4,4]	2891
XVRP[B,Dis,P1,4,5]	2891	XVRP[B,Dis,P2,4,5]	2891

Gesamtkosten und Werte der Ausgangslösung des FLCAPPTR2-Modells unter $c_{kp}^U = 81$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 19 von 19 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27$ für jede wiederaufbereitete Komponente			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)			18.090.831,71
Variablen für Standorteröffnungen in langfristiger Periode			
YFGes[B,1]	1	YRGes[B,2]	1
YVGes[B,1]	1		
Variablen für Offen-sein von Standorten in langfristiger Periode			
YF[B,1]	1	YV[B,3]	1
YF[B,2]	1	YV[B,4]	1
YF[B,3]	1	YV[B,5]	1
YF[B,4]	1	YR[B,2]	1
YF[B,5]	1	YR[B,3]	1
YV[B,1]	1	YR[B,4]	1
YV[B,2]	1	YR[B,5]	1
Kapazitätsaufbau in langfristiger Periode		Kapazitätsveränderungen in langfristiger Periode	
CCapFUP[B,1]	116	CCapF[B,1]	116
CCapVUP[B,1]	116	CCapV[B,1]	116
CCapVUP[B,2]	58	CCapV[B,2]	58
CCapRUP[B,2]	41	CCapR[B,2]	41
Anzahl Kapazitätenseinheiten in langfristiger Periode...			
...im VSZ		...im Werk	
CapVT[B,1]	116	CapFT[B,1]	116
CapVT[B,2]	174	CapFT[B,2]	116
CapVT[B,3]	174	CapFT[B,3]	116
CapVT[B,4]	174	CapFT[B,4]	116
CapVT[B,5]	174	CapFT[B,5]	116
Anzahl Kapazitätenseinheiten in langfristiger Periode im WZ			
CapRT[B,2]	41	CapRT[B,4]	41
CapRT[B,3]	41	CapRT[B,5]	41
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität in langfristiger Periode			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,1]	1
YCCapRUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapRUP[B,3]	1		
Anzahl Kapazitätenseinheiten im Werk für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapF[B,1,1]	116	CapF[B,3,1]	116
CapF[B,1,2]	116	CapF[B,3,2]	116
CapF[B,1,3]	116	CapF[B,3,3]	116
CapF[B,1,4]	116	CapF[B,3,4]	116
CapF[B,1,5]	116	CapF[B,3,5]	116
CapF[B,2,1]	116	CapF[B,4,1]	116
CapF[B,2,2]	116	CapF[B,4,2]	116

Abbildung A.45: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 22 (Eigene Darstellung)

CapF[B,2,3]	116	CapF[B,4,3]	116
CapF[B,2,4]	116	CapF[B,4,4]	116
CapF[B,2,5]	116	CapF[B,4,5]	116
Anzahl Kapazitätenseinheiten im VSZ für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapV[B,1,1]	116	CapV[B,3,1]	116
CapV[B,1,2]	174	CapV[B,3,2]	174
CapV[B,1,3]	174	CapV[B,3,3]	174
CapV[B,1,4]	174	CapV[B,3,4]	174
CapV[B,1,5]	174	CapV[B,3,5]	174
CapV[B,2,1]	116	CapV[B,4,1]	116
CapV[B,2,2]	174	CapV[B,4,2]	174
CapV[B,2,3]	174	CapV[B,4,3]	174
CapV[B,2,4]	174	CapV[B,4,4]	174
CapV[B,2,5]	174	CapV[B,4,5]	174
Anzahl Kapazitätenseinheiten im WZ für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapR[B,1,2]	41	CapR[B,3,2]	41
CapR[B,1,3]	41	CapR[B,3,3]	41
CapR[B,1,4]	41	CapR[B,3,4]	41
CapR[B,1,5]	41	CapR[B,3,5]	41
CapR[B,2,2]	41	CapR[B,4,2]	41
CapR[B,2,3]	41	CapR[B,4,3]	41
CapR[B,2,4]	41	CapR[B,4,4]	41
CapR[B,2,5]	41	CapR[B,4,5]	41
Personalbestand im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapF[B,1,1]	29	LCapF[B,3,1]	29
LCapF[B,1,2]	29	LCapF[B,3,2]	29
LCapF[B,1,3]	29	LCapF[B,3,3]	29
LCapF[B,1,4]	29	LCapF[B,3,4]	29
LCapF[B,1,5]	29	LCapF[B,3,5]	29
LCapF[B,2,1]	29	LCapF[B,4,1]	29
LCapF[B,2,2]	29	LCapF[B,4,2]	29
LCapF[B,2,3]	29	LCapF[B,4,3]	29
LCapF[B,2,4]	29	LCapF[B,4,4]	29
LCapF[B,2,5]	29	LCapF[B,4,5]	29
Personalbestand im VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapV[B,1,1]	15	LCapV[B,3,1]	15
LCapV[B,1,2]	22	LCapV[B,3,2]	22
LCapV[B,1,3]	22	LCapV[B,3,3]	22
LCapV[B,1,4]	22	LCapV[B,3,4]	22
LCapV[B,1,5]	22	LCapV[B,3,5]	22
LCapV[B,2,1]	15	LCapV[B,4,1]	15

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 22 (Eigene Darstellung)

LCapV[B,2,2]	22	LCapV[B,4,2]	22
LCapV[B,2,3]	22	LCapV[B,4,3]	22
LCapV[B,2,4]	22	LCapV[B,4,4]	22
LCapV[B,2,5]	22	LCapV[B,4,5]	22
Personalbestand im WZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapR[B,1,2]	40	LCapR[B,3,2]	40
LCapR[B,1,3]	40	LCapR[B,3,3]	40
LCapR[B,1,4]	40	LCapR[B,3,4]	40
LCapR[B,1,5]	41	LCapR[B,3,5]	40
LCapR[B,2,2]	40	LCapR[B,4,2]	41
LCapR[B,2,3]	41	LCapR[B,4,3]	40
LCapR[B,2,4]	42	LCapR[B,4,4]	40
LCapR[B,2,5]	41	LCapR[B,4,5]	41
Maximaler Personalbestand in der langfristigen Periode...			
...im VSZ		... im Werk	
LCapVT[B,1]	621	LCapFT[B,1]	621
LCapVT[B,2]	621	LCapFT[B,2]	621
LCapVT[B,3]	621	LCapFT[B,3]	621
LCapVT[B,4]	621	LCapFT[B,4]	621
LCapVT[B,5]	621	LCapFT[B,5]	621
Maximaler Personalbestand in der langfristigen Periode im WZ			
LCapRT[B,2]	621	LCapRT[B,4]	621
LCapRT[B,3]	621	LCapRT[B,5]	621
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCZF[B,M1,B,1,1]	5782	XCZF[B,M2,B,3,1]	11564
XCZF[B,M1,B,1,2]	4368	XCZF[B,M2,B,3,2]	8694
XCZF[B,M1,B,1,3]	4317	XCZF[B,M2,B,3,3]	8694
XCZF[B,M1,B,1,4]	4329	XCZF[B,M2,B,3,4]	8764
XCZF[B,M1,B,1,5]	4410	XCZF[B,M2,B,3,5]	8764
XCZF[B,M1,B,2,1]	5782	XCZF[B,M2,B,4,1]	11564
XCZF[B,M1,B,2,2]	4424	XCZF[B,M2,B,4,2]	8764
XCZF[B,M1,B,2,3]	4410	XCZF[B,M2,B,4,3]	8764
XCZF[B,M1,B,2,4]	4396	XCZF[B,M2,B,4,4]	8694
XCZF[B,M1,B,2,5]	4326	XCZF[B,M2,B,4,5]	8694
XCZF[B,M1,B,3,1]	5782	XCZF[B,M3,B,1,1]	5782
XCZF[B,M1,B,3,2]	4311	XCZF[B,M3,B,1,2]	4396
XCZF[B,M1,B,3,3]	4322	XCZF[B,M3,B,1,3]	4378
XCZF[B,M1,B,3,4]	4340	XCZF[B,M3,B,1,4]	4366
XCZF[B,M1,B,3,5]	4361	XCZF[B,M3,B,1,5]	4354
XCZF[B,M1,B,4,1]	5782	XCZF[B,M3,B,2,1]	5782
XCZF[B,M1,B,4,2]	4416	XCZF[B,M3,B,2,2]	4340

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 22 (Eigene Darstellung)

XCZF[B,M1,B,4,3]	4405	XCZF[B,M3,B,2,3]	4354
XCZF[B,M1,B,4,4]	4368	XCZF[B,M3,B,2,4]	4368
XCZF[B,M1,B,4,5]	4361	XCZF[B,M3,B,2,5]	4368
XCZF[B,M2,B,1,1]	11564	XCZF[B,M3,B,3,1]	5782
XCZF[B,M2,B,1,2]	8764	XCZF[B,M3,B,3,2]	4384
XCZF[B,M2,B,1,3]	8694	XCZF[B,M3,B,3,3]	4373
XCZF[B,M2,B,1,4]	8694	XCZF[B,M3,B,3,4]	4424
XCZF[B,M2,B,1,5]	8764	XCZF[B,M3,B,3,5]	4403
XCZF[B,M2,B,2,1]	11564	XCZF[B,M3,B,4,1]	5782
XCZF[B,M2,B,2,2]	8764	XCZF[B,M3,B,4,2]	4349
XCZF[B,M2,B,2,3]	8764	XCZF[B,M3,B,4,3]	4360
XCZF[B,M2,B,2,4]	8764	XCZF[B,M3,B,4,4]	4326
XCZF[B,M2,B,2,5]	8694	XCZF[B,M3,B,4,5]	4333
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCF[B,M1,1,1]	5782	XCF[B,M2,3,1]	11564
XCF[B,M1,1,2]	5782	XCF[B,M2,3,2]	11564
XCF[B,M1,1,3]	5782	XCF[B,M2,3,3]	11564
XCF[B,M1,1,4]	5782	XCF[B,M2,3,4]	11564
XCF[B,M1,1,5]	5782	XCF[B,M2,3,5]	11564
XCF[B,M1,2,1]	5782	XCF[B,M2,4,1]	11564
XCF[B,M1,2,2]	5782	XCF[B,M2,4,2]	11564
XCF[B,M1,2,3]	5782	XCF[B,M2,4,3]	11564
XCF[B,M1,2,4]	5782	XCF[B,M2,4,4]	11564
XCF[B,M1,2,5]	5782	XCF[B,M2,4,5]	11564
XCF[B,M1,3,1]	5782	XCF[B,M3,1,1]	5782
XCF[B,M1,3,2]	5782	XCF[B,M3,1,2]	5782
XCF[B,M1,3,3]	5782	XCF[B,M3,1,3]	5782
XCF[B,M1,3,4]	5782	XCF[B,M3,1,4]	5782
XCF[B,M1,3,5]	5782	XCF[B,M3,1,5]	5782
XCF[B,M1,4,1]	5782	XCF[B,M3,2,1]	5782
XCF[B,M1,4,2]	5782	XCF[B,M3,2,2]	5782
XCF[B,M1,4,3]	5782	XCF[B,M3,2,3]	5782
XCF[B,M1,4,4]	5782	XCF[B,M3,2,4]	5782
XCF[B,M1,4,5]	5782	XCF[B,M3,2,5]	5782
XCF[B,M2,1,1]	11564	XCF[B,M3,3,1]	5782
XCF[B,M2,1,2]	11564	XCF[B,M3,3,2]	5782
XCF[B,M2,1,3]	11564	XCF[B,M3,3,3]	5782
XCF[B,M2,1,4]	11564	XCF[B,M3,3,4]	5782
XCF[B,M2,1,5]	11564	XCF[B,M3,3,5]	5782
XCF[B,M2,2,1]	11564	XCF[B,M3,4,1]	5782

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 22 (Eigene Darstellung)

XCF[B,M2,2,2]	11564	XCF[B,M3,4,2]	5782
XCF[B,M2,2,3]	11564	XCF[B,M3,4,3]	5782
XCF[B,M2,2,4]	11564	XCF[B,M3,4,4]	5782
XCF[B,M2,2,5]	11564	XCF[B,M3,4,5]	5782
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPF[B,P1,1,1]	5782	XPF[B,P2,1,1]	5782
XPF[B,P1,1,2]	5782	XPF[B,P2,1,2]	5782
XPF[B,P1,1,3]	5782	XPF[B,P2,1,3]	5782
XPF[B,P1,1,4]	5782	XPF[B,P2,1,4]	5782
XPF[B,P1,1,5]	5782	XPF[B,P2,1,5]	5782
XPF[B,P1,2,1]	5782	XPF[B,P2,2,1]	5782
XPF[B,P1,2,2]	5782	XPF[B,P2,2,2]	5782
XPF[B,P1,2,3]	5782	XPF[B,P2,2,3]	5782
XPF[B,P1,2,4]	5782	XPF[B,P2,2,4]	5782
XPF[B,P1,2,5]	5782	XPF[B,P2,2,5]	5782
XPF[B,P1,3,1]	5782	XPF[B,P2,3,1]	5782
XPF[B,P1,3,2]	5782	XPF[B,P2,3,2]	5782
XPF[B,P1,3,3]	5782	XPF[B,P2,3,3]	5782
XPF[B,P1,3,4]	5782	XPF[B,P2,3,4]	5782
XPF[B,P1,3,5]	5782	XPF[B,P2,3,5]	5782
XPF[B,P1,4,1]	5782	XPF[B,P2,4,1]	5782
XPF[B,P1,4,2]	5782	XPF[B,P2,4,2]	5782
XPF[B,P1,4,3]	5782	XPF[B,P2,4,3]	5782
XPF[B,P1,4,4]	5782	XPF[B,P2,4,4]	5782
XPF[B,P1,4,5]	5782	XPF[B,P2,4,5]	5782
Transportmengen vom Werk zum VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPFBV[B,B,P1,1,1]	5782	XPFBV[B,B,P2,1,1]	5782
XPFBV[B,B,P1,1,2]	5782	XPFBV[B,B,P2,1,2]	5782
XPFBV[B,B,P1,1,3]	5782	XPFBV[B,B,P2,1,3]	5782
XPFBV[B,B,P1,1,4]	5782	XPFBV[B,B,P2,1,4]	5782
XPFBV[B,B,P1,1,5]	5782	XPFBV[B,B,P2,1,5]	5782
XPFBV[B,B,P1,2,1]	5782	XPFBV[B,B,P2,2,1]	5782
XPFBV[B,B,P1,2,2]	5782	XPFBV[B,B,P2,2,2]	5782
XPFBV[B,B,P1,2,3]	5782	XPFBV[B,B,P2,2,3]	5782
XPFBV[B,B,P1,2,4]	5782	XPFBV[B,B,P2,2,4]	5782
XPFBV[B,B,P1,2,5]	5782	XPFBV[B,B,P2,2,5]	5782
XPFBV[B,B,P1,3,1]	5782	XPFBV[B,B,P2,3,1]	5782
XPFBV[B,B,P1,3,2]	5782	XPFBV[B,B,P2,3,2]	5782
XPFBV[B,B,P1,3,3]	5782	XPFBV[B,B,P2,3,3]	5782
XPFBV[B,B,P1,3,4]	5782	XPFBV[B,B,P2,3,4]	5782

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 22 (Eigene Darstellung)

XPFV[B,B,P1,3,5]	5782	XPFV[B,B,P2,3,5]	5782
XPFV[B,B,P1,4,1]	5782	XPFV[B,B,P2,4,1]	5782
XPFV[B,B,P1,4,2]	5782	XPFV[B,B,P2,4,2]	5782
XPFV[B,B,P1,4,3]	5782	XPFV[B,B,P2,4,3]	5782
XPFV[B,B,P1,4,4]	5782	XPFV[B,B,P2,4,4]	5782
XPFV[B,B,P1,4,5]	5782	XPFV[B,B,P2,4,5]	5782
Transportmengen vom VSZ zu Kunden in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XVKP[B,B,P1,1,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,1]	300
XVKP[B,B,P1,1,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,2]	300
XVKP[B,B,P1,1,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,3]	300
XVKP[B,B,P1,1,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,4]	300
XVKP[B,B,P1,1,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,1,5]	300
XVKP[B,B,P1,2,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,1]	300
XVKP[B,B,P1,2,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,2]	300
XVKP[B,B,P1,2,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,3]	300
XVKP[B,B,P1,2,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,4]	300
XVKP[B,B,P1,2,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,2,5]	300
XVKP[B,B,P1,3,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,1]	300
XVKP[B,B,P1,3,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,2]	300
XVKP[B,B,P1,3,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,3]	300
XVKP[B,B,P1,3,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,4]	300
XVKP[B,B,P1,3,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,3,5]	300
XVKP[B,B,P1,4,1]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,1]	300
XVKP[B,B,P1,4,2]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,2]	300
XVKP[B,B,P1,4,3]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,3]	300
XVKP[B,B,P1,4,4]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,4]	300
XVKP[B,B,P1,4,5]	1424	XVKP[B,FM,P2,4,5]	300
XVKP[B,B,P2,1,1]	1424	XVKP[B,H,P1,1,1]	750
XVKP[B,B,P2,1,2]	1424	XVKP[B,H,P1,1,2]	750
XVKP[B,B,P2,1,3]	1424	XVKP[B,H,P1,1,3]	750
XVKP[B,B,P2,1,4]	1424	XVKP[B,H,P1,1,4]	750
XVKP[B,B,P2,1,5]	1424	XVKP[B,H,P1,1,5]	750
XVKP[B,B,P2,2,1]	1424	XVKP[B,H,P1,2,1]	750
XVKP[B,B,P2,2,2]	1424	XVKP[B,H,P1,2,2]	750
XVKP[B,B,P2,2,3]	1424	XVKP[B,H,P1,2,3]	750
XVKP[B,B,P2,2,4]	1424	XVKP[B,H,P1,2,4]	750
XVKP[B,B,P2,2,5]	1424	XVKP[B,H,P1,2,5]	750
XVKP[B,B,P2,3,1]	1424	XVKP[B,H,P1,3,1]	750
XVKP[B,B,P2,3,2]	1424	XVKP[B,H,P1,3,2]	750
XVKP[B,B,P2,3,3]	1424	XVKP[B,H,P1,3,3]	750

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P2,3,4]	1424	XVKP[B,H,P1,3,4]	750
XVKP[B,B,P2,3,5]	1424	XVKP[B,H,P1,3,5]	750
XVKP[B,B,P2,4,1]	1424	XVKP[B,H,P1,4,1]	750
XVKP[B,B,P2,4,2]	1424	XVKP[B,H,P1,4,2]	750
XVKP[B,B,P2,4,3]	1424	XVKP[B,H,P1,4,3]	750
XVKP[B,B,P2,4,4]	1424	XVKP[B,H,P1,4,4]	750
XVKP[B,B,P2,4,5]	1424	XVKP[B,H,P1,4,5]	750
XVKP[B,Br,P1,1,1]	230	XVKP[B,H,P2,1,1]	750
XVKP[B,Br,P1,1,2]	230	XVKP[B,H,P2,1,2]	750
XVKP[B,Br,P1,1,3]	230	XVKP[B,H,P2,1,3]	750
XVKP[B,Br,P1,1,4]	230	XVKP[B,H,P2,1,4]	750
XVKP[B,Br,P1,1,5]	230	XVKP[B,H,P2,1,5]	750
XVKP[B,Br,P1,2,1]	230	XVKP[B,H,P2,2,1]	750
XVKP[B,Br,P1,2,2]	230	XVKP[B,H,P2,2,2]	750
XVKP[B,Br,P1,2,3]	230	XVKP[B,H,P2,2,3]	750
XVKP[B,Br,P1,2,4]	230	XVKP[B,H,P2,2,4]	750
XVKP[B,Br,P1,2,5]	230	XVKP[B,H,P2,2,5]	750
XVKP[B,Br,P1,3,1]	230	XVKP[B,H,P2,3,1]	750
XVKP[B,Br,P1,3,2]	230	XVKP[B,H,P2,3,2]	750
XVKP[B,Br,P1,3,3]	230	XVKP[B,H,P2,3,3]	750
XVKP[B,Br,P1,3,4]	230	XVKP[B,H,P2,3,4]	750
XVKP[B,Br,P1,3,5]	230	XVKP[B,H,P2,3,5]	750
XVKP[B,Br,P1,4,1]	230	XVKP[B,H,P2,4,1]	750
XVKP[B,Br,P1,4,2]	230	XVKP[B,H,P2,4,2]	750
XVKP[B,Br,P1,4,3]	230	XVKP[B,H,P2,4,3]	750
XVKP[B,Br,P1,4,4]	230	XVKP[B,H,P2,4,4]	750
XVKP[B,Br,P1,4,5]	230	XVKP[B,H,P2,4,5]	750
XVKP[B,Br,P2,1,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,1]	214
XVKP[B,Br,P2,1,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,2]	214
XVKP[B,Br,P2,1,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,3]	214
XVKP[B,Br,P2,1,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,4]	214
XVKP[B,Br,P2,1,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,1,5]	214
XVKP[B,Br,P2,2,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,1]	214
XVKP[B,Br,P2,2,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,2]	214
XVKP[B,Br,P2,2,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,3]	214
XVKP[B,Br,P2,2,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,4]	214
XVKP[B,Br,P2,2,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,2,5]	214
XVKP[B,Br,P2,3,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,1]	214
XVKP[B,Br,P2,3,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,2]	214
XVKP[B,Br,P2,3,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,3]	214

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P2,3,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,4]	214
XVKP[B,Br,P2,3,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,3,5]	214
XVKP[B,Br,P2,4,1]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,1]	214
XVKP[B,Br,P2,4,2]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,2]	214
XVKP[B,Br,P2,4,3]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,3]	214
XVKP[B,Br,P2,4,4]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,4]	214
XVKP[B,Br,P2,4,5]	230	XVKP[B,Ha,P1,4,5]	214
XVKP[B,Do,P1,1,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,1]	214
XVKP[B,Do,P1,1,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,2]	214
XVKP[B,Do,P1,1,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,3]	214
XVKP[B,Do,P1,1,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,4]	214
XVKP[B,Do,P1,1,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,1,5]	214
XVKP[B,Do,P1,2,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,1]	214
XVKP[B,Do,P1,2,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,2]	214
XVKP[B,Do,P1,2,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,3]	214
XVKP[B,Do,P1,2,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,4]	214
XVKP[B,Do,P1,2,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,2,5]	214
XVKP[B,Do,P1,3,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,1]	214
XVKP[B,Do,P1,3,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,2]	214
XVKP[B,Do,P1,3,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,3]	214
XVKP[B,Do,P1,3,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,4]	214
XVKP[B,Do,P1,3,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,3,5]	214
XVKP[B,Do,P1,4,1]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,1]	214
XVKP[B,Do,P1,4,2]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,2]	214
XVKP[B,Do,P1,4,3]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,3]	214
XVKP[B,Do,P1,4,4]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,4]	214
XVKP[B,Do,P1,4,5]	240	XVKP[B,Ha,P2,4,5]	214
XVKP[B,Do,P2,1,1]	240	XVKP[B,K,P1,1,1]	434
XVKP[B,Do,P2,1,2]	240	XVKP[B,K,P1,1,2]	434
XVKP[B,Do,P2,1,3]	240	XVKP[B,K,P1,1,3]	434
XVKP[B,Do,P2,1,4]	240	XVKP[B,K,P1,1,4]	434
XVKP[B,Do,P2,1,5]	240	XVKP[B,K,P1,1,5]	434
XVKP[B,Do,P2,2,1]	240	XVKP[B,K,P1,2,1]	434
XVKP[B,Do,P2,2,2]	240	XVKP[B,K,P1,2,2]	434
XVKP[B,Do,P2,2,3]	240	XVKP[B,K,P1,2,3]	434
XVKP[B,Do,P2,2,4]	240	XVKP[B,K,P1,2,4]	434
XVKP[B,Do,P2,2,5]	240	XVKP[B,K,P1,2,5]	434
XVKP[B,Do,P2,3,1]	240	XVKP[B,K,P1,3,1]	434
XVKP[B,Do,P2,3,2]	240	XVKP[B,K,P1,3,2]	434
XVKP[B,Do,P2,3,3]	240	XVKP[B,K,P1,3,3]	434

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P2,3,4]	240	XVKP[B,K,P1,3,4]	434
XVKP[B,Do,P2,3,5]	240	XVKP[B,K,P1,3,5]	434
XVKP[B,Do,P2,4,1]	240	XVKP[B,K,P1,4,1]	434
XVKP[B,Do,P2,4,2]	240	XVKP[B,K,P1,4,2]	434
XVKP[B,Do,P2,4,3]	240	XVKP[B,K,P1,4,3]	434
XVKP[B,Do,P2,4,4]	240	XVKP[B,K,P1,4,4]	434
XVKP[B,Do,P2,4,5]	240	XVKP[B,K,P1,4,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,1]	220	XVKP[B,K,P2,1,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,2]	220	XVKP[B,K,P2,1,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,3]	220	XVKP[B,K,P2,1,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,4]	220	XVKP[B,K,P2,1,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,1,5]	220	XVKP[B,K,P2,1,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,1]	220	XVKP[B,K,P2,2,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,2]	220	XVKP[B,K,P2,2,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,3]	220	XVKP[B,K,P2,2,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,4]	220	XVKP[B,K,P2,2,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,2,5]	220	XVKP[B,K,P2,2,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,1]	220	XVKP[B,K,P2,3,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,2]	220	XVKP[B,K,P2,3,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,3]	220	XVKP[B,K,P2,3,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,4]	220	XVKP[B,K,P2,3,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,3,5]	220	XVKP[B,K,P2,3,5]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,1]	220	XVKP[B,K,P2,4,1]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,2]	220	XVKP[B,K,P2,4,2]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,3]	220	XVKP[B,K,P2,4,3]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,4]	220	XVKP[B,K,P2,4,4]	434
XVKP[B,Dr,P1,4,5]	220	XVKP[B,K,P2,4,5]	434
XVKP[B,Dr,P2,1,1]	220	XVKP[B,L,P1,1,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,2]	220	XVKP[B,L,P1,1,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,3]	220	XVKP[B,L,P1,1,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,4]	220	XVKP[B,L,P1,1,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,1,5]	220	XVKP[B,L,P1,1,5]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,1]	220	XVKP[B,L,P1,2,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,2]	220	XVKP[B,L,P1,2,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,3]	220	XVKP[B,L,P1,2,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,4]	220	XVKP[B,L,P1,2,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,2,5]	220	XVKP[B,L,P1,2,5]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,1]	220	XVKP[B,L,P1,3,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,2]	220	XVKP[B,L,P1,3,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,3]	220	XVKP[B,L,P1,3,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,3,4]	220	XVKP[B,L,P1,3,4]	220

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Dr,P2,3,5]	220	XVKP[B,L,P1,3,5]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,1]	220	XVKP[B,L,P1,4,1]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,2]	220	XVKP[B,L,P1,4,2]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,3]	220	XVKP[B,L,P1,4,3]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,4]	220	XVKP[B,L,P1,4,4]	220
XVKP[B,Dr,P2,4,5]	220	XVKP[B,L,P1,4,5]	220
XVKP[B,Du,P1,1,1]	200	XVKP[B,L,P2,1,1]	220
XVKP[B,Du,P1,1,2]	200	XVKP[B,L,P2,1,2]	220
XVKP[B,Du,P1,1,3]	200	XVKP[B,L,P2,1,3]	220
XVKP[B,Du,P1,1,4]	200	XVKP[B,L,P2,1,4]	220
XVKP[B,Du,P1,1,5]	200	XVKP[B,L,P2,1,5]	220
XVKP[B,Du,P1,2,1]	200	XVKP[B,L,P2,2,1]	220
XVKP[B,Du,P1,2,2]	200	XVKP[B,L,P2,2,2]	220
XVKP[B,Du,P1,2,3]	200	XVKP[B,L,P2,2,3]	220
XVKP[B,Du,P1,2,4]	200	XVKP[B,L,P2,2,4]	220
XVKP[B,Du,P1,2,5]	200	XVKP[B,L,P2,2,5]	220
XVKP[B,Du,P1,3,1]	200	XVKP[B,L,P2,3,1]	220
XVKP[B,Du,P1,3,2]	200	XVKP[B,L,P2,3,2]	220
XVKP[B,Du,P1,3,3]	200	XVKP[B,L,P2,3,3]	220
XVKP[B,Du,P1,3,4]	200	XVKP[B,L,P2,3,4]	220
XVKP[B,Du,P1,3,5]	200	XVKP[B,L,P2,3,5]	220
XVKP[B,Du,P1,4,1]	200	XVKP[B,L,P2,4,1]	220
XVKP[B,Du,P1,4,2]	200	XVKP[B,L,P2,4,2]	220
XVKP[B,Du,P1,4,3]	200	XVKP[B,L,P2,4,3]	220
XVKP[B,Du,P1,4,4]	200	XVKP[B,L,P2,4,4]	220
XVKP[B,Du,P1,4,5]	200	XVKP[B,L,P2,4,5]	220
XVKP[B,Du,P2,1,1]	200	XVKP[B,M,P1,1,1]	600
XVKP[B,Du,P2,1,2]	200	XVKP[B,M,P1,1,2]	600
XVKP[B,Du,P2,1,3]	200	XVKP[B,M,P1,1,3]	600
XVKP[B,Du,P2,1,4]	200	XVKP[B,M,P1,1,4]	600
XVKP[B,Du,P2,1,5]	200	XVKP[B,M,P1,1,5]	600
XVKP[B,Du,P2,2,1]	200	XVKP[B,M,P1,2,1]	600
XVKP[B,Du,P2,2,2]	200	XVKP[B,M,P1,2,2]	600
XVKP[B,Du,P2,2,3]	200	XVKP[B,M,P1,2,3]	600
XVKP[B,Du,P2,2,4]	200	XVKP[B,M,P1,2,4]	600
XVKP[B,Du,P2,2,5]	200	XVKP[B,M,P1,2,5]	600
XVKP[B,Du,P2,3,1]	200	XVKP[B,M,P1,3,1]	600
XVKP[B,Du,P2,3,2]	200	XVKP[B,M,P1,3,2]	600
XVKP[B,Du,P2,3,3]	200	XVKP[B,M,P1,3,3]	600
XVKP[B,Du,P2,3,4]	200	XVKP[B,M,P1,3,4]	600
XVKP[B,Du,P2,3,5]	200	XVKP[B,M,P1,3,5]	600

