



Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken

Dargestellt am Beispiel der Windenergiebranche

Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken

Dargestellt am Beispiel der Windenergiebranche

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Bernd-Paul Koschate

aus

Damme

2020

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Kersten
Institut für Logistik und Unternehmensführung
Technische Universität Hamburg

2. Gutachter: Prof. Dr. Ing. Carlos Jahn
Institut für Maritime Logistik
Technische Universität Hamburg

Tag der mündlichen Prüfung: 19.März 2019

Was lange währt, wird endlich gut.

Mein herzlicher Dank gilt:

Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Kersten

Dr. Stefan Wolff

Meiner Familie

Zusammenfassung

Aktuelle Methoden befassen sich primär mit der Gestaltung dauerhafter Wertschöpfungsnetzwerke. Die historische Entwicklung zeigt jedoch einen Wandel hin zu projektbezogenen Kooperationen in temporären Produktionsnetzwerken auf, zum Beispiel in der Windenergiebranche. Die Windenergieanlagenhersteller sehen sich in einem Umfeld zunehmenden Wettbewerbs mit der Situation konfrontiert, die Durchlaufzeit zur Errichtung ihrer Windparks verkürzen und dabei gleichzeitig Kosten reduzieren zu müssen. Diese Faktoren treiben die Notwendigkeit von Prozessen zur Optimierung der Auftragszuordnung von Großkomponentenlieferanten zu Windparks. Dabei muss das Supply Chain Risikomanagement für eine nachhaltige Gesamtkostenminimierung integriert werden.

Als theoretische Grundlagen für die genannten Anforderungen wurden das Risikomanagement und das Produktions- und Supply Chain Management in Produktionsnetzwerken identifiziert. Das Risikomanagement bietet einen Prozess zur Identifizierung, Bewertung und Steuerung von Risiken. Modelle aus der Ablaufplanung im Rahmen des Produktionsmanagements legen die Grundlagen für die mathematische Zuordnungsoptimierung. Das Supply Chain Management als evolutionäre Weiterentwicklung des Produktionsmanagements bietet neben den Total Landed Cost die methodischen Grundlagen, um diese Netzwerke optimal zu gestalten.

Bei der Untersuchung des Stands der Forschung in diesem Bereich wurde festgestellt, dass der Fokus auf dauerhaften Wertschöpfungsnetzwerken mit weitgehend standardisierten Transportketten liegt. Für den erforderlichen Reifegrad des Risikomanagements, den geringen Standardisierungsgrad der Logistik in der Windenergiebranche, sowie für den Projektcharakter der implizierten Belieferungsnetzwerke, kann keine adäquate Lösung in den untersuchten Forschungsarbeiten identifiziert werden.

Aus diesem Grund wird eine Methode entwickelt, die unter Anwendung von Elementen der Total Landed Cost und des Supply Chain Management in den drei Ebenen Bewertung, Planung und Optimierung eine nachhaltige Minimierung der Gesamtkosten aus Komponenten-, Logistik- und Risikokosten ermöglicht. Im Bereich Bewertung wird eine Datenbasis für die spätere Optimierung der Auftragszuordnung in den strategischen Projektnetzwerken geschaffen. Die mittlere Ebene Planung definiert einerseits den Prozess für die Bewertung und Optimierung. Andererseits ist darin ein auf die Bedürfnisse der Windenergiebranche zugeschnittener Supply Chain Design Prozess enthalten.

In einer Fallstudie wird die entwickelte Methodik evaluiert und das enthaltene Optimierungsmodell validiert. Mit dem Gelingen der Bewertung und Optimierung der Komponenten-, Logistik- und Risikokosten im Rahmen einer schlanken Planung können die forschungsleitenden Hypothesen zusammenfassend verifiziert werden.

Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken – Dargestellt am Beispiel der Windenergiebranche

I. Inhalt

Zusammenfassung	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit	7
2 Theoretische Grundlagen des Risiko-, Produktions- und Supply Chain Managements.....	9
2.1 Risiko und Risikomanagement.....	9
2.1.1 Risiko	9
2.1.2 Risikomanagement	13
2.1.2.1 Risikomanagementprozess.....	15
2.1.2.2 Strategien zur Risikosteuerung.....	19
2.2 Produktions- und Supply Chain Management in Produktionsnetzwerken	22
2.2.1 Entwicklungslinien vom Produktions- zum Supply Chain Management	22
2.2.2 Produktionsmanagement	25
2.2.3 Produktionsplanung und -steuerung	27
2.2.4 Ablaufplanung und -optimierung anhand quantitativer Methoden	32
2.2.4.1 Ablaufplanung und Supply Chain Scheduling.....	33
2.2.4.2 Quantitative Methoden des Operations Research	34
2.2.4.3 Aspekte und Kriterien zur Methoden- und Modellevaluierung.....	36
2.2.5 Supply Chain Management.....	38
2.2.6 Supply Chain Risiko	41
2.2.7 Supply Chain Risikomanagement	43
2.2.7.1 Bewertung und Prognose von Risikokosten in der Supply Chain	45