Gesamtkosten und Werte des FLCAPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 10 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P2,4,1]	200	XVKP[B,M,P1,4,1]	600
XVKP[B,Du,P2,4,2]	200	XVKP[B,M,P1,4,2]	600
XVKP[B,Du,P2,4,3]	200	XVKP[B,M,P1,4,3]	600
XVKP[B,Du,P2,4,4]	200	XVKP[B,M,P1,4,4]	600
XVKP[B,Du,P2,4,5]	200	XVKP[B,M,P1,4,5]	600
XVKP[B,Due,P1,1,1]	250	XVKP[B,M,P2,1,1]	600
XVKP[B,Due,P1,1,2]	250	XVKP[B,M,P2,1,2]	600
XVKP[B,Due,P1,1,3]	250	XVKP[B,M,P2,1,3]	600
XVKP[B,Due,P1,1,4]	250	XVKP[B,M,P2,1,4]	600
XVKP[B,Due,P1,1,5]	250	XVKP[B,M,P2,1,5]	600
XVKP[B,Due,P1,2,1]	250	XVKP[B,M,P2,2,1]	600
XVKP[B,Due,P1,2,2]	250	XVKP[B,M,P2,2,2]	600
XVKP[B,Due,P1,2,3]	250	XVKP[B,M,P2,2,3]	600
XVKP[B,Due,P1,2,4]	250	XVKP[B,M,P2,2,4]	600
XVKP[B,Due,P1,2,5]	250	XVKP[B,M,P2,2,5]	600
XVKP[B,Due,P1,3,1]	250	XVKP[B,M,P2,3,1]	600
XVKP[B,Due,P1,3,2]	250	XVKP[B,M,P2,3,2]	600
XVKP[B,Due,P1,3,3]	250	XVKP[B,M,P2,3,3]	600
XVKP[B,Due,P1,3,4]	250	XVKP[B,M,P2,3,4]	600
XVKP[B,Due,P1,3,5]	250	XVKP[B,M,P2,3,5]	600
XVKP[B,Due,P1,4,1]	250	XVKP[B,M,P2,4,1]	600
XVKP[B,Due,P1,4,2]	250	XVKP[B,M,P2,4,2]	600
XVKP[B,Due,P1,4,3]	250	XVKP[B,M,P2,4,3]	600
XVKP[B,Due,P1,4,4]	250	XVKP[B,M,P2,4,4]	600
XVKP[B,Due,P1,4,5]	250	XVKP[B,M,P2,4,5]	600
XVKP[B,Due,P2,1,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,1]	210
XVKP[B,Due,P2,1,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,2]	210
XVKP[B,Due,P2,1,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,3]	210
XVKP[B,Due,P2,1,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,4]	210
XVKP[B,Due,P2,1,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,1,5]	210
XVKP[B,Due,P2,2,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,1]	210
XVKP[B,Due,P2,2,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,2]	210
XVKP[B,Due,P2,2,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,3]	210
XVKP[B,Due,P2,2,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,4]	210
XVKP[B,Due,P2,2,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,2,5]	210
XVKP[B,Due,P2,3,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,1]	210
XVKP[B,Due,P2,3,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,2]	210
XVKP[B,Due,P2,3,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,3]	210
XVKP[B,Due,P2,3,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,4]	210
XVKP[B,Due,P2,3,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,3,5]	210
XVKP[B,Due,P2,4,1]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,1]	210

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 11 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P2,4,2]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,2]	210
XVKP[B,Due,P2,4,3]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,3]	210
XVKP[B,Due,P2,4,4]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,4]	210
XVKP[B,Due,P2,4,5]	250	XVKP[B,Nu,P1,4,5]	210
XVKP[B,E,P1,1,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,1]	210
XVKP[B,E,P1,1,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,2]	210
XVKP[B,E,P1,1,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,3]	210
XVKP[B,E,P1,1,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,4]	210
XVKP[B,E,P1,1,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,1,5]	210
XVKP[B,E,P1,2,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,1]	210
XVKP[B,E,P1,2,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,2]	210
XVKP[B,E,P1,2,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,3]	210
XVKP[B,E,P1,2,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,4]	210
XVKP[B,E,P1,2,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,2,5]	210
XVKP[B,E,P1,3,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,1]	210
XVKP[B,E,P1,3,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,2]	210
XVKP[B,E,P1,3,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,3]	210
XVKP[B,E,P1,3,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,4]	210
XVKP[B,E,P1,3,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,3,5]	210
XVKP[B,E,P1,4,1]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,1]	210
XVKP[B,E,P1,4,2]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,2]	210
XVKP[B,E,P1,4,3]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,3]	210
XVKP[B,E,P1,4,4]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,4]	210
XVKP[B,E,P1,4,5]	240	XVKP[B,Nu,P2,4,5]	210
XVKP[B,E,P2,1,1]	240	XVKP[B,S,P1,1,1]	250
XVKP[B,E,P2,1,2]	240	XVKP[B,S,P1,1,2]	250
XVKP[B,E,P2,1,3]	240	XVKP[B,S,P1,1,3]	250
XVKP[B,E,P2,1,4]	240	XVKP[B,S,P1,1,4]	250
XVKP[B,E,P2,1,5]	240	XVKP[B,S,P1,1,5]	250
XVKP[B,E,P2,2,1]	240	XVKP[B,S,P1,2,1]	250
XVKP[B,E,P2,2,2]	240	XVKP[B,S,P1,2,2]	250
XVKP[B,E,P2,2,3]	240	XVKP[B,S,P1,2,3]	250
XVKP[B,E,P2,2,4]	240	XVKP[B,S,P1,2,4]	250
XVKP[B,E,P2,2,5]	240	XVKP[B,S,P1,2,5]	250
XVKP[B,E,P2,3,1]	240	XVKP[B,S,P1,3,1]	250
XVKP[B,E,P2,3,2]	240	XVKP[B,S,P1,3,2]	250
XVKP[B,E,P2,3,3]	240	XVKP[B,S,P1,3,3]	250
XVKP[B,E,P2,3,4]	240	XVKP[B,S,P1,3,4]	250
XVKP[B,E,P2,3,5]	240	XVKP[B,S,P1,3,5]	250
XVKP[B,E,P2,4,1]	240	XVKP[B,S,P1,4,1]	250

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 12 von 22 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P2,4,2]	240	XVKP[B,S,P1,4,2]	250
XVKP[B,E,P2,4,3]	240	XVKP[B,S,P1,4,3]	250
XVKP[B,E,P2,4,4]	240	XVKP[B,S,P1,4,4]	250
XVKP[B,E,P2,4,5]	240	XVKP[B,S,P1,4,5]	250
XVKP[B,FM,P1,1,1]	300	XVKP[B,S,P2,1,1]	250
XVKP[B,FM,P1,1,2]	300	XVKP[B,S,P2,1,2]	250
XVKP[B,FM,P1,1,3]	300	XVKP[B,S,P2,1,3]	250
XVKP[B,FM,P1,1,4]	300	XVKP[B,S,P2,1,4]	250
XVKP[B,FM,P1,1,5]	300	XVKP[B,S,P2,1,5]	250
XVKP[B,FM,P1,2,1]	300	XVKP[B,S,P2,2,1]	250
XVKP[B,FM,P1,2,2]	300	XVKP[B,S,P2,2,2]	250
XVKP[B,FM,P1,2,3]	300	XVKP[B,S,P2,2,3]	250
XVKP[B,FM,P1,2,4]	300	XVKP[B,S,P2,2,4]	250
XVKP[B,FM,P1,2,5]	300	XVKP[B,S,P2,2,5]	250
XVKP[B,FM,P1,3,1]	300	XVKP[B,S,P2,3,1]	250
XVKP[B,FM,P1,3,2]	300	XVKP[B,S,P2,3,2]	250
XVKP[B,FM,P1,3,3]	300	XVKP[B,S,P2,3,3]	250
XVKP[B,FM,P1,3,4]	300	XVKP[B,S,P2,3,4]	250
XVKP[B,FM,P1,3,5]	300	XVKP[B,S,P2,3,5]	250
XVKP[B,FM,P1,4,1]	300	XVKP[B,S,P2,4,1]	250
XVKP[B,FM,P1,4,2]	300	XVKP[B,S,P2,4,2]	250
XVKP[B,FM,P1,4,3]	300	XVKP[B,S,P2,4,3]	250
XVKP[B,FM,P1,4,4]	300	XVKP[B,S,P2,4,4]	250
XVKP[B,FM,P1,4,5]	300	XVKP[B,S,P2,4,5]	250
Transportmengen von Kunden zum VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XKVP[B,B,P1,1,2]	712	XKVP[FM,B,P2,1,2]	150
XKVP[B,B,P1,1,3]	712	XKVP[FM,B,P2,1,3]	150
XKVP[B,B,P1,1,4]	712	XKVP[FM,B,P2,1,4]	150
XKVP[B,B,P1,1,5]	712	XKVP[FM,B,P2,1,5]	150
XKVP[B,B,P1,2,2]	712	XKVP[FM,B,P2,2,2]	150
XKVP[B,B,P1,2,3]	712	XKVP[FM,B,P2,2,3]	150
XKVP[B,B,P1,2,4]	712	XKVP[FM,B,P2,2,4]	150
XKVP[B,B,P1,2,5]	712	XKVP[FM,B,P2,2,5]	150
XKVP[B,B,P1,3,2]	712	XKVP[FM,B,P2,3,2]	150
XKVP[B,B,P1,3,3]	712	XKVP[FM,B,P2,3,3]	150
XKVP[B,B,P1,3,4]	712	XKVP[FM,B,P2,3,4]	150
XKVP[B,B,P1,3,5]	712	XKVP[FM,B,P2,3,5]	150
XKVP[B,B,P1,4,2]	712	XKVP[FM,B,P2,4,2]	150
XKVP[B,B,P1,4,3]	712	XKVP[FM,B,P2,4,3]	150
XKVP[B,B,P1,4,4]	712	XKVP[FM,B,P2,4,4]	150

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 13 von 22 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P1,4,5]	712	XKVP[FM,B,P2,4,5]	150
XKVP[B,B,P2,1,2]	712	XKVP[H,B,P1,1,2]	375
XKVP[B,B,P2,1,3]	712	XKVP[H,B,P1,1,3]	375
XKVP[B,B,P2,1,4]	712	XKVP[H,B,P1,1,4]	375
XKVP[B,B,P2,1,5]	712	XKVP[H,B,P1,1,5]	375
XKVP[B,B,P2,2,2]	712	XKVP[H,B,P1,2,2]	375
XKVP[B,B,P2,2,3]	712	XKVP[H,B,P1,2,3]	375
XKVP[B,B,P2,2,4]	712	XKVP[H,B,P1,2,4]	375
XKVP[B,B,P2,2,5]	712	XKVP[H,B,P1,2,5]	375
XKVP[B,B,P2,3,2]	712	XKVP[H,B,P1,3,2]	375
XKVP[B,B,P2,3,3]	712	XKVP[H,B,P1,3,3]	375
XKVP[B,B,P2,3,4]	712	XKVP[H,B,P1,3,4]	375
XKVP[B,B,P2,3,5]	712	XKVP[H,B,P1,3,5]	375
XKVP[B,B,P2,4,2]	712	XKVP[H,B,P1,4,2]	375
XKVP[B,B,P2,4,3]	712	XKVP[H,B,P1,4,3]	375
XKVP[B,B,P2,4,4]	712	XKVP[H,B,P1,4,4]	375
XKVP[B,B,P2,4,5]	712	XKVP[H,B,P1,4,5]	375
XKVP[Br,B,P1,1,2]	115	XKVP[H,B,P2,1,2]	375
XKVP[Br,B,P1,1,3]	115	XKVP[H,B,P2,1,3]	375
XKVP[Br,B,P1,1,4]	115	XKVP[H,B,P2,1,4]	375
XKVP[Br,B,P1,1,5]	115	XKVP[H,B,P2,1,5]	375
XKVP[Br,B,P1,2,2]	115	XKVP[H,B,P2,2,2]	375
XKVP[Br,B,P1,2,3]	115	XKVP[H,B,P2,2,3]	375
XKVP[Br,B,P1,2,4]	115	XKVP[H,B,P2,2,4]	375
XKVP[Br,B,P1,2,5]	115	XKVP[H,B,P2,2,5]	375
XKVP[Br,B,P1,3,2]	115	XKVP[H,B,P2,3,2]	375
XKVP[Br,B,P1,3,3]	115	XKVP[H,B,P2,3,3]	375
XKVP[Br,B,P1,3,4]	115	XKVP[H,B,P2,3,4]	375
XKVP[Br,B,P1,3,5]	115	XKVP[H,B,P2,3,5]	375
XKVP[Br,B,P1,4,2]	115	XKVP[H,B,P2,4,2]	375
XKVP[Br,B,P1,4,3]	115	XKVP[H,B,P2,4,3]	375
XKVP[Br,B,P1,4,4]	115	XKVP[H,B,P2,4,4]	375
XKVP[Br,B,P1,4,5]	115	XKVP[H,B,P2,4,5]	375
XKVP[Br,B,P2,1,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,2]	107
XKVP[Br,B,P2,1,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,3]	107
XKVP[Br,B,P2,1,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,4]	107
XKVP[Br,B,P2,1,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,1,5]	107
XKVP[Br,B,P2,2,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,2]	107
XKVP[Br,B,P2,2,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,3]	107
XKVP[Br,B,P2,2,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,4]	107

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 14 von 22 (Eigene Darstellung)

XKVP[Br,B,P2,2,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,2,5]	107
XKVP[Br,B,P2,3,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,2]	107
XKVP[Br,B,P2,3,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,3]	107
XKVP[Br,B,P2,3,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,4]	107
XKVP[Br,B,P2,3,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,3,5]	107
XKVP[Br,B,P2,4,2]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,2]	107
XKVP[Br,B,P2,4,3]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,3]	107
XKVP[Br,B,P2,4,4]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,4]	107
XKVP[Br,B,P2,4,5]	115	XKVP[Ha,B,P1,4,5]	107
XKVP[Do,B,P1,1,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,2]	107
XKVP[Do,B,P1,1,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,3]	107
XKVP[Do,B,P1,1,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,4]	107
XKVP[Do,B,P1,1,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,1,5]	107
XKVP[Do,B,P1,2,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,2]	107
XKVP[Do,B,P1,2,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,3]	107
XKVP[Do,B,P1,2,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,4]	107
XKVP[Do,B,P1,2,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,2,5]	107
XKVP[Do,B,P1,3,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,2]	107
XKVP[Do,B,P1,3,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,3]	107
XKVP[Do,B,P1,3,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,4]	107
XKVP[Do,B,P1,3,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,3,5]	107
XKVP[Do,B,P1,4,2]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,2]	107
XKVP[Do,B,P1,4,3]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,3]	107
XKVP[Do,B,P1,4,4]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,4]	107
XKVP[Do,B,P1,4,5]	120	XKVP[Ha,B,P2,4,5]	107
XKVP[Do,B,P2,1,2]	120	XKVP[K,B,P1,1,2]	217
XKVP[Do,B,P2,1,3]	120	XKVP[K,B,P1,1,3]	217
XKVP[Do,B,P2,1,4]	120	XKVP[K,B,P1,1,4]	217
XKVP[Do,B,P2,1,5]	120	XKVP[K,B,P1,1,5]	217
XKVP[Do,B,P2,2,2]	120	XKVP[K,B,P1,2,2]	217
XKVP[Do,B,P2,2,3]	120	XKVP[K,B,P1,2,3]	217
XKVP[Do,B,P2,2,4]	120	XKVP[K,B,P1,2,4]	217
XKVP[Do,B,P2,2,5]	120	XKVP[K,B,P1,2,5]	217
XKVP[Do,B,P2,3,2]	120	XKVP[K,B,P1,3,2]	217
XKVP[Do,B,P2,3,3]	120	XKVP[K,B,P1,3,3]	217
XKVP[Do,B,P2,3,4]	120	XKVP[K,B,P1,3,4]	217
XKVP[Do,B,P2,3,5]	120	XKVP[K,B,P1,3,5]	217
XKVP[Do,B,P2,4,2]	120	XKVP[K,B,P1,4,2]	217
XKVP[Do,B,P2,4,3]	120	XKVP[K,B,P1,4,3]	217
XKVP[Do,B,P2,4,4]	120	XKVP[K,B,P1,4,4]	217

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 15 von 22 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,B,P2,4,5]	120	XKVP[K,B,P1,4,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,2]	110	XKVP[K,B,P2,1,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,3]	110	XKVP[K,B,P2,1,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,4]	110	XKVP[K,B,P2,1,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,5]	110	XKVP[K,B,P2,1,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,2]	110	XKVP[K,B,P2,2,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,3]	110	XKVP[K,B,P2,2,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,4]	110	XKVP[K,B,P2,2,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,5]	110	XKVP[K,B,P2,2,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,2]	110	XKVP[K,B,P2,3,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,3]	110	XKVP[K,B,P2,3,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,4]	110	XKVP[K,B,P2,3,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,5]	110	XKVP[K,B,P2,3,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,2]	110	XKVP[K,B,P2,4,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,3]	110	XKVP[K,B,P2,4,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,4]	110	XKVP[K,B,P2,4,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,5]	110	XKVP[K,B,P2,4,5]	217
XKVP[Dr,B,P2,1,2]	110	XKVP[L,B,P1,1,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,3]	110	XKVP[L,B,P1,1,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,4]	110	XKVP[L,B,P1,1,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,5]	110	XKVP[L,B,P1,1,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,2]	110	XKVP[L,B,P1,2,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,3]	110	XKVP[L,B,P1,2,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,4]	110	XKVP[L,B,P1,2,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,5]	110	XKVP[L,B,P1,2,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,2]	110	XKVP[L,B,P1,3,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,3]	110	XKVP[L,B,P1,3,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,4]	110	XKVP[L,B,P1,3,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,5]	110	XKVP[L,B,P1,3,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,2]	110	XKVP[L,B,P1,4,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,3]	110	XKVP[L,B,P1,4,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,4]	110	XKVP[L,B,P1,4,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,5]	110	XKVP[L,B,P1,4,5]	110
XKVP[Du,B,P1,1,2]	100	XKVP[L,B,P2,1,2]	110
XKVP[Du,B,P1,1,3]	100	XKVP[L,B,P2,1,3]	110
XKVP[Du,B,P1,1,4]	100	XKVP[L,B,P2,1,4]	110
XKVP[Du,B,P1,1,5]	100	XKVP[L,B,P2,1,5]	110
XKVP[Du,B,P1,2,2]	100	XKVP[L,B,P2,2,2]	110
XKVP[Du,B,P1,2,3]	100	XKVP[L,B,P2,2,3]	110
XKVP[Du,B,P1,2,4]	100	XKVP[L,B,P2,2,4]	110

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 16 von 22 (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,B,P1,2,5]	100	XKVP[L,B,P2,2,5]	110
XKVP[Du,B,P1,3,2]	100	XKVP[L,B,P2,3,2]	110
XKVP[Du,B,P1,3,3]	100	XKVP[L,B,P2,3,3]	110
XKVP[Du,B,P1,3,4]	100	XKVP[L,B,P2,3,4]	110
XKVP[Du,B,P1,3,5]	100	XKVP[L,B,P2,3,5]	110
XKVP[Du,B,P1,4,2]	100	XKVP[L,B,P2,4,2]	110
XKVP[Du,B,P1,4,3]	100	XKVP[L,B,P2,4,3]	110
XKVP[Du,B,P1,4,4]	100	XKVP[L,B,P2,4,4]	110
XKVP[Du,B,P1,4,5]	100	XKVP[L,B,P2,4,5]	110
XKVP[Du,B,P2,1,2]	100	XKVP[M,B,P1,1,2]	300
XKVP[Du,B,P2,1,3]	100	XKVP[M,B,P1,1,3]	300
XKVP[Du,B,P2,1,4]	100	XKVP[M,B,P1,1,4]	300
XKVP[Du,B,P2,1,5]	100	XKVP[M,B,P1,1,5]	300
XKVP[Du,B,P2,2,2]	100	XKVP[M,B,P1,2,2]	300
XKVP[Du,B,P2,2,3]	100	XKVP[M,B,P1,2,3]	300
XKVP[Du,B,P2,2,4]	100	XKVP[M,B,P1,2,4]	300
XKVP[Du,B,P2,2,5]	100	XKVP[M,B,P1,2,5]	300
XKVP[Du,B,P2,3,2]	100	XKVP[M,B,P1,3,2]	300
XKVP[Du,B,P2,3,3]	100	XKVP[M,B,P1,3,3]	300
XKVP[Du,B,P2,3,4]	100	XKVP[M,B,P1,3,4]	300
XKVP[Du,B,P2,3,5]	100	XKVP[M,B,P1,3,5]	300
XKVP[Du,B,P2,4,2]	100	XKVP[M,B,P1,4,2]	300
XKVP[Du,B,P2,4,3]	100	XKVP[M,B,P1,4,3]	300
XKVP[Du,B,P2,4,4]	100	XKVP[M,B,P1,4,4]	300
XKVP[Du,B,P2,4,5]	100	XKVP[M,B,P1,4,5]	300
XKVP[Due,B,P1,1,2]	125	XKVP[M,B,P2,1,2]	300
XKVP[Due,B,P1,1,3]	125	XKVP[M,B,P2,1,3]	300
XKVP[Due,B,P1,1,4]	125	XKVP[M,B,P2,1,4]	300
XKVP[Due,B,P1,1,5]	125	XKVP[M,B,P2,1,5]	300
XKVP[Due,B,P1,2,2]	125	XKVP[M,B,P2,2,2]	300
XKVP[Due,B,P1,2,3]	125	XKVP[M,B,P2,2,3]	300
XKVP[Due,B,P1,2,4]	125	XKVP[M,B,P2,2,4]	300
XKVP[Due,B,P1,2,5]	125	XKVP[M,B,P2,2,5]	300
XKVP[Due,B,P1,3,2]	125	XKVP[M,B,P2,3,2]	300
XKVP[Due,B,P1,3,3]	125	XKVP[M,B,P2,3,3]	300
XKVP[Due,B,P1,3,4]	125	XKVP[M,B,P2,3,4]	300
XKVP[Due,B,P1,3,5]	125	XKVP[M,B,P2,3,5]	300
XKVP[Due,B,P1,4,2]	125	XKVP[M,B,P2,4,2]	300
XKVP[Due,B,P1,4,3]	125	XKVP[M,B,P2,4,3]	300
XKVP[Due,B,P1,4,4]	125	XKVP[M,B,P2,4,4]	300

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 17 von 22 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,B,P1,4,5]	125	XKVP[M,B,P2,4,5]	300
XKVP[Due,B,P2,1,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,2]	105
XKVP[Due,B,P2,1,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,3]	105
XKVP[Due,B,P2,1,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,4]	105
XKVP[Due,B,P2,1,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,1,5]	105
XKVP[Due,B,P2,2,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,2]	105
XKVP[Due,B,P2,2,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,3]	105
XKVP[Due,B,P2,2,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,4]	105
XKVP[Due,B,P2,2,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,2,5]	105
XKVP[Due,B,P2,3,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,2]	105
XKVP[Due,B,P2,3,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,3]	105
XKVP[Due,B,P2,3,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,4]	105
XKVP[Due,B,P2,3,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,3,5]	105
XKVP[Due,B,P2,4,2]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,2]	105
XKVP[Due,B,P2,4,3]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,3]	105
XKVP[Due,B,P2,4,4]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,4]	105
XKVP[Due,B,P2,4,5]	125	XKVP[Nu,B,P1,4,5]	105
XKVP[E,B,P1,1,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,2]	105
XKVP[E,B,P1,1,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,3]	105
XKVP[E,B,P1,1,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,4]	105
XKVP[E,B,P1,1,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,1,5]	105
XKVP[E,B,P1,2,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,2]	105
XKVP[E,B,P1,2,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,3]	105
XKVP[E,B,P1,2,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,4]	105
XKVP[E,B,P1,2,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,2,5]	105
XKVP[E,B,P1,3,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,2]	105
XKVP[E,B,P1,3,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,3]	105
XKVP[E,B,P1,3,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,4]	105
XKVP[E,B,P1,3,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,3,5]	105
XKVP[E,B,P1,4,2]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,2]	105
XKVP[E,B,P1,4,3]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,3]	105
XKVP[E,B,P1,4,4]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,4]	105
XKVP[E,B,P1,4,5]	120	XKVP[Nu,B,P2,4,5]	105
XKVP[E,B,P2,1,2]	120	XKVP[S,B,P1,1,2]	125
XKVP[E,B,P2,1,3]	120	XKVP[S,B,P1,1,3]	125
XKVP[E,B,P2,1,4]	120	XKVP[S,B,P1,1,4]	125
XKVP[E,B,P2,1,5]	120	XKVP[S,B,P1,1,5]	125
XKVP[E,B,P2,2,2]	120	XKVP[S,B,P1,2,2]	125
XKVP[E,B,P2,2,3]	120	XKVP[S,B,P1,2,3]	125
XKVP[E,B,P2,2,4]	120	XKVP[S,B,P1,2,4]	125

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 18 von 22 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,B,P2,2,5]	120	XKVP[S,B,P1,2,5]	125
XKVP[E,B,P2,3,2]	120	XKVP[S,B,P1,3,2]	125
XKVP[E,B,P2,3,3]	120	XKVP[S,B,P1,3,3]	125
XKVP[E,B,P2,3,4]	120	XKVP[S,B,P1,3,4]	125
XKVP[E,B,P2,3,5]	120	XKVP[S,B,P1,3,5]	125
XKVP[E,B,P2,4,2]	120	XKVP[S,B,P1,4,2]	125
XKVP[E,B,P2,4,3]	120	XKVP[S,B,P1,4,3]	125
XKVP[E,B,P2,4,4]	120	XKVP[S,B,P1,4,4]	125
XKVP[E,B,P2,4,5]	120	XKVP[S,B,P1,4,5]	125
XKVP[FM,B,P1,1,2]	150	XKVP[S,B,P2,1,2]	125
XKVP[FM,B,P1,1,3]	150	XKVP[S,B,P2,1,3]	125
XKVP[FM,B,P1,1,4]	150	XKVP[S,B,P2,1,4]	125
XKVP[FM,B,P1,1,5]	150	XKVP[S,B,P2,1,5]	125
XKVP[FM,B,P1,2,2]	150	XKVP[S,B,P2,2,2]	125
XKVP[FM,B,P1,2,3]	150	XKVP[S,B,P2,2,3]	125
XKVP[FM,B,P1,2,4]	150	XKVP[S,B,P2,2,4]	125
XKVP[FM,B,P1,2,5]	150	XKVP[S,B,P2,2,5]	125
XKVP[FM,B,P1,3,2]	150	XKVP[S,B,P2,3,2]	125
XKVP[FM,B,P1,3,3]	150	XKVP[S,B,P2,3,3]	125
XKVP[FM,B,P1,3,4]	150	XKVP[S,B,P2,3,4]	125
XKVP[FM,B,P1,3,5]	150	XKVP[S,B,P2,3,5]	125
XKVP[FM,B,P1,4,2]	150	XKVP[S,B,P2,4,2]	125
XKVP[FM,B,P1,4,3]	150	XKVP[S,B,P2,4,3]	125
XKVP[FM,B,P1,4,4]	150	XKVP[S,B,P2,4,4]	125
XKVP[FM,B,P1,4,5]	150	XKVP[S,B,P2,4,5]	125
Transportmengen vom VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode zum Entsorgungsstandort...			
...zum WZ		...zum Entsorgungsstandort	
XVRP[B,B,P1,1,2]	2020	XVRP[B,Dis,P1,1,2]	871
XVRP[B,B,P1,1,3]	2023	XVRP[B,Dis,P1,1,3]	868
XVRP[B,B,P1,1,4]	2023	XVRP[B,Dis,P1,1,4]	868
XVRP[B,B,P1,1,5]	2023	XVRP[B,Dis,P1,1,5]	868
XVRP[B,B,P1,2,2]	2019	XVRP[B,Dis,P1,2,2]	872
XVRP[B,B,P1,2,3]	2023	XVRP[B,Dis,P1,2,3]	868
XVRP[B,B,P1,2,4]	2022	XVRP[B,Dis,P1,2,4]	869
XVRP[B,B,P1,2,5]	2023	XVRP[B,Dis,P1,2,5]	868
XVRP[B,B,P1,3,2]	2023	XVRP[B,Dis,P1,3,2]	868
XVRP[B,B,P1,3,3]	2023	XVRP[B,Dis,P1,3,3]	868
XVRP[B,B,P1,3,4]	2023	XVRP[B,Dis,P1,3,4]	868
XVRP[B,B,P1,3,5]	2023	XVRP[B,Dis,P1,3,5]	868
XVRP[B,B,P1,4,2]	2023	XVRP[B,Dis,P1,4,2]	868

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 19 von 22 (Eigene Darstellung)

XVRP[B,B,P1,4,3]	2022	XVRP[B,Dis,P1,4,3]	869
XVRP[B,B,P1,4,4]	2023	XVRP[B,Dis,P1,4,4]	868
XVRP[B,B,P1,4,5]	2023	XVRP[B,Dis,P1,4,5]	868
XVRP[B,B,P2,1,2]	2017	XVRP[B,Dis,P2,1,2]	874
XVRP[B,B,P2,1,3]	2023	XVRP[B,Dis,P2,1,3]	868
XVRP[B,B,P2,1,4]	2023	XVRP[B,Dis,P2,1,4]	868
XVRP[B,B,P2,1,5]	2023	XVRP[B,Dis,P2,1,5]	868
XVRP[B,B,P2,2,2]	2023	XVRP[B,Dis,P2,2,2]	868
XVRP[B,B,P2,2,3]	2023	XVRP[B,Dis,P2,2,3]	868
XVRP[B,B,P2,2,4]	2020	XVRP[B,Dis,P2,2,4]	871
XVRP[B,B,P2,2,5]	2020	XVRP[B,Dis,P2,2,5]	871
XVRP[B,B,P2,3,2]	2023	XVRP[B,Dis,P2,3,2]	868
XVRP[B,B,P2,3,3]	2023	XVRP[B,Dis,P2,3,3]	868
XVRP[B,B,P2,3,4]	2014	XVRP[B,Dis,P2,3,4]	877
XVRP[B,B,P2,3,5]	2017	XVRP[B,Dis,P2,3,5]	874
XVRP[B,B,P2,4,2]	2023	XVRP[B,Dis,P2,4,2]	868
XVRP[B,B,P2,4,3]	2023	XVRP[B,Dis,P2,4,3]	868
XVRP[B,B,P2,4,4]	2023	XVRP[B,Dis,P2,4,4]	868
XVRP[B,B,P2,4,5]	2023	XVRP[B,Dis,P2,4,5]	868
Bearbeitungsmengen im WZ an Komponenten in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCR[B,M1,1,2]	2020	XCR[B,M2,3,2]	4100
XCR[B,M1,1,3]	2094	XCR[B,M2,3,3]	4100
XCR[B,M1,1,4]	2077	XCR[B,M2,3,4]	4000
XCR[B,M1,1,5]	1960	XCR[B,M2,3,5]	4000
XCR[B,M1,2,2]	1940	XCR[B,M2,4,2]	4000
XCR[B,M1,2,3]	1960	XCR[B,M2,4,3]	4000
XCR[B,M1,2,4]	1980	XCR[B,M2,4,4]	4100
XCR[B,M1,2,5]	2080	XCR[B,M2,4,5]	4100
XCR[B,M1,3,2]	2102	XCR[B,M3,1,2]	1980
XCR[B,M1,3,3]	2086	XCR[B,M3,1,3]	2006
XCR[B,M1,3,4]	2060	XCR[B,M3,1,4]	2023
XCR[B,M1,3,5]	2030	XCR[B,M3,1,5]	2040
XCR[B,M1,4,2]	1952	XCR[B,M3,2,2]	2060
XCR[B,M1,4,3]	1968	XCR[B,M3,2,3]	2040
XCR[B,M1,4,4]	2020	XCR[B,M3,2,4]	2020
XCR[B,M1,4,5]	2030	XCR[B,M3,2,5]	2020
XCR[B,M2,1,2]	4000	XCR[B,M3,3,2]	1998
XCR[B,M2,1,3]	4100	XCR[B,M3,3,3]	2014
XCR[B,M2,1,4]	4100	XCR[B,M3,3,4]	1940
XCR[B,M2,1,5]	4000	XCR[B,M3,3,5]	1970

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 20 von 22 (Eigene Darstellung)

XCR[B,M2,2,2]	4000	XCR[B,M3,4,2]	2048
XCR[B,M2,2,3]	4000	XCR[B,M3,4,3]	2032
XCR[B,M2,2,4]	4000	XCR[B,M3,4,4]	2080
XCR[B,M2,2,5]	4100	XCR[B,M3,4,5]	2070
Bearbeitungsmengen im WZ an Produkten in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPR[B,P1,1,2]	2020	XPR[B,P2,1,2]	1980
XPR[B,P1,1,3]	2094	XPR[B,P2,1,3]	2006
XPR[B,P1,1,4]	2077	XPR[B,P2,1,4]	2023
XPR[B,P1,1,5]	1960	XPR[B,P2,1,5]	2040
XPR[B,P1,2,2]	1940	XPR[B,P2,2,2]	2060
XPR[B,P1,2,3]	1960	XPR[B,P2,2,3]	2040
XPR[B,P1,2,4]	1980	XPR[B,P2,2,4]	2020
XPR[B,P1,2,5]	2080	XPR[B,P2,2,5]	2020
XPR[B,P1,3,2]	2102	XPR[B,P2,3,2]	1998
XPR[B,P1,3,3]	2086	XPR[B,P2,3,3]	2014
XPR[B,P1,3,4]	2060	XPR[B,P2,3,4]	1940
XPR[B,P1,3,5]	2030	XPR[B,P2,3,5]	1970
XPR[B,P1,4,2]	1952	XPR[B,P2,4,2]	2048
XPR[B,P1,4,3]	1968	XPR[B,P2,4,3]	2032
XPR[B,P1,4,4]	2020	XPR[B,P2,4,4]	2080
XPR[B,P1,4,5]	2030	XPR[B,P2,4,5]	2070
Transportmengen vom WZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode...			
...zum Werk		...zum Entsorgungsstandort	
XCRF[B,M1,B,1,2]	1414	XCRF[B,M1,Dis,1,2]	606
XCRF[B,M1,B,1,3]	1465	XCRF[B,M1,Dis,1,3]	629
XCRF[B,M1,B,1,4]	1453	XCRF[B,M1,Dis,1,4]	624
XCRF[B,M1,B,1,5]	1372	XCRF[B,M1,Dis,1,5]	588
XCRF[B,M1,B,2,2]	1358	XCRF[B,M1,Dis,2,2]	582
XCRF[B,M1,B,2,3]	1372	XCRF[B,M1,Dis,2,3]	588
XCRF[B,M1,B,2,4]	1386	XCRF[B,M1,Dis,2,4]	594
XCRF[B,M1,B,2,5]	1456	XCRF[B,M1,Dis,2,5]	624
XCRF[B,M1,B,3,2]	1471	XCRF[B,M1,Dis,3,2]	631
XCRF[B,M1,B,3,3]	1460	XCRF[B,M1,Dis,3,3]	626
XCRF[B,M1,B,3,4]	1442	XCRF[B,M1,Dis,3,4]	618
XCRF[B,M1,B,3,5]	1421	XCRF[B,M1,Dis,3,5]	609
XCRF[B,M1,B,4,2]	1366	XCRF[B,M1,Dis,4,2]	586
XCRF[B,M1,B,4,3]	1377	XCRF[B,M1,Dis,4,3]	591
XCRF[B,M1,B,4,4]	1414	XCRF[B,M1,Dis,4,4]	606
XCRF[B,M1,B,4,5]	1421	XCRF[B,M1,Dis,4,5]	609
XCRF[B,M2,B,1,2]	2800	XCRF[B,M2,Dis,1,2]	1200

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 21 von 22 (Eigene Darstellung)

XCRF[B,M2,B,1,3]	2870	XCRF[B,M2,Dis,1,3]	1230
XCRF[B,M2,B,1,4]	2870	XCRF[B,M2,Dis,1,4]	1230
XCRF[B,M2,B,1,5]	2800	XCRF[B,M2,Dis,1,5]	1200
XCRF[B,M2,B,2,2]	2800	XCRF[B,M2,Dis,2,2]	1200
XCRF[B,M2,B,2,3]	2800	XCRF[B,M2,Dis,2,3]	1200
XCRF[B,M2,B,2,4]	2800	XCRF[B,M2,Dis,2,4]	1200
XCRF[B,M2,B,2,5]	2870	XCRF[B,M2,Dis,2,5]	1230
XCRF[B,M2,B,3,2]	2870	XCRF[B,M2,Dis,3,2]	1230
XCRF[B,M2,B,3,3]	2870	XCRF[B,M2,Dis,3,3]	1230
XCRF[B,M2,B,3,4]	2800	XCRF[B,M2,Dis,3,4]	1200
XCRF[B,M2,B,3,5]	2800	XCRF[B,M2,Dis,3,5]	1200
XCRF[B,M2,B,4,2]	2800	XCRF[B,M2,Dis,4,2]	1200
XCRF[B,M2,B,4,3]	2800	XCRF[B,M2,Dis,4,3]	1200
XCRF[B,M2,B,4,4]	2870	XCRF[B,M2,Dis,4,4]	1230
XCRF[B,M2,B,4,5]	2870	XCRF[B,M2,Dis,4,5]	1230
XCRF[B,M3,B,1,2]	1386	XCRF[B,M3,Dis,1,2]	594
XCRF[B,M3,B,1,3]	1404	XCRF[B,M3,Dis,1,3]	602
XCRF[B,M3,B,1,4]	1416	XCRF[B,M3,Dis,1,4]	607
XCRF[B,M3,B,1,5]	1428	XCRF[B,M3,Dis,1,5]	612
XCRF[B,M3,B,2,2]	1442	XCRF[B,M3,Dis,2,2]	618
XCRF[B,M3,B,2,3]	1428	XCRF[B,M3,Dis,2,3]	612
XCRF[B,M3,B,2,4]	1414	XCRF[B,M3,Dis,2,4]	606
XCRF[B,M3,B,2,5]	1414	XCRF[B,M3,Dis,2,5]	606
XCRF[B,M3,B,3,2]	1398	XCRF[B,M3,Dis,3,2]	600
XCRF[B,M3,B,3,3]	1409	XCRF[B,M3,Dis,3,3]	605
XCRF[B,M3,B,3,4]	1358	XCRF[B,M3,Dis,3,4]	582
XCRF[B,M3,B,3,5]	1379	XCRF[B,M3,Dis,3,5]	591
XCRF[B,M3,B,4,2]	1433	XCRF[B,M3,Dis,4,2]	615
XCRF[B,M3,B,4,3]	1422	XCRF[B,M3,Dis,4,3]	610
XCRF[B,M3,B,4,4]	1456	XCRF[B,M3,Dis,4,4]	624
XCRF[B,M3,B,4,5]	1449	XCRF[B,M3,Dis,4,5]	621
Lagermengen an Produkten im WZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
IPR[B,P1,1,5]	71	IPR[B,P1,4,4]	8
IPR[B,P1,2,2]	79	IPR[B,P2,1,2]	37
IPR[B,P1,2,3]	63	IPR[B,P2,1,3]	17
IPR[B,P1,2,4]	42	IPR[B,P2,3,2]	25
IPR[B,P1,2,5]	14	IPR[B,P2,3,3]	9
IPR[B,P1,3,4]	5	IPR[B,P2,3,4]	74
IPR[B,P1,3,5]	7	IPR[B,P2,3,5]	47
IPR[B,P1,4,2]	71	IPR[B,P2,4,4]	17
IPR[B,P1,4,3]	54		

Gesamtkosten und Werte des FLCAPTR2-Modells für $c_r = -27, \forall r \in R$, unter $c_{kp}^U = 81, \forall k \in K, p \in P$, Seite 22 von 22 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000 \text{ m}^3$ pro VSZ und $c^U = 500 \text{ GE}$ pro unbefriedigter Nachfrage			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten in GE)			19.406.255,87
Variablen für Standorteröffnungen in langfristiger Periode			
YFGes[B,1]	1	YVGes[Do,1]	1
YVGes[B,1]	1		
Variablen für Offen-sein von Standorten in langfristiger Periode			
YF[B,1]	1	YV[B,4]	1
YF[B,2]	1	YV[B,5]	1
YF[B,3]	1	YV[Do,1]	1
YF[B,4]	1	YV[Do,2]	1
YF[B,5]	1	YV[Do,3]	1
YV[B,1]	1	YV[Do,4]	1
YV[B,2]	1	YV[Do,5]	1
YV[B,3]	1		
Kapazitätsaufbau in langfristiger Periode		Kapazitätsveränderungen in langfristiger Periode	
CCapFUP[B,1]	116	CCapF[B,1]	116
CCapVUP[B,1]	80	CCapV[B,1]	80
CCapVUP[B,2]	7	CCapV[B,2]	7
CCapVUP[Do,1]	36	CCapV[Do,1]	36
CCapVUP[Do,2]	51	CCapV[Do,2]	51
Anzahl Kapazitätenseinheiten in langfristiger Periode...			
...im VSZ in Berlin		...im VSZ in Dortmund	
CapVT[B,1]	80	CapVT[Do,1]	36
CapVT[B,2]	87	CapVT[Do,2]	87
CapVT[B,3]	87	CapVT[Do,3]	87
CapVT[B,4]	87	CapVT[Do,4]	87
CapVT[B,5]	87	CapVT[Do,5]	87
Anzahl Kapazitätenseinheiten in langfristiger Periode im Werk			
CapFT[B,1]	116	CapFT[B,4]	116
CapFT[B,2]	116	CapFT[B,5]	116
CapFT[B,3]	116		
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität in langfristiger Periode			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,3]	1
YCCapFUP[B,2]	1	YCCapVUP[B,4]	1
YCCapFUP[B,3]	1	YCCapVUP[Do,1]	1
YCCapFUP[B,4]	1	YCCapVUP[Do,2]	1
YCCapFUP[B,5]	1	YCCapVUP[Do,3]	1
YCCapVUP[B,1]	1	YCCapVUP[Do,4]	1
YCCapVUP[B,2]	1		

Abbildung A.46: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000 \text{ m}^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500 \text{ GE}$, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 20 (Eigene Darstellung)

Anzahl Kapazitätseinheiten im Werk für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapF[B,1,1]	116	CapF[B,3,1]	116
CapF[B,1,2]	116	CapF[B,3,2]	116
CapF[B,1,3]	116	CapF[B,3,3]	116
CapF[B,1,4]	116	CapF[B,3,4]	116
CapF[B,1,5]	116	CapF[B,3,5]	116
CapF[B,2,1]	116	CapF[B,4,1]	116
CapF[B,2,2]	116	CapF[B,4,2]	116
CapF[B,2,3]	116	CapF[B,4,3]	116
CapF[B,2,4]	116	CapF[B,4,4]	116
CapF[B,2,5]	116	CapF[B,4,5]	116
Anzahl Kapazitätseinheiten im VSZ für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapV[B,1,1]	80	CapV[Do,1,1]	36
CapV[B,1,2]	87	CapV[Do,1,2]	87
CapV[B,1,3]	87	CapV[Do,1,3]	87
CapV[B,1,4]	87	CapV[Do,1,4]	87
CapV[B,1,5]	87	CapV[Do,1,5]	87
CapV[B,2,1]	80	CapV[Do,2,1]	36
CapV[B,2,2]	87	CapV[Do,2,2]	87
CapV[B,2,3]	87	CapV[Do,2,3]	87
CapV[B,2,4]	87	CapV[Do,2,4]	87
CapV[B,2,5]	87	CapV[Do,2,5]	87
CapV[B,3,1]	80	CapV[Do,3,1]	36
CapV[B,3,2]	87	CapV[Do,3,2]	87
CapV[B,3,3]	87	CapV[Do,3,3]	87
CapV[B,3,4]	87	CapV[Do,3,4]	87
CapV[B,3,5]	87	CapV[Do,3,5]	87
CapV[B,4,1]	80	CapV[Do,4,1]	36
CapV[B,4,2]	87	CapV[Do,4,2]	87
CapV[B,4,3]	87	CapV[Do,4,3]	87
CapV[B,4,4]	87	CapV[Do,4,4]	87
CapV[B,4,5]	87	CapV[Do,4,5]	87
Personalbestand im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapF[B,1,1]	29	LCapF[B,3,1]	29
LCapF[B,1,2]	29	LCapF[B,3,2]	29
LCapF[B,1,3]	29	LCapF[B,3,3]	29
LCapF[B,1,4]	29	LCapF[B,3,4]	29
LCapF[B,1,5]	29	LCapF[B,3,5]	29
LCapF[B,2,1]	29	LCapF[B,4,1]	29
LCapF[B,2,2]	29	LCapF[B,4,2]	29
LCapF[B,2,3]	29	LCapF[B,4,3]	29

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 20 (Eigene Darstellung)

LCapF[B,2,4]	29	LCapF[B,4,4]	29
LCapF[B,2,5]	29	LCapF[B,4,5]	29
Personalbestand in VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapV[B,1,1]	10	LCapV[Do,1,1]	5
LCapV[B,1,2]	11	LCapV[Do,1,2]	11
LCapV[B,1,3]	11	LCapV[Do,1,3]	11
LCapV[B,1,4]	11	LCapV[Do,1,4]	11
LCapV[B,1,5]	11	LCapV[Do,1,5]	11
LCapV[B,2,1]	10	LCapV[Do,2,1]	5
LCapV[B,2,2]	11	LCapV[Do,2,2]	11
LCapV[B,2,3]	11	LCapV[Do,2,3]	11
LCapV[B,2,4]	11	LCapV[Do,2,4]	11
LCapV[B,2,5]	11	LCapV[Do,2,5]	11
LCapV[B,3,1]	10	LCapV[Do,3,1]	5
LCapV[B,3,2]	11	LCapV[Do,3,2]	11
LCapV[B,3,3]	11	LCapV[Do,3,3]	11
LCapV[B,3,4]	11	LCapV[Do,3,4]	11
LCapV[B,3,5]	11	LCapV[Do,3,5]	11
LCapV[B,4,1]	10	LCapV[Do,4,1]	5
LCapV[B,4,2]	11	LCapV[Do,4,2]	11
LCapV[B,4,3]	11	LCapV[Do,4,3]	11
LCapV[B,4,4]	11	LCapV[Do,4,4]	11
LCapV[B,4,5]	11	LCapV[Do,4,5]	11
Maximaler Personalbestand in der langfristigen Periode in VSZ			
LCapVT[B,1]	621	LCapVT[Do,1]	621
LCapVT[B,2]	621	LCapVT[Do,2]	621
LCapVT[B,3]	621	LCapVT[Do,3]	621
LCapVT[B,4]	621	LCapVT[Do,4]	621
LCapVT[B,5]	621	LCapVT[Do,5]	621
Maximaler Personalbestand in der langfristigen Periode im Werk			
LCapFT[B,1]	621	LCapFT[B,4]	621
LCapFT[B,2]	621	LCapFT[B,5]	621
LCapFT[B,3]	621		
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCZF[B,M1,B,1,1]	5782	XCZF[B,M2,B,3,1]	11564
XCZF[B,M1,B,1,2]	5782	XCZF[B,M2,B,3,2]	11564
XCZF[B,M1,B,1,3]	5782	XCZF[B,M2,B,3,3]	11564
XCZF[B,M1,B,1,4]	5782	XCZF[B,M2,B,3,4]	11564
XCZF[B,M1,B,1,5]	5782	XCZF[B,M2,B,3,5]	11564
XCZF[B,M1,B,2,1]	5782	XCZF[B,M2,B,4,1]	11564
XCZF[B,M1,B,2,2]	5782	XCZF[B,M2,B,4,2]	11564

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 20 (Eigene Darstellung)

XCZF[B,M1,B,2,3]	5782	XCZF[B,M2,B,4,3]	11564
XCZF[B,M1,B,2,4]	5782	XCZF[B,M2,B,4,4]	11564
XCZF[B,M1,B,2,5]	5782	XCZF[B,M2,B,4,5]	11564
XCZF[B,M1,B,3,1]	5782	XCZF[B,M3,B,1,1]	5782
XCZF[B,M1,B,3,2]	5782	XCZF[B,M3,B,1,2]	5782
XCZF[B,M1,B,3,3]	5782	XCZF[B,M3,B,1,3]	5782
XCZF[B,M1,B,3,4]	5782	XCZF[B,M3,B,1,4]	5782
XCZF[B,M1,B,3,5]	5782	XCZF[B,M3,B,1,5]	5782
XCZF[B,M1,B,4,1]	5782	XCZF[B,M3,B,2,1]	5782
XCZF[B,M1,B,4,2]	5782	XCZF[B,M3,B,2,2]	5782
XCZF[B,M1,B,4,3]	5782	XCZF[B,M3,B,2,3]	5782
XCZF[B,M1,B,4,4]	5782	XCZF[B,M3,B,2,4]	5782
XCZF[B,M1,B,4,5]	5782	XCZF[B,M3,B,2,5]	5782
XCZF[B,M2,B,1,1]	11564	XCZF[B,M3,B,3,1]	5782
XCZF[B,M2,B,1,2]	11564	XCZF[B,M3,B,3,2]	5782
XCZF[B,M2,B,1,3]	11564	XCZF[B,M3,B,3,3]	5782
XCZF[B,M2,B,1,4]	11564	XCZF[B,M3,B,3,4]	5782
XCZF[B,M2,B,1,5]	11564	XCZF[B,M3,B,3,5]	5782
XCZF[B,M2,B,2,1]	11564	XCZF[B,M3,B,4,1]	5782
XCZF[B,M2,B,2,2]	11564	XCZF[B,M3,B,4,2]	5782
XCZF[B,M2,B,2,3]	11564	XCZF[B,M3,B,4,3]	5782
XCZF[B,M2,B,2,4]	11564	XCZF[B,M3,B,4,4]	5782
XCZF[B,M2,B,2,5]	11564	XCZF[B,M3,B,4,5]	5782
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCF[B,M1,1,1]	5782	XCF[B,M2,3,1]	11564
XCF[B,M1,1,2]	5782	XCF[B,M2,3,2]	11564
XCF[B,M1,1,3]	5782	XCF[B,M2,3,3]	11564
XCF[B,M1,1,4]	5782	XCF[B,M2,3,4]	11564
XCF[B,M1,1,5]	5782	XCF[B,M2,3,5]	11564
XCF[B,M1,2,1]	5782	XCF[B,M2,4,1]	11564
XCF[B,M1,2,2]	5782	XCF[B,M2,4,2]	11564
XCF[B,M1,2,3]	5782	XCF[B,M2,4,3]	11564
XCF[B,M1,2,4]	5782	XCF[B,M2,4,4]	11564
XCF[B,M1,2,5]	5782	XCF[B,M2,4,5]	11564
XCF[B,M1,3,1]	5782	XCF[B,M3,1,1]	5782
XCF[B,M1,3,2]	5782	XCF[B,M3,1,2]	5782
XCF[B,M1,3,3]	5782	XCF[B,M3,1,3]	5782
XCF[B,M1,3,4]	5782	XCF[B,M3,1,4]	5782
XCF[B,M1,3,5]	5782	XCF[B,M3,1,5]	5782
XCF[B,M1,4,1]	5782	XCF[B,M3,2,1]	5782
XCF[B,M1,4,2]	5782	XCF[B,M3,2,2]	5782

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 20 (Eigene Darstellung)

XCF[B,M1,4,3]	5782	XCF[B,M3,2,3]	5782
XCF[B,M1,4,4]	5782	XCF[B,M3,2,4]	5782
XCF[B,M1,4,5]	5782	XCF[B,M3,2,5]	5782
XCF[B,M2,1,1]	11564	XCF[B,M3,3,1]	5782
XCF[B,M2,1,2]	11564	XCF[B,M3,3,2]	5782
XCF[B,M2,1,3]	11564	XCF[B,M3,3,3]	5782
XCF[B,M2,1,4]	11564	XCF[B,M3,3,4]	5782
XCF[B,M2,1,5]	11564	XCF[B,M3,3,5]	5782
XCF[B,M2,2,1]	11564	XCF[B,M3,4,1]	5782
XCF[B,M2,2,2]	11564	XCF[B,M3,4,2]	5782
XCF[B,M2,2,3]	11564	XCF[B,M3,4,3]	5782
XCF[B,M2,2,4]	11564	XCF[B,M3,4,4]	5782
XCF[B,M2,2,5]	11564	XCF[B,M3,4,5]	5782
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPF[B,P2,1,1]	5782	XPF[B,P1,1,1]	5782
XPF[B,P2,1,2]	5782	XPF[B,P1,1,2]	5782
XPF[B,P1,1,3]	5782	XPF[B,P2,1,3]	5782
XPF[B,P1,1,4]	5782	XPF[B,P2,1,4]	5782
XPF[B,P1,1,5]	5782	XPF[B,P2,1,5]	5782
XPF[B,P1,2,1]	5782	XPF[B,P2,2,1]	5782
XPF[B,P1,2,2]	5782	XPF[B,P2,2,2]	5782
XPF[B,P1,2,3]	5782	XPF[B,P2,2,3]	5782
XPF[B,P1,2,4]	5782	XPF[B,P2,2,4]	5782
XPF[B,P1,2,5]	5782	XPF[B,P2,2,5]	5782
XPF[B,P1,3,1]	5782	XPF[B,P2,3,1]	5782
XPF[B,P1,3,2]	5782	XPF[B,P2,3,2]	5782
XPF[B,P1,3,3]	5782	XPF[B,P2,3,3]	5782
XPF[B,P1,3,4]	5782	XPF[B,P2,3,4]	5782
XPF[B,P1,3,5]	5782	XPF[B,P2,3,5]	5782
XPF[B,P1,4,1]	5782	XPF[B,P2,4,1]	5782
XPF[B,P1,4,2]	5782	XPF[B,P2,4,2]	5782
XPF[B,P1,4,3]	5782	XPF[B,P2,4,3]	5782
XPF[B,P1,4,4]	5782	XPF[B,P2,4,4]	5782
XPF[B,P1,4,5]	5782	XPF[B,P2,4,5]	5782
Transportmengen vom Werk zu VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPFV[B,B,P1,1,1]	4118	XPFV[B,B,P2,4,5]	3632
XPFV[B,B,P1,1,2]	3424	XPFV[B,Do,P1,1,3]	2358
XPFV[B,B,P1,1,3]	3424	XPFV[B,Do,P1,1,4]	2150
XPFV[B,B,P1,1,4]	3632	XPFV[B,Do,P1,1,5]	2358
XPFV[B,B,P1,1,5]	3424	XPFV[B,Do,P1,2,1]	1900
XPFV[B,B,P1,2,1]	3882	XPFV[B,Do,P1,2,2]	2358

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 20 (Eigene Darstellung)

XPfV[B,B,P1,2,2]	3424	XPfV[B,Do,P1,2,3]	2358
XPfV[B,B,P1,2,3]	3424	XPfV[B,Do,P1,2,4]	2358
XPfV[B,B,P1,2,4]	3424	XPfV[B,Do,P1,2,5]	2150
XPfV[B,B,P1,2,5]	3632	XPfV[B,Do,P1,3,1]	1664
XPfV[B,B,P1,3,1]	4118	XPfV[B,Do,P1,3,2]	2150
XPfV[B,B,P1,3,2]	3632	XPfV[B,Do,P1,3,3]	2150
XPfV[B,B,P1,3,3]	3632	XPfV[B,Do,P1,3,4]	2150
XPfV[B,B,P1,3,4]	3632	XPfV[B,Do,P1,3,5]	2358
XPfV[B,B,P1,3,5]	3424	XPfV[B,Do,P1,4,1]	1900
XPfV[B,B,P1,4,1]	3882	XPfV[B,Do,P1,4,2]	2358
XPfV[B,B,P1,4,2]	3424	XPfV[B,Do,P1,4,3]	2150
XPfV[B,B,P1,4,3]	3632	XPfV[B,Do,P1,4,4]	2358
XPfV[B,B,P1,4,4]	3424	XPfV[B,Do,P1,4,5]	2358
XPfV[B,B,P1,4,5]	3424	XPfV[B,Do,P2,1,1]	1900
XPfV[B,B,P2,1,1]	3882	XPfV[B,Do,P2,1,2]	2150
XPfV[B,B,P2,1,2]	3632	XPfV[B,Do,P2,1,3]	2150
XPfV[B,B,P2,1,3]	3632	XPfV[B,Do,P2,1,4]	2358
XPfV[B,B,P2,1,4]	3424	XPfV[B,Do,P2,1,5]	2150
XPfV[B,B,P2,1,5]	3632	XPfV[B,Do,P2,2,1]	1664
XPfV[B,B,P2,2,1]	4118	XPfV[B,Do,P2,2,2]	2150
XPfV[B,B,P2,2,2]	3632	XPfV[B,Do,P2,2,3]	2150
XPfV[B,B,P2,2,3]	3632	XPfV[B,Do,P2,2,4]	2150
XPfV[B,B,P2,2,4]	3632	XPfV[B,Do,P2,2,5]	2358
XPfV[B,B,P2,2,5]	3424	XPfV[B,Do,P2,3,1]	1900
XPfV[B,B,P2,3,1]	3882	XPfV[B,Do,P2,3,2]	2358
XPfV[B,B,P2,3,2]	3424	XPfV[B,Do,P2,3,3]	2358
XPfV[B,B,P2,3,3]	3424	XPfV[B,Do,P2,3,4]	2358
XPfV[B,B,P2,3,4]	3424	XPfV[B,Do,P2,3,5]	2150
XPfV[B,B,P2,3,5]	3632	XPfV[B,Do,P2,4,1]	1664
XPfV[B,B,P2,4,1]	4118	XPfV[B,Do,P2,4,2]	2150
XPfV[B,B,P2,4,2]	3632	XPfV[B,Do,P2,4,3]	2358
XPfV[B,B,P2,4,3]	3424	XPfV[B,Do,P2,4,4]	2150
XPfV[B,B,P2,4,4]	3632	XPfV[B,Do,P2,4,5]	2150
Transportmengen von VSZ zu Kunden in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XVKP[B,B,P1,1,1]	1424	XVKP[Do,Br,P2,4,4]	230
XVKP[B,B,P1,1,2]	1424	XVKP[Do,Br,P2,4,5]	230
XVKP[B,B,P1,1,3]	1424	XVKP[Do,Do,P1,1,1]	240
XVKP[B,B,P1,1,4]	1424	XVKP[Do,Do,P1,1,2]	240
XVKP[B,B,P1,1,5]	1424	XVKP[Do,Do,P1,1,3]	240
XVKP[B,B,P1,2,1]	1424	XVKP[Do,Do,P1,1,4]	240
XVKP[B,B,P1,2,2]	1424	XVKP[Do,Do,P1,1,5]	240

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P1,2,3]	1424	XVKP[Do,Do,P1,2,1]	240
XVKP[B,B,P1,2,4]	1424	XVKP[Do,Do,P1,2,2]	240
XVKP[B,B,P1,2,5]	1424	XVKP[Do,Do,P1,2,3]	240
XVKP[B,B,P1,3,1]	1424	XVKP[Do,Do,P1,2,4]	240
XVKP[B,B,P1,3,2]	1424	XVKP[Do,Do,P1,2,5]	240
XVKP[B,B,P1,3,3]	1424	XVKP[Do,Do,P1,3,1]	240
XVKP[B,B,P1,3,4]	1424	XVKP[Do,Do,P1,3,2]	240
XVKP[B,B,P1,3,5]	1424	XVKP[Do,Do,P1,3,3]	240
XVKP[B,B,P1,4,1]	1424	XVKP[Do,Do,P1,3,4]	240
XVKP[B,B,P1,4,2]	1424	XVKP[Do,Do,P1,3,5]	240
XVKP[B,B,P1,4,3]	1424	XVKP[Do,Do,P1,4,1]	240
XVKP[B,B,P1,4,4]	1424	XVKP[Do,Do,P1,4,2]	240
XVKP[B,B,P1,4,5]	1424	XVKP[Do,Do,P1,4,3]	240
XVKP[B,B,P2,1,1]	1424	XVKP[Do,Do,P1,4,4]	240
XVKP[B,B,P2,1,2]	1424	XVKP[Do,Do,P1,4,5]	240
XVKP[B,B,P2,1,3]	1424	XVKP[Do,Do,P2,1,1]	240
XVKP[B,B,P2,1,4]	1424	XVKP[Do,Do,P2,1,2]	240
XVKP[B,B,P2,1,5]	1424	XVKP[Do,Do,P2,1,3]	240
XVKP[B,B,P2,2,1]	1424	XVKP[Do,Do,P2,1,4]	240
XVKP[B,B,P2,2,2]	1424	XVKP[Do,Do,P2,1,5]	240
XVKP[B,B,P2,2,3]	1424	XVKP[Do,Do,P2,2,1]	240
XVKP[B,B,P2,2,4]	1424	XVKP[Do,Do,P2,2,2]	240
XVKP[B,B,P2,2,5]	1424	XVKP[Do,Do,P2,2,3]	240
XVKP[B,B,P2,3,1]	1424	XVKP[Do,Do,P2,2,4]	240
XVKP[B,B,P2,3,2]	1424	XVKP[Do,Do,P2,2,5]	240
XVKP[B,B,P2,3,3]	1424	XVKP[Do,Do,P2,3,1]	240
XVKP[B,B,P2,3,4]	1424	XVKP[Do,Do,P2,3,2]	240
XVKP[B,B,P2,3,5]	1424	XVKP[Do,Do,P2,3,3]	240
XVKP[B,B,P2,4,1]	1424	XVKP[Do,Do,P2,3,4]	240
XVKP[B,B,P2,4,2]	1424	XVKP[Do,Do,P2,3,5]	240
XVKP[B,B,P2,4,3]	1424	XVKP[Do,Do,P2,4,1]	240
XVKP[B,B,P2,4,4]	1424	XVKP[Do,Do,P2,4,2]	240
XVKP[B,B,P2,4,5]	1424	XVKP[Do,Do,P2,4,3]	240
XVKP[B,Br,P1,1,1]	230	XVKP[Do,Do,P2,4,4]	240
XVKP[B,Br,P1,2,1]	230	XVKP[Do,Do,P2,4,5]	240
XVKP[B,Br,P1,3,1]	230	XVKP[Do,Du,P1,1,1]	200
XVKP[B,Br,P1,4,1]	230	XVKP[Do,Du,P1,1,2]	200
XVKP[B,Br,P2,1,1]	230	XVKP[Do,Du,P1,1,3]	200
XVKP[B,Br,P2,2,1]	230	XVKP[Do,Du,P1,1,4]	200
XVKP[B,Br,P2,3,1]	230	XVKP[Do,Du,P1,1,5]	200
XVKP[B,Br,P2,4,1]	230	XVKP[Do,Du,P1,2,1]	200

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Dr,P1,1,1]	220	XVKP[Do,Du,P1,2,2]	200
XVKP[B,Dr,P1,1,2]	220	XVKP[Do,Du,P1,2,3]	200
XVKP[B,Dr,P1,1,3]	220	XVKP[Do,Du,P1,2,4]	200
XVKP[B,Dr,P1,1,4]	220	XVKP[Do,Du,P1,2,5]	200
XVKP[B,Dr,P1,1,5]	220	XVKP[Do,Du,P1,3,1]	200
XVKP[B,Dr,P1,2,1]	220	XVKP[Do,Du,P1,3,2]	200
XVKP[B,Dr,P1,2,2]	220	XVKP[Do,Du,P1,3,3]	200
XVKP[B,Dr,P1,2,3]	220	XVKP[Do,Du,P1,3,4]	200
XVKP[B,Dr,P1,2,4]	220	XVKP[Do,Du,P1,3,5]	200
XVKP[B,Dr,P1,2,5]	220	XVKP[Do,Du,P1,4,1]	200
XVKP[B,Dr,P1,3,1]	220	XVKP[Do,Du,P1,4,2]	200
XVKP[B,Dr,P1,3,2]	220	XVKP[Do,Du,P1,4,3]	200
XVKP[B,Dr,P1,3,3]	220	XVKP[Do,Du,P1,4,4]	200
XVKP[B,Dr,P1,3,4]	220	XVKP[Do,Du,P1,4,5]	200
XVKP[B,Dr,P1,3,5]	220	XVKP[Do,Du,P2,1,1]	200
XVKP[B,Dr,P1,4,1]	220	XVKP[Do,Du,P2,1,2]	200
XVKP[B,Dr,P1,4,2]	220	XVKP[Do,Du,P2,1,3]	200
XVKP[B,Dr,P1,4,3]	220	XVKP[Do,Du,P2,1,4]	200
XVKP[B,Dr,P1,4,4]	220	XVKP[Do,Du,P2,1,5]	200
XVKP[B,Dr,P1,4,5]	220	XVKP[Do,Du,P2,2,1]	200
XVKP[B,Dr,P2,1,1]	220	XVKP[Do,Du,P2,2,2]	200
XVKP[B,Dr,P2,1,2]	220	XVKP[Do,Du,P2,2,3]	200
XVKP[B,Dr,P2,1,3]	220	XVKP[Do,Du,P2,2,4]	200
XVKP[B,Dr,P2,1,4]	220	XVKP[Do,Du,P2,2,5]	200
XVKP[B,Dr,P2,1,5]	220	XVKP[Do,Du,P2,3,1]	200
XVKP[B,Dr,P2,2,1]	220	XVKP[Do,Du,P2,3,2]	200
XVKP[B,Dr,P2,2,2]	220	XVKP[Do,Du,P2,3,3]	200
XVKP[B,Dr,P2,2,3]	220	XVKP[Do,Du,P2,3,4]	200
XVKP[B,Dr,P2,2,4]	220	XVKP[Do,Du,P2,3,5]	200
XVKP[B,Dr,P2,2,5]	220	XVKP[Do,Du,P2,4,1]	200
XVKP[B,Dr,P2,3,1]	220	XVKP[Do,Du,P2,4,2]	200
XVKP[B,Dr,P2,3,2]	220	XVKP[Do,Du,P2,4,3]	200
XVKP[B,Dr,P2,3,3]	220	XVKP[Do,Du,P2,4,4]	200
XVKP[B,Dr,P2,3,4]	220	XVKP[Do,Du,P2,4,5]	200
XVKP[B,Dr,P2,3,5]	220	XVKP[Do,Due,P1,1,1]	250
XVKP[B,Dr,P2,4,1]	220	XVKP[Do,Due,P1,1,2]	250
XVKP[B,Dr,P2,4,2]	220	XVKP[Do,Due,P1,1,3]	250
XVKP[B,Dr,P2,4,3]	220	XVKP[Do,Due,P1,1,4]	250
XVKP[B,Dr,P2,4,4]	220	XVKP[Do,Due,P1,1,5]	250
XVKP[B,Dr,P2,4,5]	220	XVKP[Do,Due,P1,2,1]	250
XVKP[B,H,P1,1,1]	750	XVKP[Do,Due,P1,2,2]	250

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,H,P1,1,2]	750	XVKP[Do,Due,P1,2,3]	250
XVKP[B,H,P1,1,3]	750	XVKP[Do,Due,P1,2,4]	250
XVKP[B,H,P1,1,4]	750	XVKP[Do,Due,P1,2,5]	250
XVKP[B,H,P1,1,5]	750	XVKP[Do,Due,P1,3,1]	250
XVKP[B,H,P1,2,1]	750	XVKP[Do,Due,P1,3,2]	250
XVKP[B,H,P1,2,2]	750	XVKP[Do,Due,P1,3,3]	250
XVKP[B,H,P1,2,3]	750	XVKP[Do,Due,P1,3,4]	250
XVKP[B,H,P1,2,4]	750	XVKP[Do,Due,P1,3,5]	250
XVKP[B,H,P1,2,5]	750	XVKP[Do,Due,P1,4,1]	250
XVKP[B,H,P1,3,1]	750	XVKP[Do,Due,P1,4,2]	250
XVKP[B,H,P1,3,2]	750	XVKP[Do,Due,P1,4,3]	250
XVKP[B,H,P1,3,3]	750	XVKP[Do,Due,P1,4,4]	250
XVKP[B,H,P1,3,4]	750	XVKP[Do,Due,P1,4,5]	250
XVKP[B,H,P1,3,5]	750	XVKP[Do,Due,P2,1,1]	250
XVKP[B,H,P1,4,1]	750	XVKP[Do,Due,P2,1,2]	250
XVKP[B,H,P1,4,2]	750	XVKP[Do,Due,P2,1,3]	250
XVKP[B,H,P1,4,3]	750	XVKP[Do,Due,P2,1,4]	250
XVKP[B,H,P1,4,4]	750	XVKP[Do,Due,P2,1,5]	250
XVKP[B,H,P1,4,5]	750	XVKP[Do,Due,P2,2,1]	250
XVKP[B,H,P2,1,1]	750	XVKP[Do,Due,P2,2,2]	250
XVKP[B,H,P2,1,2]	750	XVKP[Do,Due,P2,2,3]	250
XVKP[B,H,P2,1,3]	750	XVKP[Do,Due,P2,2,4]	250
XVKP[B,H,P2,1,4]	750	XVKP[Do,Due,P2,2,5]	250
XVKP[B,H,P2,1,5]	750	XVKP[Do,Due,P2,3,1]	250
XVKP[B,H,P2,2,1]	750	XVKP[Do,Due,P2,3,2]	250
XVKP[B,H,P2,2,2]	750	XVKP[Do,Due,P2,3,3]	250
XVKP[B,H,P2,2,3]	750	XVKP[Do,Due,P2,3,4]	250
XVKP[B,H,P2,2,4]	750	XVKP[Do,Due,P2,3,5]	250
XVKP[B,H,P2,2,5]	750	XVKP[Do,Due,P2,4,1]	250
XVKP[B,H,P2,3,1]	750	XVKP[Do,Due,P2,4,2]	250
XVKP[B,H,P2,3,2]	750	XVKP[Do,Due,P2,4,3]	250
XVKP[B,H,P2,3,3]	750	XVKP[Do,Due,P2,4,4]	250
XVKP[B,H,P2,3,4]	750	XVKP[Do,Due,P2,4,5]	250
XVKP[B,H,P2,3,5]	750	XVKP[Do,E,P1,1,1]	240
XVKP[B,H,P2,4,1]	750	XVKP[Do,E,P1,1,2]	240
XVKP[B,H,P2,4,2]	750	XVKP[Do,E,P1,1,3]	240
XVKP[B,H,P2,4,3]	750	XVKP[Do,E,P1,1,4]	240
XVKP[B,H,P2,4,4]	750	XVKP[Do,E,P1,1,5]	240
XVKP[B,H,P2,4,5]	750	XVKP[Do,E,P1,2,1]	240
XVKP[B,Ha,P1,1,1]	214	XVKP[Do,E,P1,2,2]	240
XVKP[B,Ha,P1,1,4]	208	XVKP[Do,E,P1,2,3]	240

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Ha,P1,2,1]	214	XVKP[Do,E,P1,2,4]	240
XVKP[B,Ha,P1,2,5]	208	XVKP[Do,E,P1,2,5]	240
XVKP[B,Ha,P1,3,1]	214	XVKP[Do,E,P1,3,1]	240
XVKP[B,Ha,P1,3,2]	208	XVKP[Do,E,P1,3,2]	240
XVKP[B,Ha,P1,3,3]	208	XVKP[Do,E,P1,3,3]	240
XVKP[B,Ha,P1,3,4]	208	XVKP[Do,E,P1,3,4]	240
XVKP[B,Ha,P1,4,1]	214	XVKP[Do,E,P1,3,5]	240
XVKP[B,Ha,P1,4,3]	208	XVKP[Do,E,P1,4,1]	240
XVKP[B,Ha,P2,1,1]	214	XVKP[Do,E,P1,4,2]	240
XVKP[B,Ha,P2,1,2]	208	XVKP[Do,E,P1,4,3]	240
XVKP[B,Ha,P2,1,3]	208	XVKP[Do,E,P1,4,4]	240
XVKP[B,Ha,P2,1,5]	208	XVKP[Do,E,P1,4,5]	240
XVKP[B,Ha,P2,2,1]	214	XVKP[Do,E,P2,1,1]	240
XVKP[B,Ha,P2,2,2]	208	XVKP[Do,E,P2,1,2]	240
XVKP[B,Ha,P2,2,3]	208	XVKP[Do,E,P2,1,3]	240
XVKP[B,Ha,P2,2,4]	208	XVKP[Do,E,P2,1,4]	240
XVKP[B,Ha,P2,3,1]	214	XVKP[Do,E,P2,1,5]	240
XVKP[B,Ha,P2,3,5]	208	XVKP[Do,E,P2,2,1]	240
XVKP[B,Ha,P2,4,1]	214	XVKP[Do,E,P2,2,2]	240
XVKP[B,Ha,P2,4,2]	208	XVKP[Do,E,P2,2,3]	240
XVKP[B,Ha,P2,4,4]	208	XVKP[Do,E,P2,2,4]	240
XVKP[B,Ha,P2,4,5]	208	XVKP[Do,E,P2,2,5]	240
XVKP[B,L,P1,1,1]	220	XVKP[Do,E,P2,3,1]	240
XVKP[B,L,P1,1,2]	220	XVKP[Do,E,P2,3,2]	240
XVKP[B,L,P1,1,3]	220	XVKP[Do,E,P2,3,3]	240
XVKP[B,L,P1,1,4]	220	XVKP[Do,E,P2,3,4]	240
XVKP[B,L,P1,1,5]	220	XVKP[Do,E,P2,3,5]	240
XVKP[B,L,P1,2,1]	220	XVKP[Do,E,P2,4,1]	240
XVKP[B,L,P1,2,2]	220	XVKP[Do,E,P2,4,2]	240
XVKP[B,L,P1,2,3]	220	XVKP[Do,E,P2,4,3]	240
XVKP[B,L,P1,2,4]	220	XVKP[Do,E,P2,4,4]	240
XVKP[B,L,P1,2,5]	220	XVKP[Do,E,P2,4,5]	240
XVKP[B,L,P1,3,1]	220	XVKP[Do,FM,P1,1,1]	300
XVKP[B,L,P1,3,2]	220	XVKP[Do,FM,P1,1,2]	300
XVKP[B,L,P1,3,3]	220	XVKP[Do,FM,P1,1,3]	300
XVKP[B,L,P1,3,4]	220	XVKP[Do,FM,P1,1,4]	300
XVKP[B,L,P1,3,5]	220	XVKP[Do,FM,P1,1,5]	300
XVKP[B,L,P1,4,1]	220	XVKP[Do,FM,P1,2,1]	300
XVKP[B,L,P1,4,2]	220	XVKP[Do,FM,P1,2,2]	300
XVKP[B,L,P1,4,3]	220	XVKP[Do,FM,P1,2,3]	300
XVKP[B,L,P1,4,4]	220	XVKP[Do,FM,P1,2,4]	300

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 10 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,L,P1,4,5]	220	XVKP[Do,FM,P1,2,5]	300
XVKP[B,L,P2,1,1]	220	XVKP[Do,FM,P1,3,1]	300
XVKP[B,L,P2,1,2]	220	XVKP[Do,FM,P1,3,2]	300
XVKP[B,L,P2,1,3]	220	XVKP[Do,FM,P1,3,3]	300
XVKP[B,L,P2,1,4]	220	XVKP[Do,FM,P1,3,4]	300
XVKP[B,L,P2,1,5]	220	XVKP[Do,FM,P1,3,5]	300
XVKP[B,L,P2,2,1]	220	XVKP[Do,FM,P1,4,1]	300
XVKP[B,L,P2,2,2]	220	XVKP[Do,FM,P1,4,2]	300
XVKP[B,L,P2,2,3]	220	XVKP[Do,FM,P1,4,3]	300
XVKP[B,L,P2,2,4]	220	XVKP[Do,FM,P1,4,4]	300
XVKP[B,L,P2,2,5]	220	XVKP[Do,FM,P1,4,5]	300
XVKP[B,L,P2,3,1]	220	XVKP[Do,FM,P2,1,1]	300
XVKP[B,L,P2,3,2]	220	XVKP[Do,FM,P2,1,2]	300
XVKP[B,L,P2,3,3]	220	XVKP[Do,FM,P2,1,3]	300
XVKP[B,L,P2,3,4]	220	XVKP[Do,FM,P2,1,4]	300
XVKP[B,L,P2,3,5]	220	XVKP[Do,FM,P2,1,5]	300
XVKP[B,L,P2,4,1]	220	XVKP[Do,FM,P2,2,1]	300
XVKP[B,L,P2,4,2]	220	XVKP[Do,FM,P2,2,2]	300
XVKP[B,L,P2,4,3]	220	XVKP[Do,FM,P2,2,3]	300
XVKP[B,L,P2,4,4]	220	XVKP[Do,FM,P2,2,4]	300
XVKP[B,L,P2,4,5]	220	XVKP[Do,FM,P2,2,5]	300
XVKP[B,M,P1,1,1]	600	XVKP[Do,FM,P2,3,1]	300
XVKP[B,M,P1,1,2]	600	XVKP[Do,FM,P2,3,2]	300
XVKP[B,M,P1,1,3]	600	XVKP[Do,FM,P2,3,3]	300
XVKP[B,M,P1,1,4]	600	XVKP[Do,FM,P2,3,4]	300
XVKP[B,M,P1,1,5]	600	XVKP[Do,FM,P2,3,5]	300
XVKP[B,M,P1,2,1]	600	XVKP[Do,FM,P2,4,1]	300
XVKP[B,M,P1,2,2]	600	XVKP[Do,FM,P2,4,2]	300
XVKP[B,M,P1,2,3]	600	XVKP[Do,FM,P2,4,3]	300
XVKP[B,M,P1,2,4]	600	XVKP[Do,FM,P2,4,4]	300
XVKP[B,M,P1,2,5]	600	XVKP[Do,FM,P2,4,5]	300
XVKP[B,M,P1,3,1]	600	XVKP[Do,Ha,P1,1,2]	214
XVKP[B,M,P1,3,2]	600	XVKP[Do,Ha,P1,1,3]	214
XVKP[B,M,P1,3,3]	600	XVKP[Do,Ha,P1,1,4]	6
XVKP[B,M,P1,3,4]	600	XVKP[Do,Ha,P1,1,5]	214
XVKP[B,M,P1,3,5]	600	XVKP[Do,Ha,P1,2,2]	214
XVKP[B,M,P1,4,1]	600	XVKP[Do,Ha,P1,2,3]	214
XVKP[B,M,P1,4,2]	600	XVKP[Do,Ha,P1,2,4]	214
XVKP[B,M,P1,4,3]	600	XVKP[Do,Ha,P1,2,5]	6
XVKP[B,M,P1,4,4]	600	XVKP[Do,Ha,P1,3,2]	6
XVKP[B,M,P1,4,5]	600	XVKP[Do,Ha,P1,3,3]	6

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 11 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,M,P2,1,1]	600	XVKP[Do,Ha,P1,3,4]	6
XVKP[B,M,P2,1,2]	600	XVKP[Do,Ha,P1,3,5]	214
XVKP[B,M,P2,1,3]	600	XVKP[Do,Ha,P1,4,2]	214
XVKP[B,M,P2,1,4]	600	XVKP[Do,Ha,P1,4,3]	6
XVKP[B,M,P2,1,5]	600	XVKP[Do,Ha,P1,4,4]	214
XVKP[B,M,P2,2,1]	600	XVKP[Do,Ha,P1,4,5]	214
XVKP[B,M,P2,2,2]	600	XVKP[Do,Ha,P2,1,2]	6
XVKP[B,M,P2,2,3]	600	XVKP[Do,Ha,P2,1,3]	6
XVKP[B,M,P2,2,4]	600	XVKP[Do,Ha,P2,1,4]	214
XVKP[B,M,P2,2,5]	600	XVKP[Do,Ha,P2,1,5]	6
XVKP[B,M,P2,3,1]	600	XVKP[Do,Ha,P2,2,2]	6
XVKP[B,M,P2,3,2]	600	XVKP[Do,Ha,P2,2,3]	6
XVKP[B,M,P2,3,3]	600	XVKP[Do,Ha,P2,2,4]	6
XVKP[B,M,P2,3,4]	600	XVKP[Do,Ha,P2,2,5]	214
XVKP[B,M,P2,3,5]	600	XVKP[Do,Ha,P2,3,2]	214
XVKP[B,M,P2,4,1]	600	XVKP[Do,Ha,P2,3,3]	214
XVKP[B,M,P2,4,2]	600	XVKP[Do,Ha,P2,3,4]	214
XVKP[B,M,P2,4,3]	600	XVKP[Do,Ha,P2,3,5]	6
XVKP[B,M,P2,4,4]	600	XVKP[Do,Ha,P2,4,2]	6
XVKP[B,M,P2,4,5]	600	XVKP[Do,Ha,P2,4,3]	214
XVKP[B,Nu,P1,1,1]	210	XVKP[Do,Ha,P2,4,4]	6
XVKP[B,Nu,P1,1,2]	210	XVKP[Do,Ha,P2,4,5]	6
XVKP[B,Nu,P1,1,3]	210	XVKP[Do,K,P1,1,1]	434
XVKP[B,Nu,P1,1,4]	210	XVKP[Do,K,P1,1,2]	434
XVKP[B,Nu,P1,1,5]	210	XVKP[Do,K,P1,1,3]	434
XVKP[B,Nu,P1,2,1]	210	XVKP[Do,K,P1,1,4]	434
XVKP[B,Nu,P1,2,2]	210	XVKP[Do,K,P1,1,5]	434
XVKP[B,Nu,P1,2,3]	210	XVKP[Do,K,P1,2,1]	434
XVKP[B,Nu,P1,2,4]	210	XVKP[Do,K,P1,2,2]	434
XVKP[B,Nu,P1,2,5]	210	XVKP[Do,K,P1,2,3]	434
XVKP[B,Nu,P1,3,1]	210	XVKP[Do,K,P1,2,4]	434
XVKP[B,Nu,P1,3,2]	210	XVKP[Do,K,P1,2,5]	434
XVKP[B,Nu,P1,3,3]	210	XVKP[Do,K,P1,3,1]	434
XVKP[B,Nu,P1,3,4]	210	XVKP[Do,K,P1,3,2]	434
XVKP[B,Nu,P1,3,5]	210	XVKP[Do,K,P1,3,3]	434
XVKP[B,Nu,P1,4,1]	210	XVKP[Do,K,P1,3,4]	434
XVKP[B,Nu,P1,4,2]	210	XVKP[Do,K,P1,3,5]	434
XVKP[B,Nu,P1,4,3]	210	XVKP[Do,K,P1,4,1]	434
XVKP[B,Nu,P1,4,4]	210	XVKP[Do,K,P1,4,2]	434
XVKP[B,Nu,P1,4,5]	210	XVKP[Do,K,P1,4,3]	434
XVKP[B,Nu,P2,1,1]	210	XVKP[Do,K,P1,4,4]	434

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 12 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Nu,P2,1,2]	210	XVKP[Do,K,P1,4,5]	434
XVKP[B,Nu,P2,1,3]	210	XVKP[Do,K,P2,1,1]	434
XVKP[B,Nu,P2,1,4]	210	XVKP[Do,K,P2,1,2]	434
XVKP[B,Nu,P2,1,5]	210	XVKP[Do,K,P2,1,3]	434
XVKP[B,Nu,P2,2,1]	210	XVKP[Do,K,P2,1,4]	434
XVKP[B,Nu,P2,2,2]	210	XVKP[Do,K,P2,1,5]	434
XVKP[B,Nu,P2,2,3]	210	XVKP[Do,K,P2,2,1]	434
XVKP[B,Nu,P2,2,4]	210	XVKP[Do,K,P2,2,2]	434
XVKP[B,Nu,P2,2,5]	210	XVKP[Do,K,P2,2,3]	434
XVKP[B,Nu,P2,3,1]	210	XVKP[Do,K,P2,2,4]	434
XVKP[B,Nu,P2,3,2]	210	XVKP[Do,K,P2,2,5]	434
XVKP[B,Nu,P2,3,3]	210	XVKP[Do,K,P2,3,1]	434
XVKP[B,Nu,P2,3,4]	210	XVKP[Do,K,P2,3,2]	434
XVKP[B,Nu,P2,3,5]	210	XVKP[Do,K,P2,3,3]	434
XVKP[B,Nu,P2,4,1]	210	XVKP[Do,K,P2,3,4]	434
XVKP[B,Nu,P2,4,2]	210	XVKP[Do,K,P2,3,5]	434
XVKP[B,Nu,P2,4,3]	210	XVKP[Do,K,P2,4,1]	434
XVKP[B,Nu,P2,4,4]	210	XVKP[Do,K,P2,4,2]	434
XVKP[B,Nu,P2,4,5]	210	XVKP[Do,K,P2,4,3]	434
XVKP[B,S,P1,1,1]	250	XVKP[Do,K,P2,4,4]	434
XVKP[B,S,P1,2,1]	14	XVKP[Do,K,P2,4,5]	434
XVKP[B,S,P1,3,1]	250	XVKP[Do,S,P1,1,2]	250
XVKP[B,S,P1,4,1]	14	XVKP[Do,S,P1,1,3]	250
XVKP[B,S,P2,1,1]	14	XVKP[Do,S,P1,1,4]	250
XVKP[B,S,P2,2,1]	250	XVKP[Do,S,P1,1,5]	250
XVKP[B,S,P2,3,1]	14	XVKP[Do,S,P1,2,1]	236
XVKP[B,S,P2,4,1]	250	XVKP[Do,S,P1,2,2]	250
XVKP[Do,Br,P1,1,2]	230	XVKP[Do,S,P1,2,3]	250
XVKP[Do,Br,P1,1,3]	230	XVKP[Do,S,P1,2,4]	250
XVKP[Do,Br,P1,1,4]	230	XVKP[Do,S,P1,2,5]	250
XVKP[Do,Br,P1,1,5]	230	XVKP[Do,S,P1,3,2]	250
XVKP[Do,Br,P1,2,2]	230	XVKP[Do,S,P1,3,3]	250
XVKP[Do,Br,P1,2,3]	230	XVKP[Do,S,P1,3,4]	250
XVKP[Do,Br,P1,2,4]	230	XVKP[Do,S,P1,3,5]	250
XVKP[Do,Br,P1,2,5]	230	XVKP[Do,S,P1,4,1]	236
XVKP[Do,Br,P1,3,2]	230	XVKP[Do,S,P1,4,2]	250
XVKP[Do,Br,P1,3,3]	230	XVKP[Do,S,P1,4,3]	250
XVKP[Do,Br,P1,3,4]	230	XVKP[Do,S,P1,4,4]	250
XVKP[Do,Br,P1,3,5]	230	XVKP[Do,S,P1,4,5]	250
XVKP[Do,Br,P1,4,2]	230	XVKP[Do,S,P2,1,1]	236
XVKP[Do,Br,P1,4,3]	230	XVKP[Do,S,P2,1,2]	250

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 13 von 20 (Eigene Darstellung)

XVKP[Do,Br,P1,4,4]	230	XVKP[Do,S,P2,1,3]	250
XVKP[Do,Br,P1,4,5]	230	XVKP[Do,S,P2,1,4]	250
XVKP[Do,Br,P2,1,2]	230	XVKP[Do,S,P2,1,5]	250
XVKP[Do,Br,P2,1,3]	230	XVKP[Do,S,P2,2,2]	250
XVKP[Do,Br,P2,1,4]	230	XVKP[Do,S,P2,2,3]	250
XVKP[Do,Br,P2,1,5]	230	XVKP[Do,S,P2,2,4]	250
XVKP[Do,Br,P2,2,2]	230	XVKP[Do,S,P2,2,5]	250
XVKP[Do,Br,P2,2,3]	230	XVKP[Do,S,P2,3,1]	236
XVKP[Do,Br,P2,2,4]	230	XVKP[Do,S,P2,3,2]	250
XVKP[Do,Br,P2,2,5]	230	XVKP[Do,S,P2,3,3]	250
XVKP[Do,Br,P2,3,2]	230	XVKP[Do,S,P2,3,4]	250
XVKP[Do,Br,P2,3,3]	230	XVKP[Do,S,P2,3,5]	250
XVKP[Do,Br,P2,3,4]	230	XVKP[Do,S,P2,4,2]	250
XVKP[Do,Br,P2,3,5]	230	XVKP[Do,S,P2,4,3]	250
XVKP[Do,Br,P2,4,2]	230	XVKP[Do,S,P2,4,4]	250
XVKP[Do,Br,P2,4,3]	230	XVKP[Do,S,P2,4,5]	250
Transportmengen von Kunden zu VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XKVP[B,B,P1,1,2]	712	XKVP[FM,Do,P2,1,2]	150
XKVP[B,B,P1,1,3]	712	XKVP[FM,Do,P2,1,3]	150
XKVP[B,B,P1,1,4]	712	XKVP[FM,Do,P2,1,4]	150
XKVP[B,B,P1,1,5]	712	XKVP[FM,Do,P2,1,5]	150
XKVP[B,B,P1,2,2]	712	XKVP[FM,Do,P2,2,2]	150
XKVP[B,B,P1,2,3]	712	XKVP[FM,Do,P2,2,3]	150
XKVP[B,B,P1,2,4]	712	XKVP[FM,Do,P2,2,4]	150
XKVP[B,B,P1,2,5]	712	XKVP[FM,Do,P2,2,5]	150
XKVP[B,B,P1,3,2]	712	XKVP[FM,Do,P2,3,2]	150
XKVP[B,B,P1,3,3]	712	XKVP[FM,Do,P2,3,3]	150
XKVP[B,B,P1,3,4]	712	XKVP[FM,Do,P2,3,4]	150
XKVP[B,B,P1,3,5]	712	XKVP[FM,Do,P2,3,5]	150
XKVP[B,B,P1,4,2]	712	XKVP[FM,Do,P2,4,2]	150
XKVP[B,B,P1,4,3]	712	XKVP[FM,Do,P2,4,3]	150
XKVP[B,B,P1,4,4]	712	XKVP[FM,Do,P2,4,4]	150
XKVP[B,B,P1,4,5]	712	XKVP[FM,Do,P2,4,5]	150
XKVP[B,B,P2,1,2]	712	XKVP[H,Do,P1,1,2]	375
XKVP[B,B,P2,1,3]	712	XKVP[H,Do,P1,1,3]	375
XKVP[B,B,P2,1,4]	712	XKVP[H,Do,P1,1,4]	375
XKVP[B,B,P2,1,5]	712	XKVP[H,Do,P1,1,5]	375
XKVP[B,B,P2,2,2]	712	XKVP[H,Do,P1,2,2]	375
XKVP[B,B,P2,2,3]	712	XKVP[H,Do,P1,2,3]	375
XKVP[B,B,P2,2,4]	712	XKVP[H,Do,P1,2,4]	375
XKVP[B,B,P2,2,5]	712	XKVP[H,Do,P1,2,5]	375

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 14 von 20 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P2,3,2]	712	XKVP[H,Do,P1,3,2]	375
XKVP[B,B,P2,3,3]	712	XKVP[H,Do,P1,3,3]	375
XKVP[B,B,P2,3,4]	712	XKVP[H,Do,P1,3,4]	375
XKVP[B,B,P2,3,5]	712	XKVP[H,Do,P1,3,5]	375
XKVP[B,B,P2,4,2]	712	XKVP[H,Do,P1,4,2]	375
XKVP[B,B,P2,4,3]	712	XKVP[H,Do,P1,4,3]	375
XKVP[B,B,P2,4,4]	712	XKVP[H,Do,P1,4,4]	375
XKVP[B,B,P2,4,5]	712	XKVP[H,Do,P1,4,5]	375
XKVP[Br,Do,P1,1,2]	115	XKVP[H,Do,P2,1,2]	375
XKVP[Br,Do,P1,1,3]	115	XKVP[H,Do,P2,1,3]	375
XKVP[Br,Do,P1,1,4]	115	XKVP[H,Do,P2,1,4]	375
XKVP[Br,Do,P1,1,5]	115	XKVP[H,Do,P2,1,5]	375
XKVP[Br,Do,P1,2,2]	115	XKVP[H,Do,P2,2,2]	375
XKVP[Br,Do,P1,2,3]	115	XKVP[H,Do,P2,2,3]	375
XKVP[Br,Do,P1,2,4]	115	XKVP[H,Do,P2,2,4]	375
XKVP[Br,Do,P1,2,5]	115	XKVP[H,Do,P2,2,5]	375
XKVP[Br,Do,P1,3,2]	115	XKVP[H,Do,P2,3,2]	375
XKVP[Br,Do,P1,3,3]	115	XKVP[H,Do,P2,3,3]	375
XKVP[Br,Do,P1,3,4]	115	XKVP[H,Do,P2,3,4]	375
XKVP[Br,Do,P1,3,5]	115	XKVP[H,Do,P2,3,5]	375
XKVP[Br,Do,P1,4,2]	115	XKVP[H,Do,P2,4,2]	375
XKVP[Br,Do,P1,4,3]	115	XKVP[H,Do,P2,4,3]	375
XKVP[Br,Do,P1,4,4]	115	XKVP[H,Do,P2,4,4]	375
XKVP[Br,Do,P1,4,5]	115	XKVP[H,Do,P2,4,5]	375
XKVP[Br,Do,P2,1,2]	115	XKVP[Ha,Do,P1,1,2]	107
XKVP[Br,Do,P2,1,3]	115	XKVP[Ha,Do,P1,1,3]	107
XKVP[Br,Do,P2,1,4]	115	XKVP[Ha,Do,P1,1,4]	107
XKVP[Br,Do,P2,1,5]	115	XKVP[Ha,Do,P1,1,5]	107
XKVP[Br,Do,P2,2,2]	115	XKVP[Ha,Do,P1,2,2]	107
XKVP[Br,Do,P2,2,3]	115	XKVP[Ha,Do,P1,2,3]	107
XKVP[Br,Do,P2,2,4]	115	XKVP[Ha,Do,P1,2,4]	107
XKVP[Br,Do,P2,2,5]	115	XKVP[Ha,Do,P1,2,5]	107
XKVP[Br,Do,P2,3,2]	115	XKVP[Ha,Do,P1,3,2]	107
XKVP[Br,Do,P2,3,3]	115	XKVP[Ha,Do,P1,3,3]	107
XKVP[Br,Do,P2,3,4]	115	XKVP[Ha,Do,P1,3,4]	107
XKVP[Br,Do,P2,3,5]	115	XKVP[Ha,Do,P1,3,5]	107
XKVP[Br,Do,P2,4,2]	115	XKVP[Ha,Do,P1,4,2]	107
XKVP[Br,Do,P2,4,3]	115	XKVP[Ha,Do,P1,4,3]	107
XKVP[Br,Do,P2,4,4]	115	XKVP[Ha,Do,P1,4,4]	107
XKVP[Br,Do,P2,4,5]	115	XKVP[Ha,Do,P1,4,5]	107
XKVP[Do,Do,P1,1,2]	120	XKVP[Ha,Do,P2,1,2]	107

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 15 von 20 (Eigene Darstellung)

XKVP[Do,Do,P1,1,3]	120	XKVP[Ha,Do,P2,1,3]	107
XKVP[Do,Do,P1,1,4]	120	XKVP[Ha,Do,P2,1,4]	107
XKVP[Do,Do,P1,1,5]	120	XKVP[Ha,Do,P2,1,5]	107
XKVP[Do,Do,P1,2,2]	120	XKVP[Ha,Do,P2,2,2]	107
XKVP[Do,Do,P1,2,3]	120	XKVP[Ha,Do,P2,2,3]	107
XKVP[Do,Do,P1,2,4]	120	XKVP[Ha,Do,P2,2,4]	107
XKVP[Do,Do,P1,2,5]	120	XKVP[Ha,Do,P2,2,5]	107
XKVP[Do,Do,P1,3,2]	120	XKVP[Ha,Do,P2,3,2]	107
XKVP[Do,Do,P1,3,3]	120	XKVP[Ha,Do,P2,3,3]	107
XKVP[Do,Do,P1,3,4]	120	XKVP[Ha,Do,P2,3,4]	107
XKVP[Do,Do,P1,3,5]	120	XKVP[Ha,Do,P2,3,5]	107
XKVP[Do,Do,P1,4,2]	120	XKVP[Ha,Do,P2,4,2]	107
XKVP[Do,Do,P1,4,3]	120	XKVP[Ha,Do,P2,4,3]	107
XKVP[Do,Do,P1,4,4]	120	XKVP[Ha,Do,P2,4,4]	107
XKVP[Do,Do,P1,4,5]	120	XKVP[Ha,Do,P2,4,5]	107
XKVP[Do,Do,P2,1,2]	120	XKVP[K,Do,P1,1,2]	217
XKVP[Do,Do,P2,1,3]	120	XKVP[K,Do,P1,1,3]	217
XKVP[Do,Do,P2,1,4]	120	XKVP[K,Do,P1,1,4]	217
XKVP[Do,Do,P2,1,5]	120	XKVP[K,Do,P1,1,5]	217
XKVP[Do,Do,P2,2,2]	120	XKVP[K,Do,P1,2,2]	217
XKVP[Do,Do,P2,2,3]	120	XKVP[K,Do,P1,2,3]	217
XKVP[Do,Do,P2,2,4]	120	XKVP[K,Do,P1,2,4]	217
XKVP[Do,Do,P2,2,5]	120	XKVP[K,Do,P1,2,5]	217
XKVP[Do,Do,P2,3,2]	120	XKVP[K,Do,P1,3,2]	217
XKVP[Do,Do,P2,3,3]	120	XKVP[K,Do,P1,3,3]	217
XKVP[Do,Do,P2,3,4]	120	XKVP[K,Do,P1,3,4]	217
XKVP[Do,Do,P2,3,5]	120	XKVP[K,Do,P1,3,5]	217
XKVP[Do,Do,P2,4,2]	120	XKVP[K,Do,P1,4,2]	217
XKVP[Do,Do,P2,4,3]	120	XKVP[K,Do,P1,4,3]	217
XKVP[Do,Do,P2,4,4]	120	XKVP[K,Do,P1,4,4]	217
XKVP[Do,Do,P2,4,5]	120	XKVP[K,Do,P1,4,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,2]	110	XKVP[K,Do,P2,1,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,3]	110	XKVP[K,Do,P2,1,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,4]	110	XKVP[K,Do,P2,1,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,1,5]	110	XKVP[K,Do,P2,1,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,2]	110	XKVP[K,Do,P2,2,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,3]	110	XKVP[K,Do,P2,2,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,4]	110	XKVP[K,Do,P2,2,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,2,5]	110	XKVP[K,Do,P2,2,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,2]	110	XKVP[K,Do,P2,3,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,3]	110	XKVP[K,Do,P2,3,3]	217

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 16 von 20 (Eigene Darstellung)

XKVP[Dr,B,P1,3,4]	110	XKVP[K,Do,P2,3,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,3,5]	110	XKVP[K,Do,P2,3,5]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,2]	110	XKVP[K,Do,P2,4,2]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,3]	110	XKVP[K,Do,P2,4,3]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,4]	110	XKVP[K,Do,P2,4,4]	217
XKVP[Dr,B,P1,4,5]	110	XKVP[K,Do,P2,4,5]	217
XKVP[Dr,B,P2,1,2]	110	XKVP[L,Do,P1,1,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,3]	110	XKVP[L,Do,P1,1,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,4]	110	XKVP[L,Do,P1,1,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,1,5]	110	XKVP[L,Do,P1,1,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,2]	110	XKVP[L,Do,P1,2,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,3]	110	XKVP[L,Do,P1,2,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,4]	110	XKVP[L,Do,P1,2,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,2,5]	110	XKVP[L,Do,P1,2,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,2]	110	XKVP[L,Do,P1,3,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,3]	110	XKVP[L,Do,P1,3,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,4]	110	XKVP[L,Do,P1,3,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,3,5]	110	XKVP[L,Do,P1,3,5]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,2]	110	XKVP[L,Do,P1,4,2]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,3]	110	XKVP[L,Do,P1,4,3]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,4]	110	XKVP[L,Do,P1,4,4]	110
XKVP[Dr,B,P2,4,5]	110	XKVP[L,Do,P1,4,5]	110
XKVP[Du,Do,P1,1,2]	100	XKVP[L,Do,P2,1,2]	110
XKVP[Du,Do,P1,1,3]	100	XKVP[L,Do,P2,1,3]	110
XKVP[Du,Do,P1,1,4]	100	XKVP[L,Do,P2,1,4]	110
XKVP[Du,Do,P1,1,5]	100	XKVP[L,Do,P2,1,5]	110
XKVP[Du,Do,P1,2,2]	100	XKVP[L,Do,P2,2,2]	110
XKVP[Du,Do,P1,2,3]	100	XKVP[L,Do,P2,2,3]	110
XKVP[Du,Do,P1,2,4]	100	XKVP[L,Do,P2,2,4]	110
XKVP[Du,Do,P1,2,5]	100	XKVP[L,Do,P2,2,5]	110
XKVP[Du,Do,P1,3,2]	100	XKVP[L,Do,P2,3,2]	110
XKVP[Du,Do,P1,3,3]	100	XKVP[L,Do,P2,3,3]	110
XKVP[Du,Do,P1,3,4]	100	XKVP[L,Do,P2,3,4]	110
XKVP[Du,Do,P1,3,5]	100	XKVP[L,Do,P2,3,5]	110
XKVP[Du,Do,P1,4,2]	100	XKVP[L,Do,P2,4,2]	110
XKVP[Du,Do,P1,4,3]	100	XKVP[L,Do,P2,4,3]	110
XKVP[Du,Do,P1,4,4]	100	XKVP[L,Do,P2,4,4]	110
XKVP[Du,Do,P1,4,5]	100	XKVP[L,Do,P2,4,5]	110
XKVP[Du,Do,P2,1,2]	100	XKVP[M,Do,P1,1,2]	300
XKVP[Du,Do,P2,1,3]	100	XKVP[M,Do,P1,1,3]	300
XKVP[Du,Do,P2,1,4]	100	XKVP[M,Do,P1,1,4]	300

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 17 von 20 (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,Do,P2,1,5]	100	XKVP[M,Do,P1,1,5]	300
XKVP[Du,Do,P2,2,2]	100	XKVP[M,Do,P1,2,2]	300
XKVP[Du,Do,P2,2,3]	100	XKVP[M,Do,P1,2,3]	300
XKVP[Du,Do,P2,2,4]	100	XKVP[M,Do,P1,2,4]	300
XKVP[Du,Do,P2,2,5]	100	XKVP[M,Do,P1,2,5]	300
XKVP[Du,Do,P2,3,2]	100	XKVP[M,Do,P1,3,2]	300
XKVP[Du,Do,P2,3,3]	100	XKVP[M,Do,P1,3,3]	300
XKVP[Du,Do,P2,3,4]	100	XKVP[M,Do,P1,3,4]	300
XKVP[Du,Do,P2,3,5]	100	XKVP[M,Do,P1,3,5]	300
XKVP[Du,Do,P2,4,2]	100	XKVP[M,Do,P1,4,2]	300
XKVP[Du,Do,P2,4,3]	100	XKVP[M,Do,P1,4,3]	300
XKVP[Du,Do,P2,4,4]	100	XKVP[M,Do,P1,4,4]	300
XKVP[Du,Do,P2,4,5]	100	XKVP[M,Do,P1,4,5]	300
XKVP[Due,Do,P1,1,2]	125	XKVP[M,Do,P2,1,2]	300
XKVP[Due,Do,P1,1,3]	125	XKVP[M,Do,P2,1,3]	300
XKVP[Due,Do,P1,1,4]	125	XKVP[M,Do,P2,1,4]	300
XKVP[Due,Do,P1,1,5]	125	XKVP[M,Do,P2,1,5]	300
XKVP[Due,Do,P1,2,2]	125	XKVP[M,Do,P2,2,2]	300
XKVP[Due,Do,P1,2,3]	125	XKVP[M,Do,P2,2,3]	300
XKVP[Due,Do,P1,2,4]	125	XKVP[M,Do,P2,2,4]	300
XKVP[Due,Do,P1,2,5]	125	XKVP[M,Do,P2,2,5]	300
XKVP[Due,Do,P1,3,2]	125	XKVP[M,Do,P2,3,2]	300
XKVP[Due,Do,P1,3,3]	125	XKVP[M,Do,P2,3,3]	300
XKVP[Due,Do,P1,3,4]	125	XKVP[M,Do,P2,3,4]	300
XKVP[Due,Do,P1,3,5]	125	XKVP[M,Do,P2,3,5]	300
XKVP[Due,Do,P1,4,2]	125	XKVP[M,Do,P2,4,2]	300
XKVP[Due,Do,P1,4,3]	125	XKVP[M,Do,P2,4,3]	300
XKVP[Due,Do,P1,4,4]	125	XKVP[M,Do,P2,4,4]	300
XKVP[Due,Do,P1,4,5]	125	XKVP[M,Do,P2,4,5]	300
XKVP[Due,Do,P2,1,2]	125	XKVP[Nu,Do,P1,1,2]	105
XKVP[Due,Do,P2,1,3]	125	XKVP[Nu,Do,P1,1,3]	105
XKVP[Due,Do,P2,1,4]	125	XKVP[Nu,Do,P1,1,4]	105
XKVP[Due,Do,P2,1,5]	125	XKVP[Nu,Do,P1,1,5]	105
XKVP[Due,Do,P2,2,2]	125	XKVP[Nu,Do,P1,2,2]	105
XKVP[Due,Do,P2,2,3]	125	XKVP[Nu,Do,P1,2,3]	105
XKVP[Due,Do,P2,2,4]	125	XKVP[Nu,Do,P1,2,4]	105
XKVP[Due,Do,P2,2,5]	125	XKVP[Nu,Do,P1,2,5]	105
XKVP[Due,Do,P2,3,2]	125	XKVP[Nu,Do,P1,3,2]	105
XKVP[Due,Do,P2,3,3]	125	XKVP[Nu,Do,P1,3,3]	105
XKVP[Due,Do,P2,3,4]	125	XKVP[Nu,Do,P1,3,4]	105
XKVP[Due,Do,P2,3,5]	125	XKVP[Nu,Do,P1,3,5]	105

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 18 von 20 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,Do,P2,4,2]	125	XKVP[Nu,Do,P1,4,2]	105
XKVP[Due,Do,P2,4,3]	125	XKVP[Nu,Do,P1,4,3]	105
XKVP[Due,Do,P2,4,4]	125	XKVP[Nu,Do,P1,4,4]	105
XKVP[Due,Do,P2,4,5]	125	XKVP[Nu,Do,P1,4,5]	105
XKVP[E,Do,P1,1,2]	120	XKVP[Nu,Do,P2,1,2]	105
XKVP[E,Do,P1,1,3]	120	XKVP[Nu,Do,P2,1,3]	105
XKVP[E,Do,P1,1,4]	120	XKVP[Nu,Do,P2,1,4]	105
XKVP[E,Do,P1,1,5]	120	XKVP[Nu,Do,P2,1,5]	105
XKVP[E,Do,P1,2,2]	120	XKVP[Nu,Do,P2,2,2]	105
XKVP[E,Do,P1,2,3]	120	XKVP[Nu,Do,P2,2,3]	105
XKVP[E,Do,P1,2,4]	120	XKVP[Nu,Do,P2,2,4]	105
XKVP[E,Do,P1,2,5]	120	XKVP[Nu,Do,P2,2,5]	105
XKVP[E,Do,P1,3,2]	120	XKVP[Nu,Do,P2,3,2]	105
XKVP[E,Do,P1,3,3]	120	XKVP[Nu,Do,P2,3,3]	105
XKVP[E,Do,P1,3,4]	120	XKVP[Nu,Do,P2,3,4]	105
XKVP[E,Do,P1,3,5]	120	XKVP[Nu,Do,P2,3,5]	105
XKVP[E,Do,P1,4,2]	120	XKVP[Nu,Do,P2,4,2]	105
XKVP[E,Do,P1,4,3]	120	XKVP[Nu,Do,P2,4,3]	105
XKVP[E,Do,P1,4,4]	120	XKVP[Nu,Do,P2,4,4]	105
XKVP[E,Do,P1,4,5]	120	XKVP[Nu,Do,P2,4,5]	105
XKVP[E,Do,P2,1,2]	120	XKVP[S,Do,P1,1,2]	125
XKVP[E,Do,P2,1,3]	120	XKVP[S,Do,P1,1,3]	125
XKVP[E,Do,P2,1,4]	120	XKVP[S,Do,P1,1,4]	125
XKVP[E,Do,P2,1,5]	120	XKVP[S,Do,P1,1,5]	125
XKVP[E,Do,P2,2,2]	120	XKVP[S,Do,P1,2,2]	125
XKVP[E,Do,P2,2,3]	120	XKVP[S,Do,P1,2,3]	125
XKVP[E,Do,P2,2,4]	120	XKVP[S,Do,P1,2,4]	125
XKVP[E,Do,P2,2,5]	120	XKVP[S,Do,P1,2,5]	125
XKVP[E,Do,P2,3,2]	120	XKVP[S,Do,P1,3,2]	125
XKVP[E,Do,P2,3,3]	120	XKVP[S,Do,P1,3,3]	125
XKVP[E,Do,P2,3,4]	120	XKVP[S,Do,P1,3,4]	125
XKVP[E,Do,P2,3,5]	120	XKVP[S,Do,P1,3,5]	125
XKVP[E,Do,P2,4,2]	120	XKVP[S,Do,P1,4,2]	125
XKVP[E,Do,P2,4,3]	120	XKVP[S,Do,P1,4,3]	125
XKVP[E,Do,P2,4,4]	120	XKVP[S,Do,P1,4,4]	125
XKVP[E,Do,P2,4,5]	120	XKVP[S,Do,P1,4,5]	125
XKVP[FM,Do,P1,1,2]	150	XKVP[S,Do,P2,1,2]	125
XKVP[FM,Do,P1,1,3]	150	XKVP[S,Do,P2,1,3]	125
XKVP[FM,Do,P1,1,4]	150	XKVP[S,Do,P2,1,4]	125
XKVP[FM,Do,P1,1,5]	150	XKVP[S,Do,P2,1,5]	125
XKVP[FM,Do,P1,2,2]	150	XKVP[S,Do,P2,2,2]	125
XKVP[FM,Do,P1,2,3]	150	XKVP[S,Do,P2,2,3]	125

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 19 von 20 (Eigene Darstellung)

XKVP[FM,Do,P1,2,4]	150	XKVP[S,Do,P2,2,4]	125
XKVP[FM,Do,P1,2,5]	150	XKVP[S,Do,P2,2,5]	125
XKVP[FM,Do,P1,3,2]	150	XKVP[S,Do,P2,3,2]	125
XKVP[FM,Do,P1,3,3]	150	XKVP[S,Do,P2,3,3]	125
XKVP[FM,Do,P1,3,4]	150	XKVP[S,Do,P2,3,4]	125
XKVP[FM,Do,P1,3,5]	150	XKVP[S,Do,P2,3,5]	125
XKVP[FM,Do,P1,4,2]	150	XKVP[S,Do,P2,4,2]	125
XKVP[FM,Do,P1,4,3]	150	XKVP[S,Do,P2,4,3]	125
XKVP[FM,Do,P1,4,4]	150	XKVP[S,Do,P2,4,4]	125
XKVP[FM,Do,P1,4,5]	150	XKVP[S,Do,P2,4,5]	125
Transportmengen von VSZ zum Entsorgungsstandort in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XVRP[B,Dis,P1,1,2]	822	XVRP[Do,Dis,P1,1,2]	2069
XVRP[B,Dis,P1,1,3]	822	XVRP[Do,Dis,P1,1,3]	2069
XVRP[B,Dis,P1,1,4]	822	XVRP[Do,Dis,P1,1,4]	2069
XVRP[B,Dis,P1,1,5]	822	XVRP[Do,Dis,P1,1,5]	2069
XVRP[B,Dis,P1,2,2]	822	XVRP[Do,Dis,P1,2,2]	2069
XVRP[B,Dis,P1,2,3]	822	XVRP[Do,Dis,P1,2,3]	2069
XVRP[B,Dis,P1,2,4]	822	XVRP[Do,Dis,P1,2,4]	2069
XVRP[B,Dis,P1,2,5]	822	XVRP[Do,Dis,P1,2,5]	2069
XVRP[B,Dis,P1,3,2]	822	XVRP[Do,Dis,P1,3,2]	2069
XVRP[B,Dis,P1,3,3]	822	XVRP[Do,Dis,P1,3,3]	2069
XVRP[B,Dis,P1,3,4]	822	XVRP[Do,Dis,P1,3,4]	2069
XVRP[B,Dis,P1,3,5]	822	XVRP[Do,Dis,P1,3,5]	2069
XVRP[B,Dis,P1,4,2]	822	XVRP[Do,Dis,P1,4,2]	2069
XVRP[B,Dis,P1,4,3]	822	XVRP[Do,Dis,P1,4,3]	2069
XVRP[B,Dis,P1,4,4]	822	XVRP[Do,Dis,P1,4,4]	2069
XVRP[B,Dis,P1,4,5]	822	XVRP[Do,Dis,P1,4,5]	2069
XVRP[B,Dis,P2,1,2]	822	XVRP[Do,Dis,P2,1,2]	2069
XVRP[B,Dis,P2,1,3]	822	XVRP[Do,Dis,P2,1,3]	2069
XVRP[B,Dis,P2,1,4]	822	XVRP[Do,Dis,P2,1,4]	2069
XVRP[B,Dis,P2,1,5]	822	XVRP[Do,Dis,P2,1,5]	2069
XVRP[B,Dis,P2,2,2]	822	XVRP[Do,Dis,P2,2,2]	2069
XVRP[B,Dis,P2,2,3]	822	XVRP[Do,Dis,P2,2,3]	2069
XVRP[B,Dis,P2,2,4]	822	XVRP[Do,Dis,P2,2,4]	2069
XVRP[B,Dis,P2,2,5]	822	XVRP[Do,Dis,P2,2,5]	2069
XVRP[B,Dis,P2,3,2]	822	XVRP[Do,Dis,P2,3,2]	2069
XVRP[B,Dis,P2,3,3]	822	XVRP[Do,Dis,P2,3,3]	2069
XVRP[B,Dis,P2,3,4]	822	XVRP[Do,Dis,P2,3,4]	2069
XVRP[B,Dis,P2,3,5]	822	XVRP[Do,Dis,P2,3,5]	2069
XVRP[B,Dis,P2,4,2]	822	XVRP[Do,Dis,P2,4,2]	2069
XVRP[B,Dis,P2,4,3]	822	XVRP[Do,Dis,P2,4,3]	2069
XVRP[B,Dis,P2,4,4]	822	XVRP[Do,Dis,P2,4,4]	2069
XVRP[B,Dis,P2,4,5]	822	XVRP[Do,Dis,P2,4,5]	2069

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für $Cap_v^O = 87.000m^3$, $\forall v \in V$ unter $c_{kp}^U = 500$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 20 von 20 (Eigene Darstellung)

Tabelle A.18: Nachgefragte Menge der Kunden pro mittelfristige Periode einer langfristigen Periode bei saisonal schwankender Nachfrage

Mittelfristige Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt P_1 bzw. P_2
1	Du	300
	Nu	315
	Ha	321
	L	330
	Dr	330
	Br	345
	E	360
	Do	360
	Due	375
	S	375
	FM	450
	K	651
	M	900
	H	1125
	B	2136
2	Du	100
	Nu	105
	Ha	107
	L	110
	Dr	110
	Br	115
	E	120
	Do	120
	Due	125
	S	125
	FM	150
	K	217
	M	300
	H	375
	B	712

Nachgefragte Menge der Kunden pro mittelfristige Periode einer langfristigen Periode
saisonal schwankender Nachfrage, fortführend

Mittelfristige Periode	Kundenstandort	Nachfrage nach Produkt <i>P1</i> bzw. <i>P2</i>
3	Du	250
	Nu	262
	Ha	268
	L	275
	Dr	275
	Br	288
	E	300
	Do	300
	Due	312
	S	313
	FM	375
	K	542
	M	750
	H	938
	B	1780
4	Du	150
	Nu	158
	Ha	160
	L	165
	Dr	165
	Br	172
	E	180
	Do	180
	Due	188
	S	188
	FM	225
	K	325
	M	450
	H	562
	B	1068

Lösung des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage und $c^U = 81$ für jede unbefriedigte Nachfrage			
Zielfunktionswert (Gesamtkosten bestehend nur aus Strafkosten in GE)			18.184.525,55
Unbefriedigte Nachfrage in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
Utac[B,P1,1,1]	2136	Utac[FM,P2,1,1]	450
Utac[B,P1,1,2]	2136	Utac[FM,P2,1,2]	450
Utac[B,P1,1,3]	2136	Utac[FM,P2,1,3]	450
Utac[B,P1,1,4]	2136	Utac[FM,P2,1,4]	450
Utac[B,P1,1,5]	2136	Utac[FM,P2,1,5]	450
Utac[B,P1,2,1]	712	Utac[FM,P2,2,1]	150
Utac[B,P1,2,2]	712	Utac[FM,P2,2,2]	150
Utac[B,P1,2,3]	712	Utac[FM,P2,2,3]	150
Utac[B,P1,2,4]	712	Utac[FM,P2,2,4]	150
Utac[B,P1,2,5]	712	Utac[FM,P2,2,5]	150
Utac[B,P1,3,1]	1780	Utac[FM,P2,3,1]	375
Utac[B,P1,3,2]	1780	Utac[FM,P2,3,2]	375
Utac[B,P1,3,3]	1780	Utac[FM,P2,3,3]	375
Utac[B,P1,3,4]	1780	Utac[FM,P2,3,4]	375
Utac[B,P1,3,5]	1780	Utac[FM,P2,3,5]	375
Utac[B,P1,4,1]	1068	Utac[FM,P2,4,1]	225
Utac[B,P1,4,2]	1068	Utac[FM,P2,4,2]	225
Utac[B,P1,4,3]	1068	Utac[FM,P2,4,3]	225
Utac[B,P1,4,4]	1068	Utac[FM,P2,4,4]	225
Utac[B,P1,4,5]	1068	Utac[FM,P2,4,5]	225
Utac[B,P2,1,1]	2136	Utac[H,P1,1,1]	1125
Utac[B,P2,1,2]	2136	Utac[H,P1,1,2]	1125
Utac[B,P2,1,3]	2136	Utac[H,P1,1,3]	1125
Utac[B,P2,1,4]	2136	Utac[H,P1,1,4]	1125
Utac[B,P2,1,5]	2136	Utac[H,P1,1,5]	1125
Utac[B,P2,2,1]	712	Utac[H,P1,2,1]	375
Utac[B,P2,2,2]	712	Utac[H,P1,2,2]	375
Utac[B,P2,2,3]	712	Utac[H,P1,2,3]	375
Utac[B,P2,2,4]	712	Utac[H,P1,2,4]	375
Utac[B,P2,2,5]	712	Utac[H,P1,2,5]	375
Utac[B,P2,3,1]	1780	Utac[H,P1,3,1]	938
Utac[B,P2,3,2]	1780	Utac[H,P1,3,2]	938
Utac[B,P2,3,3]	1780	Utac[H,P1,3,3]	938
Utac[B,P2,3,4]	1780	Utac[H,P1,3,4]	938
Utac[B,P2,3,5]	1780	Utac[H,P1,3,5]	938
Utac[B,P2,4,1]	1068	Utac[H,P1,4,1]	562

Abbildung A.47: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[B,P2,4,2]	1068	Utac[H,P1,4,2]	562
Utac[B,P2,4,3]	1068	Utac[H,P1,4,3]	562
Utac[B,P2,4,4]	1068	Utac[H,P1,4,4]	562
Utac[B,P2,4,5]	1068	Utac[H,P1,4,5]	562
Utac[Br,P1,1,1]	345	Utac[H,P2,1,1]	1125
Utac[Br,P1,1,2]	345	Utac[H,P2,1,2]	1125
Utac[Br,P1,1,3]	345	Utac[H,P2,1,3]	1125
Utac[Br,P1,1,4]	345	Utac[H,P2,1,4]	1125
Utac[Br,P1,1,5]	345	Utac[H,P2,1,5]	1125
Utac[Br,P1,2,1]	115	Utac[H,P2,2,1]	375
Utac[Br,P1,2,2]	115	Utac[H,P2,2,2]	375
Utac[Br,P1,2,3]	115	Utac[H,P2,2,3]	375
Utac[Br,P1,2,4]	115	Utac[H,P2,2,4]	375
Utac[Br,P1,2,5]	115	Utac[H,P2,2,5]	375
Utac[Br,P1,3,1]	288	Utac[H,P2,3,1]	938
Utac[Br,P1,3,2]	288	Utac[H,P2,3,2]	938
Utac[Br,P1,3,3]	288	Utac[H,P2,3,3]	938
Utac[Br,P1,3,4]	288	Utac[H,P2,3,4]	938
Utac[Br,P1,3,5]	288	Utac[H,P2,3,5]	938
Utac[Br,P1,4,1]	172	Utac[H,P2,4,1]	562
Utac[Br,P1,4,2]	172	Utac[H,P2,4,2]	562
Utac[Br,P1,4,3]	172	Utac[H,P2,4,3]	562
Utac[Br,P1,4,4]	172	Utac[H,P2,4,4]	562
Utac[Br,P1,4,5]	172	Utac[H,P2,4,5]	562
Utac[Br,P2,1,1]	345	Utac[Ha,P1,1,1]	321
Utac[Br,P2,1,2]	345	Utac[Ha,P1,1,2]	321
Utac[Br,P2,1,3]	345	Utac[Ha,P1,1,3]	321
Utac[Br,P2,1,4]	345	Utac[Ha,P1,1,4]	321
Utac[Br,P2,1,5]	345	Utac[Ha,P1,1,5]	321
Utac[Br,P2,2,1]	115	Utac[Ha,P1,2,1]	107
Utac[Br,P2,2,2]	115	Utac[Ha,P1,2,2]	107
Utac[Br,P2,2,3]	115	Utac[Ha,P1,2,3]	107
Utac[Br,P2,2,4]	115	Utac[Ha,P1,2,4]	107
Utac[Br,P2,2,5]	115	Utac[Ha,P1,2,5]	107
Utac[Br,P2,3,1]	288	Utac[Ha,P1,3,1]	268
Utac[Br,P2,3,2]	288	Utac[Ha,P1,3,2]	268
Utac[Br,P2,3,3]	288	Utac[Ha,P1,3,3]	268
Utac[Br,P2,3,4]	288	Utac[Ha,P1,3,4]	268
Utac[Br,P2,3,5]	288	Utac[Ha,P1,3,5]	268
Utac[Br,P2,4,1]	172	Utac[Ha,P1,4,1]	160

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Br,P2,4,2]	172	Utac[Ha,P1,4,2]	160
Utac[Br,P2,4,3]	172	Utac[Ha,P1,4,3]	160
Utac[Br,P2,4,4]	172	Utac[Ha,P1,4,4]	160
Utac[Br,P2,4,5]	172	Utac[Ha,P1,4,5]	160
Utac[Do,P1,1,1]	360	Utac[Ha,P2,1,1]	321
Utac[Do,P1,1,2]	360	Utac[Ha,P2,1,2]	321
Utac[Do,P1,1,3]	360	Utac[Ha,P2,1,3]	321
Utac[Do,P1,1,4]	360	Utac[Ha,P2,1,4]	321
Utac[Do,P1,1,5]	360	Utac[Ha,P2,1,5]	321
Utac[Do,P1,2,1]	120	Utac[Ha,P2,2,1]	107
Utac[Do,P1,2,2]	120	Utac[Ha,P2,2,2]	107
Utac[Do,P1,2,3]	120	Utac[Ha,P2,2,3]	107
Utac[Do,P1,2,4]	120	Utac[Ha,P2,2,4]	107
Utac[Do,P1,2,5]	120	Utac[Ha,P2,2,5]	107
Utac[Do,P1,3,1]	300	Utac[Ha,P2,3,1]	268
Utac[Do,P1,3,2]	300	Utac[Ha,P2,3,2]	268
Utac[Do,P1,3,3]	300	Utac[Ha,P2,3,3]	268
Utac[Do,P1,3,4]	300	Utac[Ha,P2,3,4]	268
Utac[Do,P1,3,5]	300	Utac[Ha,P2,3,5]	268
Utac[Do,P1,4,1]	180	Utac[Ha,P2,4,1]	160
Utac[Do,P1,4,2]	180	Utac[Ha,P2,4,2]	160
Utac[Do,P1,4,3]	180	Utac[Ha,P2,4,3]	160
Utac[Do,P1,4,4]	180	Utac[Ha,P2,4,4]	160
Utac[Do,P1,4,5]	180	Utac[Ha,P2,4,5]	160
Utac[Do,P2,1,1]	360	Utac[K,P1,1,1]	651
Utac[Do,P2,1,2]	360	Utac[K,P1,1,2]	651
Utac[Do,P2,1,3]	360	Utac[K,P1,1,3]	651
Utac[Do,P2,1,4]	360	Utac[K,P1,1,4]	651
Utac[Do,P2,1,5]	360	Utac[K,P1,1,5]	651
Utac[Do,P2,2,1]	120	Utac[K,P1,2,1]	217
Utac[Do,P2,2,2]	120	Utac[K,P1,2,2]	217
Utac[Do,P2,2,3]	120	Utac[K,P1,2,3]	217
Utac[Do,P2,2,4]	120	Utac[K,P1,2,4]	217
Utac[Do,P2,2,5]	120	Utac[K,P1,2,5]	217
Utac[Do,P2,3,1]	300	Utac[K,P1,3,1]	542
Utac[Do,P2,3,2]	300	Utac[K,P1,3,2]	542
Utac[Do,P2,3,3]	300	Utac[K,P1,3,3]	542
Utac[Do,P2,3,4]	300	Utac[K,P1,3,4]	542
Utac[Do,P2,3,5]	300	Utac[K,P1,3,5]	542
Utac[Do,P2,4,1]	180	Utac[K,P1,4,1]	325

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Do,P2,4,2]	180	Utac[K,P1,4,2]	325
Utac[Do,P2,4,3]	180	Utac[K,P1,4,3]	325
Utac[Do,P2,4,4]	180	Utac[K,P1,4,4]	325
Utac[Do,P2,4,5]	180	Utac[K,P1,4,5]	325
Utac[Dr,P1,1,1]	330	Utac[K,P2,1,1]	651
Utac[Dr,P1,1,2]	330	Utac[K,P2,1,2]	651
Utac[Dr,P1,1,3]	330	Utac[K,P2,1,3]	651
Utac[Dr,P1,1,4]	330	Utac[K,P2,1,4]	651
Utac[Dr,P1,1,5]	330	Utac[K,P2,1,5]	651
Utac[Dr,P1,2,1]	110	Utac[K,P2,2,1]	217
Utac[Dr,P1,2,2]	110	Utac[K,P2,2,2]	217
Utac[Dr,P1,2,3]	110	Utac[K,P2,2,3]	217
Utac[Dr,P1,2,4]	110	Utac[K,P2,2,4]	217
Utac[Dr,P1,2,5]	110	Utac[K,P2,2,5]	217
Utac[Dr,P1,3,1]	275	Utac[K,P2,3,1]	542
Utac[Dr,P1,3,2]	275	Utac[K,P2,3,2]	542
Utac[Dr,P1,3,3]	275	Utac[K,P2,3,3]	542
Utac[Dr,P1,3,4]	275	Utac[K,P2,3,4]	542
Utac[Dr,P1,3,5]	275	Utac[K,P2,3,5]	542
Utac[Dr,P1,4,1]	165	Utac[K,P2,4,1]	325
Utac[Dr,P1,4,2]	165	Utac[K,P2,4,2]	325
Utac[Dr,P1,4,3]	165	Utac[K,P2,4,3]	325
Utac[Dr,P1,4,4]	165	Utac[K,P2,4,4]	325
Utac[Dr,P1,4,5]	165	Utac[K,P2,4,5]	325
Utac[Dr,P2,1,1]	330	Utac[L,P1,1,1]	330
Utac[Dr,P2,1,2]	330	Utac[L,P1,1,2]	330
Utac[Dr,P2,1,3]	330	Utac[L,P1,1,3]	330
Utac[Dr,P2,1,4]	330	Utac[L,P1,1,4]	330
Utac[Dr,P2,1,5]	330	Utac[L,P1,1,5]	330
Utac[Dr,P2,2,1]	110	Utac[L,P1,2,1]	110
Utac[Dr,P2,2,2]	110	Utac[L,P1,2,2]	110
Utac[Dr,P2,2,3]	110	Utac[L,P1,2,3]	110
Utac[Dr,P2,2,4]	110	Utac[L,P1,2,4]	110
Utac[Dr,P2,2,5]	110	Utac[L,P1,2,5]	110
Utac[Dr,P2,3,1]	275	Utac[L,P1,3,1]	275
Utac[Dr,P2,3,2]	275	Utac[L,P1,3,2]	275
Utac[Dr,P2,3,3]	275	Utac[L,P1,3,3]	275
Utac[Dr,P2,3,4]	275	Utac[L,P1,3,4]	275
Utac[Dr,P2,3,5]	275	Utac[L,P1,3,5]	275
Utac[Dr,P2,4,1]	165	Utac[L,P1,4,1]	165

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Dr,P2,4,2]	165	Utac[L,P1,4,2]	165
Utac[Dr,P2,4,3]	165	Utac[L,P1,4,3]	165
Utac[Dr,P2,4,4]	165	Utac[L,P1,4,4]	165
Utac[Dr,P2,4,5]	165	Utac[L,P1,4,5]	165
Utac[Du,P1,1,1]	300	Utac[L,P2,1,1]	330
Utac[Du,P1,1,2]	300	Utac[L,P2,1,2]	330
Utac[Du,P1,1,3]	300	Utac[L,P2,1,3]	330
Utac[Du,P1,1,4]	300	Utac[L,P2,1,4]	330
Utac[Du,P1,1,5]	300	Utac[L,P2,1,5]	330
Utac[Du,P1,2,1]	100	Utac[L,P2,2,1]	110
Utac[Du,P1,2,2]	100	Utac[L,P2,2,2]	110
Utac[Du,P1,2,3]	100	Utac[L,P2,2,3]	110
Utac[Du,P1,2,4]	100	Utac[L,P2,2,4]	110
Utac[Du,P1,2,5]	100	Utac[L,P2,2,5]	110
Utac[Du,P1,3,1]	250	Utac[L,P2,3,1]	275
Utac[Du,P1,3,2]	250	Utac[L,P2,3,2]	275
Utac[Du,P1,3,3]	250	Utac[L,P2,3,3]	275
Utac[Du,P1,3,4]	250	Utac[L,P2,3,4]	275
Utac[Du,P1,3,5]	250	Utac[L,P2,3,5]	275
Utac[Du,P1,4,1]	150	Utac[L,P2,4,1]	165
Utac[Du,P1,4,2]	150	Utac[L,P2,4,2]	165
Utac[Du,P1,4,3]	150	Utac[L,P2,4,3]	165
Utac[Du,P1,4,4]	150	Utac[L,P2,4,4]	165
Utac[Du,P1,4,5]	150	Utac[L,P2,4,5]	165
Utac[Du,P2,1,1]	300	Utac[M,P1,1,1]	900
Utac[Du,P2,1,2]	300	Utac[M,P1,1,2]	900
Utac[Du,P2,1,3]	300	Utac[M,P1,1,3]	900
Utac[Du,P2,1,4]	300	Utac[M,P1,1,4]	900
Utac[Du,P2,1,5]	300	Utac[M,P1,1,5]	900
Utac[Du,P2,2,1]	100	Utac[M,P1,2,1]	300
Utac[Du,P2,2,2]	100	Utac[M,P1,2,2]	300
Utac[Du,P2,2,3]	100	Utac[M,P1,2,3]	300
Utac[Du,P2,2,4]	100	Utac[M,P1,2,4]	300
Utac[Du,P2,2,5]	100	Utac[M,P1,2,5]	300
Utac[Du,P2,3,1]	250	Utac[M,P1,3,1]	750
Utac[Du,P2,3,2]	250	Utac[M,P1,3,2]	750
Utac[Du,P2,3,3]	250	Utac[M,P1,3,3]	750
Utac[Du,P2,3,4]	250	Utac[M,P1,3,4]	750
Utac[Du,P2,3,5]	250	Utac[M,P1,3,5]	750
Utac[Du,P2,4,1]	150	Utac[M,P1,4,1]	450

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Du,P2,4,2]	150	Utac[M,P1,4,2]	450
Utac[Du,P2,4,3]	150	Utac[M,P1,4,3]	450
Utac[Du,P2,4,4]	150	Utac[M,P1,4,4]	450
Utac[Du,P2,4,5]	150	Utac[M,P1,4,5]	450
Utac[Due,P1,1,1]	375	Utac[M,P2,1,1]	900
Utac[Due,P1,1,2]	375	Utac[M,P2,1,2]	900
Utac[Due,P1,1,3]	375	Utac[M,P2,1,3]	900
Utac[Due,P1,1,4]	375	Utac[M,P2,1,4]	900
Utac[Due,P1,1,5]	375	Utac[M,P2,1,5]	900
Utac[Due,P1,2,1]	125	Utac[M,P2,2,1]	300
Utac[Due,P1,2,2]	125	Utac[M,P2,2,2]	300
Utac[Due,P1,2,3]	125	Utac[M,P2,2,3]	300
Utac[Due,P1,2,4]	125	Utac[M,P2,2,4]	300
Utac[Due,P1,2,5]	125	Utac[M,P2,2,5]	300
Utac[Due,P1,3,1]	312	Utac[M,P2,3,1]	750
Utac[Due,P1,3,2]	312	Utac[M,P2,3,2]	750
Utac[Due,P1,3,3]	312	Utac[M,P2,3,3]	750
Utac[Due,P1,3,4]	312	Utac[M,P2,3,4]	750
Utac[Due,P1,3,5]	312	Utac[M,P2,3,5]	750
Utac[Due,P1,4,1]	188	Utac[M,P2,4,1]	450
Utac[Due,P1,4,2]	188	Utac[M,P2,4,2]	450
Utac[Due,P1,4,3]	188	Utac[M,P2,4,3]	450
Utac[Due,P1,4,4]	188	Utac[M,P2,4,4]	450
Utac[Due,P1,4,5]	188	Utac[M,P2,4,5]	450
Utac[Due,P2,1,1]	375	Utac[Nu,P1,1,1]	315
Utac[Due,P2,1,2]	375	Utac[Nu,P1,1,2]	315
Utac[Due,P2,1,3]	375	Utac[Nu,P1,1,3]	315
Utac[Due,P2,1,4]	375	Utac[Nu,P1,1,4]	315
Utac[Due,P2,1,5]	375	Utac[Nu,P1,1,5]	315
Utac[Due,P2,2,1]	125	Utac[Nu,P1,2,1]	105
Utac[Due,P2,2,2]	125	Utac[Nu,P1,2,2]	105
Utac[Due,P2,2,3]	125	Utac[Nu,P1,2,3]	105
Utac[Due,P2,2,4]	125	Utac[Nu,P1,2,4]	105
Utac[Due,P2,2,5]	125	Utac[Nu,P1,2,5]	105
Utac[Due,P2,3,1]	312	Utac[Nu,P1,3,1]	262
Utac[Due,P2,3,2]	312	Utac[Nu,P1,3,2]	262
Utac[Due,P2,3,3]	312	Utac[Nu,P1,3,3]	262
Utac[Due,P2,3,4]	312	Utac[Nu,P1,3,4]	262
Utac[Due,P2,3,5]	312	Utac[Nu,P1,3,5]	262
Utac[Due,P2,4,1]	188	Utac[Nu,P1,4,1]	158

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[Due,P2,4,2]	188	Utac[Nu,P1,4,2]	158
Utac[Due,P2,4,3]	188	Utac[Nu,P1,4,3]	158
Utac[Due,P2,4,4]	188	Utac[Nu,P1,4,4]	158
Utac[Due,P2,4,5]	188	Utac[Nu,P1,4,5]	158
Utac[E,P1,1,1]	360	Utac[Nu,P2,1,1]	315
Utac[E,P1,1,2]	360	Utac[Nu,P2,1,2]	315
Utac[E,P1,1,3]	360	Utac[Nu,P2,1,3]	315
Utac[E,P1,1,4]	360	Utac[Nu,P2,1,4]	315
Utac[E,P1,1,5]	360	Utac[Nu,P2,1,5]	315
Utac[E,P1,2,1]	120	Utac[Nu,P2,2,1]	105
Utac[E,P1,2,2]	120	Utac[Nu,P2,2,2]	105
Utac[E,P1,2,3]	120	Utac[Nu,P2,2,3]	105
Utac[E,P1,2,4]	120	Utac[Nu,P2,2,4]	105
Utac[E,P1,2,5]	120	Utac[Nu,P2,2,5]	105
Utac[E,P1,3,1]	300	Utac[Nu,P2,3,1]	262
Utac[E,P1,3,2]	300	Utac[Nu,P2,3,2]	262
Utac[E,P1,3,3]	300	Utac[Nu,P2,3,3]	262
Utac[E,P1,3,4]	300	Utac[Nu,P2,3,4]	262
Utac[E,P1,3,5]	300	Utac[Nu,P2,3,5]	262
Utac[E,P1,4,1]	180	Utac[Nu,P2,4,1]	158
Utac[E,P1,4,2]	180	Utac[Nu,P2,4,2]	158
Utac[E,P1,4,3]	180	Utac[Nu,P2,4,3]	158
Utac[E,P1,4,4]	180	Utac[Nu,P2,4,4]	158
Utac[E,P1,4,5]	180	Utac[Nu,P2,4,5]	158
Utac[E,P2,1,1]	360	Utac[S,P1,1,1]	375
Utac[E,P2,1,2]	360	Utac[S,P1,1,2]	375
Utac[E,P2,1,3]	360	Utac[S,P1,1,3]	375
Utac[E,P2,1,4]	360	Utac[S,P1,1,4]	375
Utac[E,P2,1,5]	360	Utac[S,P1,1,5]	375
Utac[E,P2,2,1]	120	Utac[S,P1,2,1]	125
Utac[E,P2,2,2]	120	Utac[S,P1,2,2]	125
Utac[E,P2,2,3]	120	Utac[S,P1,2,3]	125
Utac[E,P2,2,4]	120	Utac[S,P1,2,4]	125
Utac[E,P2,2,5]	120	Utac[S,P1,2,5]	125
Utac[E,P2,3,1]	300	Utac[S,P1,3,1]	313
Utac[E,P2,3,2]	300	Utac[S,P1,3,2]	313
Utac[E,P2,3,3]	300	Utac[S,P1,3,3]	313
Utac[E,P2,3,4]	300	Utac[S,P1,3,4]	313
Utac[E,P2,3,5]	300	Utac[S,P1,3,5]	313
Utac[E,P2,4,1]	180	Utac[S,P1,4,1]	188

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 10 (Eigene Darstellung)

Utac[E,P2,4,2]	180	Utac[S,P1,4,2]	188
Utac[E,P2,4,3]	180	Utac[S,P1,4,3]	188
Utac[E,P2,4,4]	180	Utac[S,P1,4,4]	188
Utac[E,P2,4,5]	180	Utac[S,P1,4,5]	188
Utac[FM,P1,1,1]	450	Utac[S,P2,1,1]	375
Utac[FM,P1,1,2]	450	Utac[S,P2,1,2]	375
Utac[FM,P1,1,3]	450	Utac[S,P2,1,3]	375
Utac[FM,P1,1,4]	450	Utac[S,P2,1,4]	375
Utac[FM,P1,1,5]	450	Utac[S,P2,1,5]	375
Utac[FM,P1,2,1]	150	Utac[S,P2,2,1]	125
Utac[FM,P1,2,2]	150	Utac[S,P2,2,2]	125
Utac[FM,P1,2,3]	150	Utac[S,P2,2,3]	125
Utac[FM,P1,2,4]	150	Utac[S,P2,2,4]	125
Utac[FM,P1,2,5]	150	Utac[S,P2,2,5]	125
Utac[FM,P1,3,1]	375	Utac[S,P2,3,1]	313
Utac[FM,P1,3,2]	375	Utac[S,P2,3,2]	313
Utac[FM,P1,3,3]	375	Utac[S,P2,3,3]	313
Utac[FM,P1,3,4]	375	Utac[S,P2,3,4]	313
Utac[FM,P1,3,5]	375	Utac[S,P2,3,5]	313
Utac[FM,P1,4,1]	225	Utac[S,P2,4,1]	188
Utac[FM,P1,4,2]	225	Utac[S,P2,4,2]	188
Utac[FM,P1,4,3]	225	Utac[S,P2,4,3]	188
Utac[FM,P1,4,4]	225	Utac[S,P2,4,4]	188
Utac[FM,P1,4,5]	225	Utac[S,P2,4,5]	188
Unbefriedigte Nachfrage der langfristigen Periode			
U[B,P1,1]	5696	U[FM,P2,1]	1200
U[B,P1,2]	5696	U[FM,P2,2]	1200
U[B,P1,3]	5696	U[FM,P2,3]	1200
U[B,P1,4]	5696	U[FM,P2,4]	1200
U[B,P1,5]	5696	U[FM,P2,5]	1200
U[B,P2,1]	5696	U[H,P1,1]	3000
U[B,P2,2]	5696	U[H,P1,2]	3000
U[B,P2,3]	5696	U[H,P1,3]	3000
U[B,P2,4]	5696	U[H,P1,4]	3000
U[B,P2,5]	5696	U[H,P1,5]	3000
U[Br,P1,1]	920	U[H,P2,1]	3000
U[Br,P1,2]	920	U[H,P2,2]	3000
U[Br,P1,3]	920	U[H,P2,3]	3000
U[Br,P1,4]	920	U[H,P2,4]	3000

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 10 (Eigene Darstellung)

U[Br,P1,5]	920	U[H,P2,5]	3000
U[Br,P2,1]	920	U[Ha,P1,1]	856
U[Br,P2,2]	920	U[Ha,P1,2]	856
U[Br,P2,3]	920	U[Ha,P1,3]	856
U[Br,P2,4]	920	U[Ha,P1,4]	856
U[Br,P2,5]	920	U[Ha,P1,5]	856
U[Do,P1,1]	960	U[Ha,P2,1]	856
U[Do,P1,2]	960	U[Ha,P2,2]	856
U[Do,P1,3]	960	U[Ha,P2,3]	856
U[Do,P1,4]	960	U[Ha,P2,4]	856
U[Do,P1,5]	960	U[Ha,P2,5]	856
U[Do,P2,1]	960	U[K,P1,1]	1735
U[Do,P2,2]	960	U[K,P1,2]	1735
U[Do,P2,3]	960	U[K,P1,3]	1735
U[Do,P2,4]	960	U[K,P1,4]	1735
U[Do,P2,5]	960	U[K,P1,5]	1735
U[Dr,P1,1]	880	U[K,P2,1]	1735
U[Dr,P1,2]	880	U[K,P2,2]	1735
U[Dr,P1,3]	880	U[K,P2,3]	1735
U[Dr,P1,4]	880	U[K,P2,4]	1735
U[Dr,P1,5]	880	U[K,P2,5]	1735
U[Dr,P2,1]	880	U[L,P1,1]	880
U[Dr,P2,2]	880	U[L,P1,2]	880
U[Dr,P2,3]	880	U[L,P1,3]	880
U[Dr,P2,4]	880	U[L,P1,4]	880
U[Dr,P2,5]	880	U[L,P1,5]	880
U[Du,P1,1]	800	U[L,P2,1]	880
U[Du,P1,2]	800	U[L,P2,2]	880
U[Du,P1,3]	800	U[L,P2,3]	880
U[Du,P1,4]	800	U[L,P2,4]	880
U[Du,P1,5]	800	U[L,P2,5]	880
U[Du,P2,1]	800	U[M,P1,1]	2400
U[Du,P2,2]	800	U[M,P1,2]	2400
U[Du,P2,3]	800	U[M,P1,3]	2400
U[Du,P2,4]	800	U[M,P1,4]	2400
U[Du,P2,5]	800	U[M,P1,5]	2400
U[Due,P1,1]	1000	U[M,P2,1]	2400
U[Due,P1,2]	1000	U[M,P2,2]	2400
U[Due,P1,3]	1000	U[M,P2,3]	2400
U[Due,P1,4]	1000	U[M,P2,4]	2400

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 10 (Eigene Darstellung)

U[Due,P1,5]	1000	U[M,P2,5]	2400
U[Due,P2,1]	1000	U[Nu,P1,1]	840
U[Due,P2,2]	1000	U[Nu,P1,2]	840
U[Due,P2,3]	1000	U[Nu,P1,3]	840
U[Due,P2,4]	1000	U[Nu,P1,4]	840
U[Due,P2,5]	1000	U[Nu,P1,5]	840
U[E,P1,1]	960	U[Nu,P2,1]	840
U[E,P1,2]	960	U[Nu,P2,2]	840
U[E,P1,3]	960	U[Nu,P2,3]	840
U[E,P1,4]	960	U[Nu,P2,4]	840
U[E,P1,5]	960	U[Nu,P2,5]	840
U[E,P2,1]	960	U[S,P1,1]	1001
U[E,P2,2]	960	U[S,P1,2]	1001
U[E,P2,3]	960	U[S,P1,3]	1001
U[E,P2,4]	960	U[S,P1,4]	1001
U[E,P2,5]	960	U[S,P1,5]	1001
U[FM,P1,1]	1200	U[S,P2,1]	1001
U[FM,P1,2]	1200	U[S,P2,2]	1001
U[FM,P1,3]	1200	U[S,P2,3]	1001
U[FM,P1,4]	1200	U[S,P2,4]	1001
U[FM,P1,5]	1200	U[S,P2,5]	1001

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 81$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 10 von 10 (Eigene Darstellung)

Lösung des FLCAPPTR2-Modells für saisonale Nachfrage und $c^U = 100$ für jede unbefriedigte Nachfrage			
Zielfunktionswert in GE		18.318.703,40 bestehend aus:	
Diskontierten Strafkosten in GE		59.001,71	Diskontierten tatsächlichen Kosten in GE 18.259.701,68
Variablen für Standortöffnungen in langfristiger Periode			
YFGes[B,1]	1	YVGes[B,1]	1
Variablen für Offen-sein von Standorten in langfristiger Periode			
YF[B,1]	1	YV[B,1]	1
YF[B,2]	1	YV[B,2]	1
YF[B,3]	1	YV[B,3]	1
YF[B,4]	1	YV[B,4]	1
YF[B,5]	1	YV[B,5]	1
Kapazitätsveränderungen in langfristiger Periode			
CCapF[B,1]	174	CCapV[B,2]	86
CCapV[B,1]	174		
Kapazitätsaufbau in langfristiger Periode			
CCapFUP[B,1]	174	CCapVUP[B,2]	86
CCapVUP[B,1]	174		
Anzahl Kapazitätenseinheiten in langfristiger Periode...			
...im VSZ		...im Werk	
CapVT[B,1]	174	CapFT[B,1]	174
CapVT[B,2]	260	CapFT[B,2]	174
CapVT[B,3]	260	CapFT[B,3]	174
CapVT[B,4]	260	CapFT[B,4]	174
CapVT[B,5]	260	CapFT[B,5]	174
(Binäre) Variablen für Kapazitätsaufbau und unveränderter Kapazität in langfristiger Periode			
YCCapFUP[B,1]	1	YCCapVUP[B,2]	1
YCCapVUP[B,1]	1		
Anzahl Kapazitätenseinheiten im Werk für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapF[B,1,1]	174	CapF[B,3,1]	174
CapF[B,1,2]	174	CapF[B,3,2]	174
CapF[B,1,3]	174	CapF[B,3,3]	174
CapF[B,1,4]	174	CapF[B,3,4]	174
CapF[B,1,5]	174	CapF[B,3,5]	174
CapF[B,2,1]	174	CapF[B,4,1]	174
CapF[B,2,2]	174	CapF[B,4,2]	174
CapF[B,2,3]	174	CapF[B,4,3]	174
CapF[B,2,4]	174	CapF[B,4,4]	174
CapF[B,2,5]	174	CapF[B,4,5]	174
Anzahl Kapazitätenseinheiten im VSZ für mittelfristige Perioden in langfristiger Periode			
CapV[B,1,1]	174	CapV[B,3,1]	174
CapV[B,1,2]	260	CapV[B,3,2]	260

Abbildung A.48: Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 1 von 21 (Eigene Darstellung)

CapV[B,1,3]	260	CapV[B,3,3]	260
CapV[B,1,4]	260	CapV[B,3,4]	260
CapV[B,1,5]	260	CapV[B,3,5]	260
CapV[B,2,1]	174	CapV[B,4,1]	174
CapV[B,2,2]	260	CapV[B,4,2]	260
CapV[B,2,3]	260	CapV[B,4,3]	260
CapV[B,2,4]	260	CapV[B,4,4]	260
CapV[B,2,5]	260	CapV[B,4,5]	260
Personalbestand im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapF[B,1,1]	44	LCapF[B,3,1]	36
LCapF[B,1,2]	44	LCapF[B,3,2]	36
LCapF[B,1,3]	44	LCapF[B,3,3]	36
LCapF[B,1,4]	44	LCapF[B,3,4]	36
LCapF[B,1,5]	44	LCapF[B,3,5]	36
LCapF[B,2,1]	14	LCapF[B,4,1]	22
LCapF[B,2,2]	15	LCapF[B,4,2]	22
LCapF[B,2,3]	15	LCapF[B,4,3]	22
LCapF[B,2,4]	15	LCapF[B,4,4]	22
LCapF[B,2,5]	15	LCapF[B,4,5]	22
Personalbestand im VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
LCapV[B,1,1]	22	LCapV[B,3,1]	18
LCapV[B,1,2]	33	LCapV[B,3,2]	27
LCapV[B,1,3]	33	LCapV[B,3,3]	27
LCapV[B,1,4]	33	LCapV[B,3,4]	27
LCapV[B,1,5]	33	LCapV[B,3,5]	27
LCapV[B,2,1]	7	LCapV[B,4,1]	11
LCapV[B,2,2]	11	LCapV[B,4,2]	17
LCapV[B,2,3]	11	LCapV[B,4,3]	17
LCapV[B,2,4]	11	LCapV[B,4,4]	17
LCapV[B,2,5]	11	LCapV[B,4,5]	17
Maximaler Personalbestand in der langfristigen Periode...			
...im VSZ		... im Werk	
LCapVT[B,1]	621	LCapFT[B,1]	621
LCapVT[B,2]	621	LCapFT[B,2]	621
LCapVT[B,3]	621	LCapFT[B,3]	621
LCapVT[B,4]	621	LCapFT[B,4]	621
LCapVT[B,5]	621	LCapFT[B,5]	621
Transportmengen vom Zulieferer zum Werk in mittelfristigen Periode der langfristigen Periode			
XCZF[B,M1,B,1,1]	8666	XCZF[B,M2,B,3,1]	14400
XCZF[B,M1,B,1,2]	8666	XCZF[B,M2,B,3,2]	14400
XCZF[B,M1,B,1,3]	8666	XCZF[B,M2,B,3,3]	14400
XCZF[B,M1,B,1,4]	8666	XCZF[B,M2,B,3,4]	14400

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 2 von 21 (Eigene Darstellung)

XCZF[B,M1,B,1,5]	8661	XCZF[B,M2,B,3,5]	14400
XCZF[B,M1,B,2,1]	2760	XCZF[B,M2,B,4,1]	8664
XCZF[B,M1,B,2,2]	2884	XCZF[B,M2,B,4,2]	8664
XCZF[B,M1,B,2,3]	2884	XCZF[B,M2,B,4,3]	8664
XCZF[B,M1,B,2,4]	2884	XCZF[B,M2,B,4,4]	8664
XCZF[B,M1,B,2,5]	2891	XCZF[B,M2,B,4,5]	8672
XCZF[B,M1,B,3,1]	7224	XCZF[B,M3,B,1,1]	8666
XCZF[B,M1,B,3,2]	7176	XCZF[B,M3,B,1,2]	8666
XCZF[B,M1,B,3,3]	7224	XCZF[B,M3,B,1,3]	8666
XCZF[B,M1,B,3,4]	7224	XCZF[B,M3,B,1,4]	8666
XCZF[B,M1,B,3,5]	7172	XCZF[B,M3,B,1,5]	8673
XCZF[B,M1,B,4,1]	4332	XCZF[B,M3,B,2,1]	2840
XCZF[B,M1,B,4,2]	4332	XCZF[B,M3,B,2,2]	2884
XCZF[B,M1,B,4,3]	4332	XCZF[B,M3,B,2,3]	2884
XCZF[B,M1,B,4,4]	4332	XCZF[B,M3,B,2,4]	2884
XCZF[B,M1,B,4,5]	4336	XCZF[B,M3,B,2,5]	2891
XCZF[B,M2,B,1,1]	17332	XCZF[B,M3,B,3,1]	7176
XCZF[B,M2,B,1,2]	17332	XCZF[B,M3,B,3,2]	7224
XCZF[B,M2,B,1,3]	17332	XCZF[B,M3,B,3,3]	7176
XCZF[B,M2,B,1,4]	17332	XCZF[B,M3,B,3,4]	7176
XCZF[B,M2,B,1,5]	17334	XCZF[B,M3,B,3,5]	7228
XCZF[B,M2,B,2,1]	5600	XCZF[B,M3,B,4,1]	4332
XCZF[B,M2,B,2,2]	5768	XCZF[B,M3,B,4,2]	4332
XCZF[B,M2,B,2,3]	5768	XCZF[B,M3,B,4,3]	4332
XCZF[B,M2,B,2,4]	5768	XCZF[B,M3,B,4,4]	4332
XCZF[B,M2,B,2,5]	5782	XCZF[B,M3,B,4,5]	4336
Bearbeitungsmengen an Komponenten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XCF[B,M1,1,1]	8666	XCF[B,M2,3,1]	14400
XCF[B,M1,1,2]	8666	XCF[B,M2,3,2]	14400
XCF[B,M1,1,3]	8666	XCF[B,M2,3,3]	14400
XCF[B,M1,1,4]	8666	XCF[B,M2,3,4]	14400
XCF[B,M1,1,5]	8661	XCF[B,M2,3,5]	14400
XCF[B,M1,2,1]	2760	XCF[B,M2,4,1]	8664
XCF[B,M1,2,2]	2884	XCF[B,M2,4,2]	8664
XCF[B,M1,2,3]	2884	XCF[B,M2,4,3]	8664
XCF[B,M1,2,4]	2884	XCF[B,M2,4,4]	8664
XCF[B,M1,2,5]	2891	XCF[B,M2,4,5]	8672
XCF[B,M1,3,1]	7224	XCF[B,M3,1,1]	8666
XCF[B,M1,3,2]	7176	XCF[B,M3,1,2]	8666
XCF[B,M1,3,3]	7224	XCF[B,M3,1,3]	8666
XCF[B,M1,3,4]	7224	XCF[B,M3,1,4]	8666
XCF[B,M1,3,5]	7172	XCF[B,M3,1,5]	8673

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 3 von 21 (Eigene Darstellung)

XCF[B,M1,4,1]	4332	XCF[B,M3,2,1]	2840
XCF[B,M1,4,2]	4332	XCF[B,M3,2,2]	2884
XCF[B,M1,4,3]	4332	XCF[B,M3,2,3]	2884
XCF[B,M1,4,4]	4332	XCF[B,M3,2,4]	2884
XCF[B,M1,4,5]	4336	XCF[B,M3,2,5]	2891
XCF[B,M2,1,1]	17332	XCF[B,M3,3,1]	7176
XCF[B,M2,1,2]	17332	XCF[B,M3,3,2]	7224
XCF[B,M2,1,3]	17332	XCF[B,M3,3,3]	7176
XCF[B,M2,1,4]	17332	XCF[B,M3,3,4]	7176
XCF[B,M2,1,5]	17334	XCF[B,M3,3,5]	7228
XCF[B,M2,2,1]	5600	XCF[B,M3,4,1]	4332
XCF[B,M2,2,2]	5768	XCF[B,M3,4,2]	4332
XCF[B,M2,2,3]	5768	XCF[B,M3,4,3]	4332
XCF[B,M2,2,4]	5768	XCF[B,M3,4,4]	4332
XCF[B,M2,2,5]	5782	XCF[B,M3,4,5]	4336
Bearbeitungsmengen an Produkten im Werk in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPF[B,P1,1,1]	8666	XPF[B,P2,1,1]	8666
XPF[B,P1,1,2]	8666	XPF[B,P2,1,2]	8666
XPF[B,P1,1,3]	8666	XPF[B,P2,1,3]	8666
XPF[B,P1,1,4]	8666	XPF[B,P2,1,4]	8666
XPF[B,P1,1,5]	8661	XPF[B,P2,1,5]	8673
XPF[B,P1,2,1]	2760	XPF[B,P2,2,1]	2840
XPF[B,P1,2,2]	2884	XPF[B,P2,2,2]	2884
XPF[B,P1,2,3]	2884	XPF[B,P2,2,3]	2884
XPF[B,P1,2,4]	2884	XPF[B,P2,2,4]	2884
XPF[B,P1,2,5]	2891	XPF[B,P2,2,5]	2891
XPF[B,P1,3,1]	7224	XPF[B,P2,3,1]	7176
XPF[B,P1,3,2]	7176	XPF[B,P2,3,2]	7224
XPF[B,P1,3,3]	7224	XPF[B,P2,3,3]	7176
XPF[B,P1,3,4]	7224	XPF[B,P2,3,4]	7176
XPF[B,P1,3,5]	7172	XPF[B,P2,3,5]	7228
XPF[B,P1,4,1]	4332	XPF[B,P2,4,1]	4332
XPF[B,P1,4,2]	4332	XPF[B,P2,4,2]	4332
XPF[B,P1,4,3]	4332	XPF[B,P2,4,3]	4332
XPF[B,P1,4,4]	4332	XPF[B,P2,4,4]	4332
XPF[B,P1,4,5]	4336	XPF[B,P2,4,5]	4336
Transportmengen vom Werk zum VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XPFV[B,B,P1,1,1]	8666	XPFV[B,B,P2,1,1]	8666
XPFV[B,B,P1,1,2]	8666	XPFV[B,B,P2,1,2]	8666
XPFV[B,B,P1,1,3]	8666	XPFV[B,B,P2,1,3]	8666
XPFV[B,B,P1,1,4]	8666	XPFV[B,B,P2,1,4]	8666
XPFV[B,B,P1,1,5]	8661	XPFV[B,B,P2,1,5]	8673

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 4 von 21 (Eigene Darstellung)

XPFV[B,B,P1,2,1]	2760	XPFV[B,B,P2,2,1]	2840
XPFV[B,B,P1,2,2]	2884	XPFV[B,B,P2,2,2]	2884
XPFV[B,B,P1,2,3]	2884	XPFV[B,B,P2,2,3]	2884
XPFV[B,B,P1,2,4]	2884	XPFV[B,B,P2,2,4]	2884
XPFV[B,B,P1,2,5]	2891	XPFV[B,B,P2,2,5]	2891
XPFV[B,B,P1,3,1]	7224	XPFV[B,B,P2,3,1]	7176
XPFV[B,B,P1,3,2]	7176	XPFV[B,B,P2,3,2]	7224
XPFV[B,B,P1,3,3]	7224	XPFV[B,B,P2,3,3]	7176
XPFV[B,B,P1,3,4]	7224	XPFV[B,B,P2,3,4]	7176
XPFV[B,B,P1,3,5]	7172	XPFV[B,B,P2,3,5]	7228
XPFV[B,B,P1,4,1]	4332	XPFV[B,B,P2,4,1]	4332
XPFV[B,B,P1,4,2]	4332	XPFV[B,B,P2,4,2]	4332
XPFV[B,B,P1,4,3]	4332	XPFV[B,B,P2,4,3]	4332
XPFV[B,B,P1,4,4]	4332	XPFV[B,B,P2,4,4]	4332
XPFV[B,B,P1,4,5]	4336	XPFV[B,B,P2,4,5]	4336
Transportmengen vom VSZ zu Kunden in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XVKP[B,B,P1,1,1]	2136	XVKP[B,FM,P2,1,1]	450
XVKP[B,B,P1,1,2]	2136	XVKP[B,FM,P2,1,2]	450
XVKP[B,B,P1,1,3]	2136	XVKP[B,FM,P2,1,3]	450
XVKP[B,B,P1,1,4]	2136	XVKP[B,FM,P2,1,4]	450
XVKP[B,B,P1,1,5]	2136	XVKP[B,FM,P2,1,5]	450
XVKP[B,B,P1,2,1]	712	XVKP[B,FM,P2,2,1]	150
XVKP[B,B,P1,2,2]	712	XVKP[B,FM,P2,2,2]	150
XVKP[B,B,P1,2,3]	712	XVKP[B,FM,P2,2,3]	150
XVKP[B,B,P1,2,4]	712	XVKP[B,FM,P2,2,4]	150
XVKP[B,B,P1,2,5]	712	XVKP[B,FM,P2,2,5]	150
XVKP[B,B,P1,3,1]	1780	XVKP[B,FM,P2,3,1]	374
XVKP[B,B,P1,3,2]	1780	XVKP[B,FM,P2,3,2]	374
XVKP[B,B,P1,3,3]	1780	XVKP[B,FM,P2,3,3]	374
XVKP[B,B,P1,3,4]	1780	XVKP[B,FM,P2,3,4]	374
XVKP[B,B,P1,3,5]	1780	XVKP[B,FM,P2,3,5]	375
XVKP[B,B,P1,4,1]	1068	XVKP[B,FM,P2,4,1]	224
XVKP[B,B,P1,4,2]	1068	XVKP[B,FM,P2,4,2]	224
XVKP[B,B,P1,4,3]	1068	XVKP[B,FM,P2,4,3]	224
XVKP[B,B,P1,4,4]	1068	XVKP[B,FM,P2,4,4]	224
XVKP[B,B,P1,4,5]	1068	XVKP[B,FM,P2,4,5]	225
XVKP[B,B,P2,1,1]	2136	XVKP[B,H,P1,1,1]	1124
XVKP[B,B,P2,1,2]	2136	XVKP[B,H,P1,1,2]	1124
XVKP[B,B,P2,1,3]	2136	XVKP[B,H,P1,1,3]	1124
XVKP[B,B,P2,1,4]	2136	XVKP[B,H,P1,1,4]	1124
XVKP[B,B,P2,1,5]	2136	XVKP[B,H,P1,1,5]	1125
XVKP[B,B,P2,2,1]	712	XVKP[B,H,P1,2,1]	374

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 5 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,B,P2,2,2]	712	XVKP[B,H,P1,2,2]	374
XVKP[B,B,P2,2,3]	712	XVKP[B,H,P1,2,3]	374
XVKP[B,B,P2,2,4]	712	XVKP[B,H,P1,2,4]	374
XVKP[B,B,P2,2,5]	712	XVKP[B,H,P1,2,5]	375
XVKP[B,B,P2,3,1]	1780	XVKP[B,H,P1,3,1]	938
XVKP[B,B,P2,3,2]	1780	XVKP[B,H,P1,3,2]	938
XVKP[B,B,P2,3,3]	1780	XVKP[B,H,P1,3,3]	938
XVKP[B,B,P2,3,4]	1780	XVKP[B,H,P1,3,4]	938
XVKP[B,B,P2,3,5]	1780	XVKP[B,H,P1,3,5]	938
XVKP[B,B,P2,4,1]	1068	XVKP[B,H,P1,4,1]	562
XVKP[B,B,P2,4,2]	1068	XVKP[B,H,P1,4,2]	562
XVKP[B,B,P2,4,3]	1068	XVKP[B,H,P1,4,3]	562
XVKP[B,B,P2,4,4]	1068	XVKP[B,H,P1,4,4]	562
XVKP[B,B,P2,4,5]	1068	XVKP[B,H,P1,4,5]	562
XVKP[B,Br,P1,1,1]	344	XVKP[B,H,P2,1,1]	1124
XVKP[B,Br,P1,1,2]	344	XVKP[B,H,P2,1,2]	1124
XVKP[B,Br,P1,1,3]	344	XVKP[B,H,P2,1,3]	1124
XVKP[B,Br,P1,1,4]	344	XVKP[B,H,P2,1,4]	1124
XVKP[B,Br,P1,1,5]	345	XVKP[B,H,P2,1,5]	1125
XVKP[B,Br,P1,2,1]	114	XVKP[B,H,P2,2,1]	374
XVKP[B,Br,P1,2,2]	114	XVKP[B,H,P2,2,2]	374
XVKP[B,Br,P1,2,3]	114	XVKP[B,H,P2,2,3]	374
XVKP[B,Br,P1,2,4]	114	XVKP[B,H,P2,2,4]	374
XVKP[B,Br,P1,2,5]	115	XVKP[B,H,P2,2,5]	375
XVKP[B,Br,P1,3,1]	288	XVKP[B,H,P2,3,1]	938
XVKP[B,Br,P1,3,2]	288	XVKP[B,H,P2,3,2]	938
XVKP[B,Br,P1,3,3]	288	XVKP[B,H,P2,3,3]	938
XVKP[B,Br,P1,3,4]	288	XVKP[B,H,P2,3,4]	938
XVKP[B,Br,P1,3,5]	288	XVKP[B,H,P2,3,5]	938
XVKP[B,Br,P1,4,1]	172	XVKP[B,H,P2,4,1]	562
XVKP[B,Br,P1,4,2]	172	XVKP[B,H,P2,4,2]	562
XVKP[B,Br,P1,4,3]	172	XVKP[B,H,P2,4,3]	562
XVKP[B,Br,P1,4,4]	172	XVKP[B,H,P2,4,4]	562
XVKP[B,Br,P1,4,5]	172	XVKP[B,H,P2,4,5]	562
XVKP[B,Br,P2,1,1]	344	XVKP[B,Ha,P1,1,1]	320
XVKP[B,Br,P2,1,2]	344	XVKP[B,Ha,P1,1,2]	320
XVKP[B,Br,P2,1,3]	344	XVKP[B,Ha,P1,1,3]	320
XVKP[B,Br,P2,1,4]	344	XVKP[B,Ha,P1,1,4]	320
XVKP[B,Br,P2,1,5]	345	XVKP[B,Ha,P1,1,5]	321
XVKP[B,Br,P2,2,1]	114	XVKP[B,Ha,P1,2,1]	106
XVKP[B,Br,P2,2,2]	114	XVKP[B,Ha,P1,2,2]	106
XVKP[B,Br,P2,2,3]	114	XVKP[B,Ha,P1,2,3]	106

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 6 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Br,P2,2,4]	114	XVKP[B,Ha,P1,2,4]	106
XVKP[B,Br,P2,2,5]	115	XVKP[B,Ha,P1,2,5]	107
XVKP[B,Br,P2,3,1]	288	XVKP[B,Ha,P1,3,1]	268
XVKP[B,Br,P2,3,2]	288	XVKP[B,Ha,P1,3,2]	268
XVKP[B,Br,P2,3,3]	288	XVKP[B,Ha,P1,3,3]	268
XVKP[B,Br,P2,3,4]	288	XVKP[B,Ha,P1,3,4]	268
XVKP[B,Br,P2,3,5]	288	XVKP[B,Ha,P1,3,5]	268
XVKP[B,Br,P2,4,1]	172	XVKP[B,Ha,P1,4,1]	160
XVKP[B,Br,P2,4,2]	172	XVKP[B,Ha,P1,4,2]	160
XVKP[B,Br,P2,4,3]	172	XVKP[B,Ha,P1,4,3]	160
XVKP[B,Br,P2,4,4]	172	XVKP[B,Ha,P1,4,4]	160
XVKP[B,Br,P2,4,5]	172	XVKP[B,Ha,P1,4,5]	160
XVKP[B,Do,P1,1,1]	360	XVKP[B,Ha,P2,1,1]	320
XVKP[B,Do,P1,1,2]	360	XVKP[B,Ha,P2,1,2]	320
XVKP[B,Do,P1,1,3]	360	XVKP[B,Ha,P2,1,3]	320
XVKP[B,Do,P1,1,4]	360	XVKP[B,Ha,P2,1,4]	320
XVKP[B,Do,P1,1,5]	360	XVKP[B,Ha,P2,1,5]	321
XVKP[B,Do,P1,2,1]	120	XVKP[B,Ha,P2,2,1]	106
XVKP[B,Do,P1,2,2]	120	XVKP[B,Ha,P2,2,2]	106
XVKP[B,Do,P1,2,3]	120	XVKP[B,Ha,P2,2,3]	106
XVKP[B,Do,P1,2,4]	120	XVKP[B,Ha,P2,2,4]	106
XVKP[B,Do,P1,2,5]	120	XVKP[B,Ha,P2,2,5]	107
XVKP[B,Do,P1,3,1]	300	XVKP[B,Ha,P2,3,1]	268
XVKP[B,Do,P1,3,2]	300	XVKP[B,Ha,P2,3,2]	268
XVKP[B,Do,P1,3,3]	300	XVKP[B,Ha,P2,3,3]	268
XVKP[B,Do,P1,3,4]	300	XVKP[B,Ha,P2,3,4]	268
XVKP[B,Do,P1,3,5]	300	XVKP[B,Ha,P2,3,5]	268
XVKP[B,Do,P1,4,1]	180	XVKP[B,Ha,P2,4,1]	160
XVKP[B,Do,P1,4,2]	180	XVKP[B,Ha,P2,4,2]	160
XVKP[B,Do,P1,4,3]	180	XVKP[B,Ha,P2,4,3]	160
XVKP[B,Do,P1,4,4]	180	XVKP[B,Ha,P2,4,4]	160
XVKP[B,Do,P1,4,5]	180	XVKP[B,Ha,P2,4,5]	160
XVKP[B,Do,P2,1,1]	360	XVKP[B,K,P1,1,1]	650
XVKP[B,Do,P2,1,2]	360	XVKP[B,K,P1,1,2]	650
XVKP[B,Do,P2,1,3]	360	XVKP[B,K,P1,1,3]	650
XVKP[B,Do,P2,1,4]	360	XVKP[B,K,P1,1,4]	650
XVKP[B,Do,P2,1,5]	360	XVKP[B,K,P1,1,5]	651
XVKP[B,Do,P2,2,1]	120	XVKP[B,K,P1,2,1]	216
XVKP[B,Do,P2,2,2]	120	XVKP[B,K,P1,2,2]	216
XVKP[B,Do,P2,2,3]	120	XVKP[B,K,P1,2,3]	216
XVKP[B,Do,P2,2,4]	120	XVKP[B,K,P1,2,4]	216
XVKP[B,Do,P2,2,5]	120	XVKP[B,K,P1,2,5]	217

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 7 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Do,P2,3,1]	300	XVKP[B,K,P1,3,1]	542
XVKP[B,Do,P2,3,2]	300	XVKP[B,K,P1,3,2]	542
XVKP[B,Do,P2,3,3]	300	XVKP[B,K,P1,3,3]	542
XVKP[B,Do,P2,3,4]	300	XVKP[B,K,P1,3,4]	542
XVKP[B,Do,P2,3,5]	300	XVKP[B,K,P1,3,5]	542
XVKP[B,Do,P2,4,1]	180	XVKP[B,K,P1,4,1]	324
XVKP[B,Do,P2,4,2]	180	XVKP[B,K,P1,4,2]	324
XVKP[B,Do,P2,4,3]	180	XVKP[B,K,P1,4,3]	324
XVKP[B,Do,P2,4,4]	180	XVKP[B,K,P1,4,4]	324
XVKP[B,Do,P2,4,5]	180	XVKP[B,K,P1,4,5]	325
XVKP[B,Dr,P1,1,1]	330	XVKP[B,K,P2,1,1]	650
XVKP[B,Dr,P1,1,2]	330	XVKP[B,K,P2,1,2]	650
XVKP[B,Dr,P1,1,3]	330	XVKP[B,K,P2,1,3]	650
XVKP[B,Dr,P1,1,4]	330	XVKP[B,K,P2,1,4]	650
XVKP[B,Dr,P1,1,5]	330	XVKP[B,K,P2,1,5]	651
XVKP[B,Dr,P1,2,1]	110	XVKP[B,K,P2,2,1]	216
XVKP[B,Dr,P1,2,2]	110	XVKP[B,K,P2,2,2]	216
XVKP[B,Dr,P1,2,3]	110	XVKP[B,K,P2,2,3]	216
XVKP[B,Dr,P1,2,4]	110	XVKP[B,K,P2,2,4]	216
XVKP[B,Dr,P1,2,5]	110	XVKP[B,K,P2,2,5]	217
XVKP[B,Dr,P1,3,1]	274	XVKP[B,K,P2,3,1]	542
XVKP[B,Dr,P1,3,2]	274	XVKP[B,K,P2,3,2]	542
XVKP[B,Dr,P1,3,3]	274	XVKP[B,K,P2,3,3]	542
XVKP[B,Dr,P1,3,4]	274	XVKP[B,K,P2,3,4]	542
XVKP[B,Dr,P1,3,5]	275	XVKP[B,K,P2,3,5]	542
XVKP[B,Dr,P1,4,1]	164	XVKP[B,K,P2,4,1]	324
XVKP[B,Dr,P1,4,2]	164	XVKP[B,K,P2,4,2]	324
XVKP[B,Dr,P1,4,3]	164	XVKP[B,K,P2,4,3]	324
XVKP[B,Dr,P1,4,4]	164	XVKP[B,K,P2,4,4]	324
XVKP[B,Dr,P1,4,5]	165	XVKP[B,K,P2,4,5]	325
XVKP[B,Dr,P2,1,1]	330	XVKP[B,L,P1,1,1]	330
XVKP[B,Dr,P2,1,2]	330	XVKP[B,L,P1,1,2]	330
XVKP[B,Dr,P2,1,3]	330	XVKP[B,L,P1,1,3]	330
XVKP[B,Dr,P2,1,4]	330	XVKP[B,L,P1,1,4]	330
XVKP[B,Dr,P2,1,5]	330	XVKP[B,L,P1,1,5]	330
XVKP[B,Dr,P2,2,1]	110	XVKP[B,L,P1,2,1]	110
XVKP[B,Dr,P2,2,2]	110	XVKP[B,L,P1,2,2]	110
XVKP[B,Dr,P2,2,3]	110	XVKP[B,L,P1,2,3]	110
XVKP[B,Dr,P2,2,4]	110	XVKP[B,L,P1,2,4]	110
XVKP[B,Dr,P2,2,5]	110	XVKP[B,L,P1,2,5]	110
XVKP[B,Dr,P2,3,1]	274	XVKP[B,L,P1,3,1]	274
XVKP[B,Dr,P2,3,2]	274	XVKP[B,L,P1,3,2]	274

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 8 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Dr,P2,3,3]	274	XVKP[B,L,P1,3,3]	274
XVKP[B,Dr,P2,3,4]	274	XVKP[B,L,P1,3,4]	274
XVKP[B,Dr,P2,3,5]	275	XVKP[B,L,P1,3,5]	275
XVKP[B,Dr,P2,4,1]	164	XVKP[B,L,P1,4,1]	164
XVKP[B,Dr,P2,4,2]	164	XVKP[B,L,P1,4,2]	164
XVKP[B,Dr,P2,4,3]	164	XVKP[B,L,P1,4,3]	164
XVKP[B,Dr,P2,4,4]	164	XVKP[B,L,P1,4,4]	164
XVKP[B,Dr,P2,4,5]	165	XVKP[B,L,P1,4,5]	165
XVKP[B,Du,P1,1,1]	300	XVKP[B,L,P2,1,1]	330
XVKP[B,Du,P1,1,2]	300	XVKP[B,L,P2,1,2]	330
XVKP[B,Du,P1,1,3]	300	XVKP[B,L,P2,1,3]	330
XVKP[B,Du,P1,1,4]	300	XVKP[B,L,P2,1,4]	330
XVKP[B,Du,P1,1,5]	300	XVKP[B,L,P2,1,5]	330
XVKP[B,Du,P1,2,1]	100	XVKP[B,L,P2,2,1]	110
XVKP[B,Du,P1,2,2]	100	XVKP[B,L,P2,2,2]	110
XVKP[B,Du,P1,2,3]	100	XVKP[B,L,P2,2,3]	110
XVKP[B,Du,P1,2,4]	100	XVKP[B,L,P2,2,4]	110
XVKP[B,Du,P1,2,5]	100	XVKP[B,L,P2,2,5]	110
XVKP[B,Du,P1,3,1]	250	XVKP[B,L,P2,3,1]	274
XVKP[B,Du,P1,3,2]	250	XVKP[B,L,P2,3,2]	274
XVKP[B,Du,P1,3,3]	250	XVKP[B,L,P2,3,3]	274
XVKP[B,Du,P1,3,4]	250	XVKP[B,L,P2,3,4]	274
XVKP[B,Du,P1,3,5]	250	XVKP[B,L,P2,3,5]	275
XVKP[B,Du,P1,4,1]	150	XVKP[B,L,P2,4,1]	164
XVKP[B,Du,P1,4,2]	150	XVKP[B,L,P2,4,2]	164
XVKP[B,Du,P1,4,3]	150	XVKP[B,L,P2,4,3]	164
XVKP[B,Du,P1,4,4]	150	XVKP[B,L,P2,4,4]	164
XVKP[B,Du,P1,4,5]	150	XVKP[B,L,P2,4,5]	165
XVKP[B,Du,P2,1,1]	300	XVKP[B,M,P1,1,1]	900
XVKP[B,Du,P2,1,2]	300	XVKP[B,M,P1,1,2]	900
XVKP[B,Du,P2,1,3]	300	XVKP[B,M,P1,1,3]	900
XVKP[B,Du,P2,1,4]	300	XVKP[B,M,P1,1,4]	900
XVKP[B,Du,P2,1,5]	300	XVKP[B,M,P1,1,5]	900
XVKP[B,Du,P2,2,1]	100	XVKP[B,M,P1,2,1]	300
XVKP[B,Du,P2,2,2]	100	XVKP[B,M,P1,2,2]	300
XVKP[B,Du,P2,2,3]	100	XVKP[B,M,P1,2,3]	300
XVKP[B,Du,P2,2,4]	100	XVKP[B,M,P1,2,4]	300
XVKP[B,Du,P2,2,5]	100	XVKP[B,M,P1,2,5]	300
XVKP[B,Du,P2,3,1]	250	XVKP[B,M,P1,3,1]	750
XVKP[B,Du,P2,3,2]	250	XVKP[B,M,P1,3,2]	750
XVKP[B,Du,P2,3,3]	250	XVKP[B,M,P1,3,3]	750
XVKP[B,Du,P2,3,4]	250	XVKP[B,M,P1,3,4]	750

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 9 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Du,P2,3,5]	250	XVKP[B,M,P1,3,5]	750
XVKP[B,Du,P2,4,1]	150	XVKP[B,M,P1,4,1]	450
XVKP[B,Du,P2,4,2]	150	XVKP[B,M,P1,4,2]	450
XVKP[B,Du,P2,4,3]	150	XVKP[B,M,P1,4,3]	450
XVKP[B,Du,P2,4,4]	150	XVKP[B,M,P1,4,4]	450
XVKP[B,Du,P2,4,5]	150	XVKP[B,M,P1,4,5]	450
XVKP[B,Due,P1,1,1]	374	XVKP[B,M,P2,1,1]	900
XVKP[B,Due,P1,1,2]	374	XVKP[B,M,P2,1,2]	900
XVKP[B,Due,P1,1,3]	374	XVKP[B,M,P2,1,3]	900
XVKP[B,Due,P1,1,4]	374	XVKP[B,M,P2,1,4]	900
XVKP[B,Due,P1,1,5]	375	XVKP[B,M,P2,1,5]	900
XVKP[B,Due,P1,2,1]	124	XVKP[B,M,P2,2,1]	300
XVKP[B,Due,P1,2,2]	124	XVKP[B,M,P2,2,2]	300
XVKP[B,Due,P1,2,3]	124	XVKP[B,M,P2,2,3]	300
XVKP[B,Due,P1,2,4]	124	XVKP[B,M,P2,2,4]	300
XVKP[B,Due,P1,2,5]	125	XVKP[B,M,P2,2,5]	300
XVKP[B,Due,P1,3,1]	312	XVKP[B,M,P2,3,1]	750
XVKP[B,Due,P1,3,2]	312	XVKP[B,M,P2,3,2]	750
XVKP[B,Due,P1,3,3]	312	XVKP[B,M,P2,3,3]	750
XVKP[B,Due,P1,3,4]	312	XVKP[B,M,P2,3,4]	750
XVKP[B,Due,P1,3,5]	312	XVKP[B,M,P2,3,5]	750
XVKP[B,Due,P1,4,1]	188	XVKP[B,M,P2,4,1]	450
XVKP[B,Due,P1,4,2]	188	XVKP[B,M,P2,4,2]	450
XVKP[B,Due,P1,4,3]	188	XVKP[B,M,P2,4,3]	450
XVKP[B,Due,P1,4,4]	188	XVKP[B,M,P2,4,4]	450
XVKP[B,Due,P1,4,5]	188	XVKP[B,M,P2,4,5]	450
XVKP[B,Due,P2,1,1]	374	XVKP[B,Nu,P1,1,1]	314
XVKP[B,Due,P2,1,2]	374	XVKP[B,Nu,P1,1,2]	314
XVKP[B,Due,P2,1,3]	374	XVKP[B,Nu,P1,1,3]	314
XVKP[B,Due,P2,1,4]	374	XVKP[B,Nu,P1,1,4]	314
XVKP[B,Due,P2,1,5]	375	XVKP[B,Nu,P1,1,5]	315
XVKP[B,Due,P2,2,1]	124	XVKP[B,Nu,P1,2,1]	104
XVKP[B,Due,P2,2,2]	124	XVKP[B,Nu,P1,2,2]	104
XVKP[B,Due,P2,2,3]	124	XVKP[B,Nu,P1,2,3]	104
XVKP[B,Due,P2,2,4]	124	XVKP[B,Nu,P1,2,4]	104
XVKP[B,Due,P2,2,5]	125	XVKP[B,Nu,P1,2,5]	105
XVKP[B,Due,P2,3,1]	312	XVKP[B,Nu,P1,3,1]	262
XVKP[B,Due,P2,3,2]	312	XVKP[B,Nu,P1,3,2]	262
XVKP[B,Due,P2,3,3]	312	XVKP[B,Nu,P1,3,3]	262
XVKP[B,Due,P2,3,4]	312	XVKP[B,Nu,P1,3,4]	262
XVKP[B,Due,P2,3,5]	312	XVKP[B,Nu,P1,3,5]	262
XVKP[B,Due,P2,4,1]	188	XVKP[B,Nu,P1,4,1]	158

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 10 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,Due,P2,4,2]	188	XVKP[B,Nu,P1,4,2]	158
XVKP[B,Due,P2,4,3]	188	XVKP[B,Nu,P1,4,3]	158
XVKP[B,Due,P2,4,4]	188	XVKP[B,Nu,P1,4,4]	158
XVKP[B,Due,P2,4,5]	188	XVKP[B,Nu,P1,4,5]	158
XVKP[B,E,P1,1,1]	360	XVKP[B,Nu,P2,1,1]	314
XVKP[B,E,P1,1,2]	360	XVKP[B,Nu,P2,1,2]	314
XVKP[B,E,P1,1,3]	360	XVKP[B,Nu,P2,1,3]	314
XVKP[B,E,P1,1,4]	360	XVKP[B,Nu,P2,1,4]	314
XVKP[B,E,P1,1,5]	360	XVKP[B,Nu,P2,1,5]	315
XVKP[B,E,P1,2,1]	120	XVKP[B,Nu,P2,2,1]	104
XVKP[B,E,P1,2,2]	120	XVKP[B,Nu,P2,2,2]	104
XVKP[B,E,P1,2,3]	120	XVKP[B,Nu,P2,2,3]	104
XVKP[B,E,P1,2,4]	120	XVKP[B,Nu,P2,2,4]	104
XVKP[B,E,P1,2,5]	120	XVKP[B,Nu,P2,2,5]	105
XVKP[B,E,P1,3,1]	300	XVKP[B,Nu,P2,3,1]	262
XVKP[B,E,P1,3,2]	300	XVKP[B,Nu,P2,3,2]	262
XVKP[B,E,P1,3,3]	300	XVKP[B,Nu,P2,3,3]	262
XVKP[B,E,P1,3,4]	300	XVKP[B,Nu,P2,3,4]	262
XVKP[B,E,P1,3,5]	300	XVKP[B,Nu,P2,3,5]	262
XVKP[B,E,P1,4,1]	180	XVKP[B,Nu,P2,4,1]	158
XVKP[B,E,P1,4,2]	180	XVKP[B,Nu,P2,4,2]	158
XVKP[B,E,P1,4,3]	180	XVKP[B,Nu,P2,4,3]	158
XVKP[B,E,P1,4,4]	180	XVKP[B,Nu,P2,4,4]	158
XVKP[B,E,P1,4,5]	180	XVKP[B,Nu,P2,4,5]	158
XVKP[B,E,P2,1,1]	360	XVKP[B,S,P1,1,1]	374
XVKP[B,E,P2,1,2]	360	XVKP[B,S,P1,1,2]	374
XVKP[B,E,P2,1,3]	360	XVKP[B,S,P1,1,3]	374
XVKP[B,E,P2,1,4]	360	XVKP[B,S,P1,1,4]	374
XVKP[B,E,P2,1,5]	360	XVKP[B,S,P1,1,5]	363
XVKP[B,E,P2,2,1]	120	XVKP[B,S,P1,2,2]	124
XVKP[B,E,P2,2,2]	120	XVKP[B,S,P1,2,3]	124
XVKP[B,E,P2,2,3]	120	XVKP[B,S,P1,2,4]	124
XVKP[B,E,P2,2,4]	120	XVKP[B,S,P1,2,5]	125
XVKP[B,E,P2,2,5]	120	XVKP[B,S,P1,3,1]	312
XVKP[B,E,P2,3,1]	300	XVKP[B,S,P1,3,2]	264
XVKP[B,E,P2,3,2]	300	XVKP[B,S,P1,3,3]	312
XVKP[B,E,P2,3,3]	300	XVKP[B,S,P1,3,4]	312
XVKP[B,E,P2,3,4]	300	XVKP[B,S,P1,3,5]	257
XVKP[B,E,P2,3,5]	300	XVKP[B,S,P1,4,1]	188
XVKP[B,E,P2,4,1]	180	XVKP[B,S,P1,4,2]	188
XVKP[B,E,P2,4,2]	180	XVKP[B,S,P1,4,3]	188
XVKP[B,E,P2,4,3]	180	XVKP[B,S,P1,4,4]	188

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 11 von 21 (Eigene Darstellung)

XVKP[B,E,P2,4,4]	180	XVKP[B,S,P1,4,5]	188
XVKP[B,E,P2,4,5]	180	XVKP[B,S,P2,1,1]	374
XVKP[B,FM,P1,1,1]	450	XVKP[B,S,P2,1,2]	374
XVKP[B,FM,P1,1,2]	450	XVKP[B,S,P2,1,3]	374
XVKP[B,FM,P1,1,3]	450	XVKP[B,S,P2,1,4]	374
XVKP[B,FM,P1,1,4]	450	XVKP[B,S,P2,1,5]	375
XVKP[B,FM,P1,1,5]	450	XVKP[B,S,P2,2,1]	80
XVKP[B,FM,P1,2,1]	150	XVKP[B,S,P2,2,2]	124
XVKP[B,FM,P1,2,2]	150	XVKP[B,S,P2,2,3]	124
XVKP[B,FM,P1,2,3]	150	XVKP[B,S,P2,2,4]	124
XVKP[B,FM,P1,2,4]	150	XVKP[B,S,P2,2,5]	125
XVKP[B,FM,P1,2,5]	150	XVKP[B,S,P2,3,1]	264
XVKP[B,FM,P1,3,1]	374	XVKP[B,S,P2,3,2]	312
XVKP[B,FM,P1,3,2]	374	XVKP[B,S,P2,3,3]	264
XVKP[B,FM,P1,3,3]	374	XVKP[B,S,P2,3,4]	264
XVKP[B,FM,P1,3,4]	374	XVKP[B,S,P2,3,5]	313
XVKP[B,FM,P1,3,5]	375	XVKP[B,S,P2,4,1]	188
XVKP[B,FM,P1,4,1]	224	XVKP[B,S,P2,4,2]	188
XVKP[B,FM,P1,4,2]	224	XVKP[B,S,P2,4,3]	188
XVKP[B,FM,P1,4,3]	224	XVKP[B,S,P2,4,4]	188
XVKP[B,FM,P1,4,4]	224	XVKP[B,S,P2,4,5]	188
XVKP[B,FM,P1,4,5]	225		
Transportmengen von Kunden zum VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
XKVP[B,B,P1,1,2]	1068	XKVP[FM,B,P2,1,2]	225
XKVP[B,B,P1,1,3]	1068	XKVP[FM,B,P2,1,3]	225
XKVP[B,B,P1,1,4]	1068	XKVP[FM,B,P2,1,4]	225
XKVP[B,B,P1,1,5]	1068	XKVP[FM,B,P2,1,5]	225
XKVP[B,B,P1,2,2]	356	XKVP[FM,B,P2,2,2]	75
XKVP[B,B,P1,2,3]	356	XKVP[FM,B,P2,2,3]	75
XKVP[B,B,P1,2,4]	356	XKVP[FM,B,P2,2,4]	75
XKVP[B,B,P1,2,5]	356	XKVP[FM,B,P2,2,5]	75
XKVP[B,B,P1,3,2]	890	XKVP[FM,B,P2,3,2]	187
XKVP[B,B,P1,3,3]	890	XKVP[FM,B,P2,3,3]	187
XKVP[B,B,P1,3,4]	890	XKVP[FM,B,P2,3,4]	187
XKVP[B,B,P1,3,5]	890	XKVP[FM,B,P2,3,5]	187
XKVP[B,B,P1,4,2]	534	XKVP[FM,B,P2,4,2]	112
XKVP[B,B,P1,4,3]	534	XKVP[FM,B,P2,4,3]	112
XKVP[B,B,P1,4,4]	534	XKVP[FM,B,P2,4,4]	112
XKVP[B,B,P1,4,5]	534	XKVP[FM,B,P2,4,5]	112
XKVP[B,B,P2,1,2]	1068	XKVP[H,B,P1,1,2]	562
XKVP[B,B,P2,1,3]	1068	XKVP[H,B,P1,1,3]	562

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 12 von 21 (Eigene Darstellung)

XKVP[B,B,P2,1,4]	1068	XKVP[H,B,P1,1,4]	562
XKVP[B,B,P2,1,5]	1068	XKVP[H,B,P1,1,5]	562
XKVP[B,B,P2,2,2]	356	XKVP[H,B,P1,2,2]	187
XKVP[B,B,P2,2,3]	356	XKVP[H,B,P1,2,3]	187
XKVP[B,B,P2,2,4]	356	XKVP[H,B,P1,2,4]	187
XKVP[B,B,P2,2,5]	356	XKVP[H,B,P1,2,5]	187
XKVP[B,B,P2,3,2]	890	XKVP[H,B,P1,3,2]	469
XKVP[B,B,P2,3,3]	890	XKVP[H,B,P1,3,3]	469
XKVP[B,B,P2,3,4]	890	XKVP[H,B,P1,3,4]	469
XKVP[B,B,P2,3,5]	890	XKVP[H,B,P1,3,5]	469
XKVP[B,B,P2,4,2]	534	XKVP[H,B,P1,4,2]	281
XKVP[B,B,P2,4,3]	534	XKVP[H,B,P1,4,3]	281
XKVP[B,B,P2,4,4]	534	XKVP[H,B,P1,4,4]	281
XKVP[B,B,P2,4,5]	534	XKVP[H,B,P1,4,5]	281
XKVP[Br,B,P1,1,2]	172	XKVP[H,B,P2,1,2]	562
XKVP[Br,B,P1,1,3]	172	XKVP[H,B,P2,1,3]	562
XKVP[Br,B,P1,1,4]	172	XKVP[H,B,P2,1,4]	562
XKVP[Br,B,P1,1,5]	172	XKVP[H,B,P2,1,5]	562
XKVP[Br,B,P1,2,2]	57	XKVP[H,B,P2,2,2]	187
XKVP[Br,B,P1,2,3]	57	XKVP[H,B,P2,2,3]	187
XKVP[Br,B,P1,2,4]	57	XKVP[H,B,P2,2,4]	187
XKVP[Br,B,P1,2,5]	57	XKVP[H,B,P2,2,5]	187
XKVP[Br,B,P1,3,2]	144	XKVP[H,B,P2,3,2]	469
XKVP[Br,B,P1,3,3]	144	XKVP[H,B,P2,3,3]	469
XKVP[Br,B,P1,3,4]	144	XKVP[H,B,P2,3,4]	469
XKVP[Br,B,P1,3,5]	144	XKVP[H,B,P2,3,5]	469
XKVP[Br,B,P1,4,2]	86	XKVP[H,B,P2,4,2]	281
XKVP[Br,B,P1,4,3]	86	XKVP[H,B,P2,4,3]	281
XKVP[Br,B,P1,4,4]	86	XKVP[H,B,P2,4,4]	281
XKVP[Br,B,P1,4,5]	86	XKVP[H,B,P2,4,5]	281
XKVP[Br,B,P2,1,2]	172	XKVP[Ha,B,P1,1,2]	160
XKVP[Br,B,P2,1,3]	172	XKVP[Ha,B,P1,1,3]	160
XKVP[Br,B,P2,1,4]	172	XKVP[Ha,B,P1,1,4]	160
XKVP[Br,B,P2,1,5]	172	XKVP[Ha,B,P1,1,5]	160
XKVP[Br,B,P2,2,2]	57	XKVP[Ha,B,P1,2,2]	53
XKVP[Br,B,P2,2,3]	57	XKVP[Ha,B,P1,2,3]	53
XKVP[Br,B,P2,2,4]	57	XKVP[Ha,B,P1,2,4]	53
XKVP[Br,B,P2,2,5]	57	XKVP[Ha,B,P1,2,5]	53
XKVP[Br,B,P2,3,2]	144	XKVP[Ha,B,P1,3,2]	134
XKVP[Br,B,P2,3,3]	144	XKVP[Ha,B,P1,3,3]	134
XKVP[Br,B,P2,3,4]	144	XKVP[Ha,B,P1,3,4]	134

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 13 von 21 (Eigene Darstellung)

XKVP[Br,B,P2,3,5]	144	XKVP[Ha,B,P1,3,5]	134
XKVP[Br,B,P2,4,2]	86	XKVP[Ha,B,P1,4,2]	80
XKVP[Br,B,P2,4,3]	86	XKVP[Ha,B,P1,4,3]	80
XKVP[Br,B,P2,4,4]	86	XKVP[Ha,B,P1,4,4]	80
XKVP[Br,B,P2,4,5]	86	XKVP[Ha,B,P1,4,5]	80
XKVP[Do,B,P1,1,2]	180	XKVP[Ha,B,P2,1,2]	160
XKVP[Do,B,P1,1,3]	180	XKVP[Ha,B,P2,1,3]	160
XKVP[Do,B,P1,1,4]	180	XKVP[Ha,B,P2,1,4]	160
XKVP[Do,B,P1,1,5]	180	XKVP[Ha,B,P2,1,5]	160
XKVP[Do,B,P1,2,2]	60	XKVP[Ha,B,P2,2,2]	53
XKVP[Do,B,P1,2,3]	60	XKVP[Ha,B,P2,2,3]	53
XKVP[Do,B,P1,2,4]	60	XKVP[Ha,B,P2,2,4]	53
XKVP[Do,B,P1,2,5]	60	XKVP[Ha,B,P2,2,5]	53
XKVP[Do,B,P1,3,2]	150	XKVP[Ha,B,P2,3,2]	134
XKVP[Do,B,P1,3,3]	150	XKVP[Ha,B,P2,3,3]	134
XKVP[Do,B,P1,3,4]	150	XKVP[Ha,B,P2,3,4]	134
XKVP[Do,B,P1,3,5]	150	XKVP[Ha,B,P2,3,5]	134
XKVP[Do,B,P1,4,2]	90	XKVP[Ha,B,P2,4,2]	80
XKVP[Do,B,P1,4,3]	90	XKVP[Ha,B,P2,4,3]	80
XKVP[Do,B,P1,4,4]	90	XKVP[Ha,B,P2,4,4]	80
XKVP[Do,B,P1,4,5]	90	XKVP[Ha,B,P2,4,5]	80
XKVP[Do,B,P2,1,2]	180	XKVP[K,B,P1,1,2]	325
XKVP[Do,B,P2,1,3]	180	XKVP[K,B,P1,1,3]	325
XKVP[Do,B,P2,1,4]	180	XKVP[K,B,P1,1,4]	325
XKVP[Do,B,P2,1,5]	180	XKVP[K,B,P1,1,5]	325
XKVP[Do,B,P2,2,2]	60	XKVP[K,B,P1,2,2]	108
XKVP[Do,B,P2,2,3]	60	XKVP[K,B,P1,2,3]	108
XKVP[Do,B,P2,2,4]	60	XKVP[K,B,P1,2,4]	108
XKVP[Do,B,P2,2,5]	60	XKVP[K,B,P1,2,5]	108
XKVP[Do,B,P2,3,2]	150	XKVP[K,B,P1,3,2]	271
XKVP[Do,B,P2,3,3]	150	XKVP[K,B,P1,3,3]	271
XKVP[Do,B,P2,3,4]	150	XKVP[K,B,P1,3,4]	271
XKVP[Do,B,P2,3,5]	150	XKVP[K,B,P1,3,5]	271
XKVP[Do,B,P2,4,2]	90	XKVP[K,B,P1,4,2]	162
XKVP[Do,B,P2,4,3]	90	XKVP[K,B,P1,4,3]	162
XKVP[Do,B,P2,4,4]	90	XKVP[K,B,P1,4,4]	162
XKVP[Do,B,P2,4,5]	90	XKVP[K,B,P1,4,5]	162
XKVP[Dr,B,P1,1,2]	165	XKVP[K,B,P2,1,2]	325
XKVP[Dr,B,P1,1,3]	165	XKVP[K,B,P2,1,3]	325
XKVP[Dr,B,P1,1,4]	165	XKVP[K,B,P2,1,4]	325
XKVP[Dr,B,P1,1,5]	165	XKVP[K,B,P2,1,5]	325

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 14 von 21 (Eigene Darstellung)

XKVP[Dr,B,P1,2,2]	55	XKVP[K,B,P2,2,2]	108
XKVP[Dr,B,P1,2,3]	55	XKVP[K,B,P2,2,3]	108
XKVP[Dr,B,P1,2,4]	55	XKVP[K,B,P2,2,4]	108
XKVP[Dr,B,P1,2,5]	55	XKVP[K,B,P2,2,5]	108
XKVP[Dr,B,P1,3,2]	137	XKVP[K,B,P2,3,2]	271
XKVP[Dr,B,P1,3,3]	137	XKVP[K,B,P2,3,3]	271
XKVP[Dr,B,P1,3,4]	137	XKVP[K,B,P2,3,4]	271
XKVP[Dr,B,P1,3,5]	137	XKVP[K,B,P2,3,5]	271
XKVP[Dr,B,P1,4,2]	82	XKVP[K,B,P2,4,2]	162
XKVP[Dr,B,P1,4,3]	82	XKVP[K,B,P2,4,3]	162
XKVP[Dr,B,P1,4,4]	82	XKVP[K,B,P2,4,4]	162
XKVP[Dr,B,P1,4,5]	82	XKVP[K,B,P2,4,5]	162
XKVP[Dr,B,P2,1,2]	165	XKVP[L,B,P1,1,2]	165
XKVP[Dr,B,P2,1,3]	165	XKVP[L,B,P1,1,3]	165
XKVP[Dr,B,P2,1,4]	165	XKVP[L,B,P1,1,4]	165
XKVP[Dr,B,P2,1,5]	165	XKVP[L,B,P1,1,5]	165
XKVP[Dr,B,P2,2,2]	55	XKVP[L,B,P1,2,2]	55
XKVP[Dr,B,P2,2,3]	55	XKVP[L,B,P1,2,3]	55
XKVP[Dr,B,P2,2,4]	55	XKVP[L,B,P1,2,4]	55
XKVP[Dr,B,P2,2,5]	55	XKVP[L,B,P1,2,5]	55
XKVP[Dr,B,P2,3,2]	137	XKVP[L,B,P1,3,2]	137
XKVP[Dr,B,P2,3,3]	137	XKVP[L,B,P1,3,3]	137
XKVP[Dr,B,P2,3,4]	137	XKVP[L,B,P1,3,4]	137
XKVP[Dr,B,P2,3,5]	137	XKVP[L,B,P1,3,5]	137
XKVP[Dr,B,P2,4,2]	82	XKVP[L,B,P1,4,2]	82
XKVP[Dr,B,P2,4,3]	82	XKVP[L,B,P1,4,3]	82
XKVP[Dr,B,P2,4,4]	82	XKVP[L,B,P1,4,4]	82
XKVP[Dr,B,P2,4,5]	82	XKVP[L,B,P1,4,5]	82
XKVP[Du,B,P1,1,2]	150	XKVP[L,B,P2,1,2]	165
XKVP[Du,B,P1,1,3]	150	XKVP[L,B,P2,1,3]	165
XKVP[Du,B,P1,1,4]	150	XKVP[L,B,P2,1,4]	165
XKVP[Du,B,P1,1,5]	150	XKVP[L,B,P2,1,5]	165
XKVP[Du,B,P1,2,2]	50	XKVP[L,B,P2,2,2]	55
XKVP[Du,B,P1,2,3]	50	XKVP[L,B,P2,2,3]	55
XKVP[Du,B,P1,2,4]	50	XKVP[L,B,P2,2,4]	55
XKVP[Du,B,P1,2,5]	50	XKVP[L,B,P2,2,5]	55
XKVP[Du,B,P1,3,2]	125	XKVP[L,B,P2,3,2]	137
XKVP[Du,B,P1,3,3]	125	XKVP[L,B,P2,3,3]	137
XKVP[Du,B,P1,3,4]	125	XKVP[L,B,P2,3,4]	137
XKVP[Du,B,P1,3,5]	125	XKVP[L,B,P2,3,5]	137
XKVP[Du,B,P1,4,2]	75	XKVP[L,B,P2,4,2]	82

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 15 von 21 (Eigene Darstellung)

XKVP[Du,B,P1,4,3]	75	XKVP[L,B,P2,4,3]	82
XKVP[Du,B,P1,4,4]	75	XKVP[L,B,P2,4,4]	82
XKVP[Du,B,P1,4,5]	75	XKVP[L,B,P2,4,5]	82
XKVP[Du,B,P2,1,2]	150	XKVP[M,B,P1,1,2]	450
XKVP[Du,B,P2,1,3]	150	XKVP[M,B,P1,1,3]	450
XKVP[Du,B,P2,1,4]	150	XKVP[M,B,P1,1,4]	450
XKVP[Du,B,P2,1,5]	150	XKVP[M,B,P1,1,5]	450
XKVP[Du,B,P2,2,2]	50	XKVP[M,B,P1,2,2]	150
XKVP[Du,B,P2,2,3]	50	XKVP[M,B,P1,2,3]	150
XKVP[Du,B,P2,2,4]	50	XKVP[M,B,P1,2,4]	150
XKVP[Du,B,P2,2,5]	50	XKVP[M,B,P1,2,5]	150
XKVP[Du,B,P2,3,2]	125	XKVP[M,B,P1,3,2]	375
XKVP[Du,B,P2,3,3]	125	XKVP[M,B,P1,3,3]	375
XKVP[Du,B,P2,3,4]	125	XKVP[M,B,P1,3,4]	375
XKVP[Du,B,P2,3,5]	125	XKVP[M,B,P1,3,5]	375
XKVP[Du,B,P2,4,2]	75	XKVP[M,B,P1,4,2]	225
XKVP[Du,B,P2,4,3]	75	XKVP[M,B,P1,4,3]	225
XKVP[Du,B,P2,4,4]	75	XKVP[M,B,P1,4,4]	225
XKVP[Du,B,P2,4,5]	75	XKVP[M,B,P1,4,5]	225
XKVP[Due,B,P1,1,2]	187	XKVP[M,B,P2,1,2]	450
XKVP[Due,B,P1,1,3]	187	XKVP[M,B,P2,1,3]	450
XKVP[Due,B,P1,1,4]	187	XKVP[M,B,P2,1,4]	450
XKVP[Due,B,P1,1,5]	187	XKVP[M,B,P2,1,5]	450
XKVP[Due,B,P1,2,2]	62	XKVP[M,B,P2,2,2]	150
XKVP[Due,B,P1,2,3]	62	XKVP[M,B,P2,2,3]	150
XKVP[Due,B,P1,2,4]	62	XKVP[M,B,P2,2,4]	150
XKVP[Due,B,P1,2,5]	62	XKVP[M,B,P2,2,5]	150
XKVP[Due,B,P1,3,2]	156	XKVP[M,B,P2,3,2]	375
XKVP[Due,B,P1,3,3]	156	XKVP[M,B,P2,3,3]	375
XKVP[Due,B,P1,3,4]	156	XKVP[M,B,P2,3,4]	375
XKVP[Due,B,P1,3,5]	156	XKVP[M,B,P2,3,5]	375
XKVP[Due,B,P1,4,2]	94	XKVP[M,B,P2,4,2]	225
XKVP[Due,B,P1,4,3]	94	XKVP[M,B,P2,4,3]	225
XKVP[Due,B,P1,4,4]	94	XKVP[M,B,P2,4,4]	225
XKVP[Due,B,P1,4,5]	94	XKVP[M,B,P2,4,5]	225
XKVP[Due,B,P2,1,2]	187	XKVP[Nu,B,P1,1,2]	157
XKVP[Due,B,P2,1,3]	187	XKVP[Nu,B,P1,1,3]	157
XKVP[Due,B,P2,1,4]	187	XKVP[Nu,B,P1,1,4]	157
XKVP[Due,B,P2,1,5]	187	XKVP[Nu,B,P1,1,5]	157
XKVP[Due,B,P2,2,2]	62	XKVP[Nu,B,P1,2,2]	52
XKVP[Due,B,P2,2,3]	62	XKVP[Nu,B,P1,2,3]	52

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 16 von 21 (Eigene Darstellung)

XKVP[Due,B,P2,2,4]	62	XKVP[Nu,B,P1,2,4]	52
XKVP[Due,B,P2,2,5]	62	XKVP[Nu,B,P1,2,5]	52
XKVP[Due,B,P2,3,2]	156	XKVP[Nu,B,P1,3,2]	131
XKVP[Due,B,P2,3,3]	156	XKVP[Nu,B,P1,3,3]	131
XKVP[Due,B,P2,3,4]	156	XKVP[Nu,B,P1,3,4]	131
XKVP[Due,B,P2,3,5]	156	XKVP[Nu,B,P1,3,5]	131
XKVP[Due,B,P2,4,2]	94	XKVP[Nu,B,P1,4,2]	79
XKVP[Due,B,P2,4,3]	94	XKVP[Nu,B,P1,4,3]	79
XKVP[Due,B,P2,4,4]	94	XKVP[Nu,B,P1,4,4]	79
XKVP[Due,B,P2,4,5]	94	XKVP[Nu,B,P1,4,5]	79
XKVP[E,B,P1,1,2]	180	XKVP[Nu,B,P2,1,2]	157
XKVP[E,B,P1,1,3]	180	XKVP[Nu,B,P2,1,3]	157
XKVP[E,B,P1,1,4]	180	XKVP[Nu,B,P2,1,4]	157
XKVP[E,B,P1,1,5]	180	XKVP[Nu,B,P2,1,5]	157
XKVP[E,B,P1,2,2]	60	XKVP[Nu,B,P2,2,2]	52
XKVP[E,B,P1,2,3]	60	XKVP[Nu,B,P2,2,3]	52
XKVP[E,B,P1,2,4]	60	XKVP[Nu,B,P2,2,4]	52
XKVP[E,B,P1,2,5]	60	XKVP[Nu,B,P2,2,5]	52
XKVP[E,B,P1,3,2]	150	XKVP[Nu,B,P2,3,2]	131
XKVP[E,B,P1,3,3]	150	XKVP[Nu,B,P2,3,3]	131
XKVP[E,B,P1,3,4]	150	XKVP[Nu,B,P2,3,4]	131
XKVP[E,B,P1,3,5]	150	XKVP[Nu,B,P2,3,5]	131
XKVP[E,B,P1,4,2]	90	XKVP[Nu,B,P2,4,2]	79
XKVP[E,B,P1,4,3]	90	XKVP[Nu,B,P2,4,3]	79
XKVP[E,B,P1,4,4]	90	XKVP[Nu,B,P2,4,4]	79
XKVP[E,B,P1,4,5]	90	XKVP[Nu,B,P2,4,5]	79
XKVP[E,B,P2,1,2]	180	XKVP[S,B,P1,1,2]	187
XKVP[E,B,P2,1,3]	180	XKVP[S,B,P1,1,3]	187
XKVP[E,B,P2,1,4]	180	XKVP[S,B,P1,1,4]	187
XKVP[E,B,P2,1,5]	180	XKVP[S,B,P1,1,5]	187
XKVP[E,B,P2,2,2]	60	XKVP[S,B,P1,2,3]	62
XKVP[E,B,P2,2,3]	60	XKVP[S,B,P1,2,4]	62
XKVP[E,B,P2,2,4]	60	XKVP[S,B,P1,2,5]	62
XKVP[E,B,P2,2,5]	60	XKVP[S,B,P1,3,2]	156
XKVP[E,B,P2,3,2]	150	XKVP[S,B,P1,3,3]	132
XKVP[E,B,P2,3,3]	150	XKVP[S,B,P1,3,4]	156
XKVP[E,B,P2,3,4]	150	XKVP[S,B,P1,3,5]	156
XKVP[E,B,P2,3,5]	150	XKVP[S,B,P1,4,2]	94
XKVP[E,B,P2,4,2]	90	XKVP[S,B,P1,4,3]	94
XKVP[E,B,P2,4,3]	90	XKVP[S,B,P1,4,4]	94
XKVP[E,B,P2,4,4]	90	XKVP[S,B,P1,4,5]	94

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 17 von 21 (Eigene Darstellung)

XKVP[E,B,P2,4,5]	90	XKVP[S,B,P2,1,2]	187
XKVP[FM,B,P1,1,2]	225	XKVP[S,B,P2,1,3]	187
XKVP[FM,B,P1,1,3]	225	XKVP[S,B,P2,1,4]	187
XKVP[FM,B,P1,1,4]	225	XKVP[S,B,P2,1,5]	187
XKVP[FM,B,P1,1,5]	225	XKVP[S,B,P2,2,2]	40
XKVP[FM,B,P1,2,2]	75	XKVP[S,B,P2,2,3]	62
XKVP[FM,B,P1,2,3]	75	XKVP[S,B,P2,2,4]	62
XKVP[FM,B,P1,2,4]	75	XKVP[S,B,P2,2,5]	62
XKVP[FM,B,P1,2,5]	75	XKVP[S,B,P2,3,2]	132
XKVP[FM,B,P1,3,2]	187	XKVP[S,B,P2,3,3]	156
XKVP[FM,B,P1,3,3]	187	XKVP[S,B,P2,3,4]	132
XKVP[FM,B,P1,3,4]	187	XKVP[S,B,P2,3,5]	132
XKVP[FM,B,P1,3,5]	187	XKVP[S,B,P2,4,2]	94
XKVP[FM,B,P1,4,2]	112	XKVP[S,B,P2,4,3]	94
XKVP[FM,B,P1,4,3]	112	XKVP[S,B,P2,4,4]	94
XKVP[FM,B,P1,4,4]	112	XKVP[S,B,P2,4,5]	94
XKVP[FM,B,P1,4,5]	112		
Transportmengen vom VSZ in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode zum Entsorgungsstandort			
XVRP[B,Dis,P1,1,2]	4333	XVRP[B,Dis,P2,1,2]	4333
XVRP[B,Dis,P1,1,3]	4333	XVRP[B,Dis,P2,1,3]	4333
XVRP[B,Dis,P1,1,4]	4333	XVRP[B,Dis,P2,1,4]	4333
XVRP[B,Dis,P1,1,5]	4333	XVRP[B,Dis,P2,1,5]	4333
XVRP[B,Dis,P1,2,2]	1380	XVRP[B,Dis,P2,2,2]	1420
XVRP[B,Dis,P1,2,3]	1442	XVRP[B,Dis,P2,2,3]	1442
XVRP[B,Dis,P1,2,4]	1442	XVRP[B,Dis,P2,2,4]	1442
XVRP[B,Dis,P1,2,5]	1442	XVRP[B,Dis,P2,2,5]	1442
XVRP[B,Dis,P1,3,2]	3612	XVRP[B,Dis,P2,3,2]	3588
XVRP[B,Dis,P1,3,3]	3588	XVRP[B,Dis,P2,3,3]	3612
XVRP[B,Dis,P1,3,4]	3612	XVRP[B,Dis,P2,3,4]	3588
XVRP[B,Dis,P1,3,5]	3612	XVRP[B,Dis,P2,3,5]	3588
XVRP[B,Dis,P1,4,2]	2166	XVRP[B,Dis,P2,4,2]	2166
XVRP[B,Dis,P1,4,3]	2166	XVRP[B,Dis,P2,4,3]	2166
XVRP[B,Dis,P1,4,4]	2166	XVRP[B,Dis,P2,4,4]	2166
XVRP[B,Dis,P1,4,5]	2166	XVRP[B,Dis,P2,4,5]	2166
Unbefriedigte Nachfrage in in mittelfristiger Periode der langfristigen Periode			
Utac[Br,P1,1,1]	1	Utac[Ha,P2,1,2]	1
Utac[Br,P1,1,2]	1	Utac[Ha,P2,1,3]	1
Utac[Br,P1,1,3]	1	Utac[Ha,P2,1,4]	1
Utac[Br,P1,1,4]	1	Utac[Ha,P2,2,1]	1
Utac[Br,P1,2,1]	1	Utac[Ha,P2,2,2]	1
Utac[Br,P1,2,2]	1	Utac[Ha,P2,2,3]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 18 von 21 (Eigene Darstellung)

Utac[Br,P1,2,3]	1	Utac[Ha,P2,2,4]	1
Utac[Br,P1,2,4]	1	Utac[K,P1,1,1]	1
Utac[Br,P2,1,1]	1	Utac[K,P1,1,2]	1
Utac[Br,P2,1,2]	1	Utac[K,P1,1,3]	1
Utac[Br,P2,1,3]	1	Utac[K,P1,1,4]	1
Utac[Br,P2,1,4]	1	Utac[K,P1,2,1]	1
Utac[Br,P2,2,1]	1	Utac[K,P1,2,2]	1
Utac[Br,P2,2,2]	1	Utac[K,P1,2,3]	1
Utac[Br,P2,2,3]	1	Utac[K,P1,2,4]	1
Utac[Br,P2,2,4]	1	Utac[K,P1,4,1]	1
Utac[Dr,P1,3,1]	1	Utac[K,P1,4,2]	1
Utac[Dr,P1,3,2]	1	Utac[K,P1,4,3]	1
Utac[Dr,P1,3,3]	1	Utac[K,P1,4,4]	1
Utac[Dr,P1,3,4]	1	Utac[K,P2,1,1]	1
Utac[Dr,P1,4,1]	1	Utac[K,P2,1,2]	1
Utac[Dr,P1,4,2]	1	Utac[K,P2,1,3]	1
Utac[Dr,P1,4,3]	1	Utac[K,P2,1,4]	1
Utac[Dr,P1,4,4]	1	Utac[K,P2,2,1]	1
Utac[Dr,P2,3,1]	1	Utac[K,P2,2,2]	1
Utac[Dr,P2,3,2]	1	Utac[K,P2,2,3]	1
Utac[Dr,P2,3,3]	1	Utac[K,P2,2,4]	1
Utac[Dr,P2,3,4]	1	Utac[K,P2,4,1]	1
Utac[Dr,P2,4,1]	1	Utac[K,P2,4,2]	1
Utac[Dr,P2,4,2]	1	Utac[K,P2,4,3]	1
Utac[Dr,P2,4,3]	1	Utac[K,P2,4,4]	1
Utac[Dr,P2,4,4]	1	Utac[L,P1,3,1]	1
Utac[Due,P1,1,1]	1	Utac[L,P1,3,2]	1
Utac[Due,P1,1,2]	1	Utac[L,P1,3,3]	1
Utac[Due,P1,1,3]	1	Utac[L,P1,3,4]	1
Utac[Due,P1,1,4]	1	Utac[L,P1,4,1]	1
Utac[Due,P1,2,1]	1	Utac[L,P1,4,2]	1
Utac[Due,P1,2,2]	1	Utac[L,P1,4,3]	1
Utac[Due,P1,2,3]	1	Utac[L,P1,4,4]	1
Utac[Due,P1,2,4]	1	Utac[L,P2,3,1]	1
Utac[Due,P2,1,1]	1	Utac[L,P2,3,2]	1
Utac[Due,P2,1,2]	1	Utac[L,P2,3,3]	1
Utac[Due,P2,1,3]	1	Utac[L,P2,3,4]	1
Utac[Due,P2,1,4]	1	Utac[L,P2,4,1]	1
Utac[Due,P2,2,1]	1	Utac[L,P2,4,2]	1
Utac[Due,P2,2,2]	1	Utac[L,P2,4,3]	1
Utac[Due,P2,2,3]	1	Utac[L,P2,4,4]	1

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 19 von 21 (Eigene Darstellung)

Utac[Duc,P2,2,4]	1	Utac[Nu,P1,1,1]	1
Utac[FM,P1,3,1]	1	Utac[Nu,P1,1,2]	1
Utac[FM,P1,3,2]	1	Utac[Nu,P1,1,3]	1
Utac[FM,P1,3,3]	1	Utac[Nu,P1,1,4]	1
Utac[FM,P1,3,4]	1	Utac[Nu,P1,2,1]	1
Utac[FM,P1,4,1]	1	Utac[Nu,P1,2,2]	1
Utac[FM,P1,4,2]	1	Utac[Nu,P1,2,3]	1
Utac[FM,P1,4,3]	1	Utac[Nu,P1,2,4]	1
Utac[FM,P1,4,4]	1	Utac[Nu,P2,1,1]	1
Utac[FM,P2,3,1]	1	Utac[Nu,P2,1,2]	1
Utac[FM,P2,3,2]	1	Utac[Nu,P2,1,3]	1
Utac[FM,P2,3,3]	1	Utac[Nu,P2,1,4]	1
Utac[FM,P2,3,4]	1	Utac[Nu,P2,2,1]	1
Utac[FM,P2,4,1]	1	Utac[Nu,P2,2,2]	1
Utac[FM,P2,4,2]	1	Utac[Nu,P2,2,3]	1
Utac[FM,P2,4,3]	1	Utac[Nu,P2,2,4]	1
Utac[FM,P2,4,4]	1	Utac[S,P1,1,1]	1
Utac[H,P1,1,1]	1	Utac[S,P1,1,2]	1
Utac[H,P1,1,2]	1	Utac[S,P1,1,3]	1
Utac[H,P1,1,3]	1	Utac[S,P1,1,4]	1
Utac[H,P1,1,4]	1	Utac[S,P1,1,5]	12
Utac[H,P1,2,1]	1	Utac[S,P1,2,1]	125
Utac[H,P1,2,2]	1	Utac[S,P1,2,2]	1
Utac[H,P1,2,3]	1	Utac[S,P1,2,3]	1
Utac[H,P1,2,4]	1	Utac[S,P1,2,4]	1
Utac[H,P2,1,1]	1	Utac[S,P1,3,1]	1
Utac[H,P2,1,2]	1	Utac[S,P1,3,2]	49
Utac[H,P2,1,3]	1	Utac[S,P1,3,3]	1
Utac[H,P2,1,4]	1	Utac[S,P1,3,4]	1
Utac[H,P2,2,1]	1	Utac[S,P1,3,5]	56
Utac[H,P2,2,2]	1	Utac[S,P2,1,1]	1
Utac[H,P2,2,3]	1	Utac[S,P2,1,2]	1
Utac[H,P2,2,4]	1	Utac[S,P2,1,3]	1
Utac[Ha,P1,1,1]	1	Utac[S,P2,1,4]	1
Utac[Ha,P1,1,2]	1	Utac[S,P2,2,1]	45
Utac[Ha,P1,1,3]	1	Utac[S,P2,2,2]	1
Utac[Ha,P1,1,4]	1	Utac[S,P2,2,3]	1
Utac[Ha,P1,2,1]	1	Utac[S,P2,2,4]	1
Utac[Ha,P1,2,2]	1	Utac[S,P2,3,1]	49
Utac[Ha,P1,2,3]	1	Utac[S,P2,3,2]	1
Utac[Ha,P1,2,4]	1	Utac[S,P2,3,3]	49
Utac[Ha,P2,1,1]	1	Utac[S,P2,3,4]	49

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 20 von 21 (Eigene Darstellung)

Unbefriedigte Nachfrage der langfristigen Periode			
U[Br,P1,1]	2	U[Ha,P1,2]	2
U[Br,P1,2]	2	U[Ha,P1,3]	2
U[Br,P1,3]	2	U[Ha,P1,4]	2
U[Br,P1,4]	2	U[Ha,P2,1]	2
U[Br,P2,1]	2	U[Ha,P2,2]	2
U[Br,P2,2]	2	U[Ha,P2,3]	2
U[Br,P2,3]	2	U[Ha,P2,4]	2
U[Br,P2,4]	2	U[K,P1,1]	3
U[Dr,P1,1]	2	U[K,P1,2]	3
U[Dr,P1,2]	2	U[K,P1,3]	3
U[Dr,P1,3]	2	U[K,P1,4]	3
U[Dr,P1,4]	2	U[K,P2,1]	3
U[Dr,P2,1]	2	U[K,P2,2]	3
U[Dr,P2,2]	2	U[K,P2,3]	3
U[Dr,P2,3]	2	U[K,P2,4]	3
U[Dr,P2,4]	2	U[L,P1,1]	2
U[Due,P1,1]	2	U[L,P1,2]	2
U[Due,P1,2]	2	U[L,P1,3]	2
U[Due,P1,3]	2	U[L,P1,4]	2
U[Due,P1,4]	2	U[L,P2,1]	2
U[Due,P2,1]	2	U[L,P2,2]	2
U[Due,P2,2]	2	U[L,P2,3]	2
U[Due,P2,3]	2	U[L,P2,4]	2
U[Due,P2,4]	2	U[Nu,P1,1]	2
U[FM,P1,1]	2	U[Nu,P1,2]	2
U[FM,P1,2]	2	U[Nu,P1,3]	2
U[FM,P1,3]	2	U[Nu,P1,4]	2
U[FM,P1,4]	2	U[Nu,P2,1]	2
U[FM,P2,1]	2	U[Nu,P2,2]	2
U[FM,P2,2]	2	U[Nu,P2,3]	2
U[FM,P2,3]	2	U[Nu,P2,4]	2
U[FM,P2,4]	2	U[S,P1,1]	127
U[H,P1,1]	2	U[S,P1,2]	51
U[H,P1,2]	2	U[S,P1,3]	3
U[H,P1,3]	2	U[S,P1,4]	3
U[H,P1,4]	2	U[S,P1,5]	68
U[H,P2,1]	2	U[S,P2,1]	95
U[H,P2,2]	2	U[S,P2,2]	3
U[H,P2,3]	2	U[S,P2,3]	51
U[H,P2,4]	2	U[S,P2,4]	51
U[Ha,P1,1]	2		

Gesamtkosten und Werte des FLCAPPTR2-Modells für saisonal schwankende Nachfrage unter $c_{kp}^U = 100$ GE, $\forall k \in K, p \in P$, Seite 21 von 21 (Eigene Darstellung)