2.2.7.2	Beispielhafte Maßnahmen zur Steuerung von Supply Chain Risiken	50
2.2.8	Merkmale zur Kategorisierung von Produktionsnetzwerken	51
2.2.8.1	Netzwerk definierende Merkmale und ihre Ausprägungen	52
2.2.8.2	Relevante Produktionsnetzwerkvarianten.....	55
3	Produktionsnetzwerke in der Windenergiebranche	58
3.1	Die Windenergiebranche.....	58
3.2	Die Supply Chain in der Windenergiebranche.....	60
3.3	Produktionsnetzwerke in der Windenergiebranche	65
4	Stand der Forschung zu ‚Total Cost‘ Modellen	71
4.1	Modelle zur Lieferantenauswahl.....	71
4.2	Abgrenzung verschiedener kostenbasierter Modelle	72
4.2.1	Total Cost of Ownership.....	73
4.2.2	Total Landed Cost.....	74
4.2.3	Life Cycle Costing	78
4.3	Zusammenfassung und Ableiten des bevorzugten Modells	78
4.4	Bestimmung der Anforderungskriterien.....	81
4.5	Analyse von Fallstudien im Bereich TLC und TCO	83
4.6	Ableiten des Forschungsbedarfs.....	89
5	Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken	94
5.1	Methodische Grundlagen	94
5.2	Entwicklung der Methodik	95
5.2.1	TLC Bewertung	96
5.2.1.1	Komponentenkosten.....	96
5.2.1.2	Logistikkosten	98
5.2.1.3	Risikokosten	101
5.2.2	TLC Planung.....	110
5.2.2.1	Supply Chain Design	110

5.2.2.2	Supply Chain Planning	114
5.2.2.3	TLC Berechnung.....	116
5.2.3	TLC Optimierung.....	118
5.2.3.1	Supply Chain Scheduling.....	118
5.2.3.2	Supply Chain Operations und Supply Chain Monitoring	123
6	Evaluierung der Methode anhand einer Fallstudie in der Windenergiebranche.....	126
6.1	Ist-Situation	126
6.2	Modellaufbau und formale Validierung.....	128
6.2.1	Bewertung der Kostenbestandteile	129
6.2.2	Kalibrieren der Risikokosten	131
6.3	Optimierung.....	134
6.3.1	Optimierte Auftragszuordnung bei unveränderter Kapazität	134
6.3.2	Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität I.....	136
6.3.3	Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität II.....	138
6.4	Zusammenfassung der Optimierungsergebnisse.....	140
6.5	Bewertung und Validierung der Risikokosten.....	142
6.6	Anwendbarkeit der Methode in alternativen Bereichen	146
6.7	Evaluierung der Methode und der enthaltenen Modelle.....	147
7	Schlussbetrachtung	150
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	150
7.2	Limitationen der Untersuchung und weiterer Forschungsbedarf	153
8	Literaturverzeichnis	156
9	Anhang	172
9.1	Applikation zur Bewertung und Analyse von Auftragszuordnungskonstellation	172
9.1.1	Definition der Projektkonfiguration	172
9.1.2	Definition und Bewertung der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen	173
9.1.3	Auswertung der Auftragszuordnungskonstellationen	174

9.2	Das mathematische Supply Chain Scheduling Modell	175
9.2.1	Optimierungsmodell im OpenSolver	175
9.2.2	Datenstruktur des Optimierungsmodells	176
9.3	Aufbereitete Ergebnismatrizen der Optimierungsszenarien	179
9.3.1	Supply Chain Scheduling bei unveränderter Kapazität	179
9.3.2	Supply Chain Scheduling bei angepasster Kapazität I.....	180
9.3.3	Supply Chain Scheduling bei angepasster Kapazität II.....	181

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit.....	8
Abbildung 2: Risikodefinitionen in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen	10
Abbildung 3: Zielgrößen und Maßstäbe der Management-Dimensionen.....	14
Abbildung 4: Risikomanagementprozess	16
Abbildung 5: Risikosteuerungsstrategien	19
Abbildung 6: Ablauf der Produktionsprogrammplanung	29
Abbildung 7: Ablauf der Produktionsbedarfsplanung.....	30
Abbildung 8: Möglichkeiten der Kapazitätsabstimmung	32
Abbildung 9: Relevante Bewertungsaspekte und -kriterien im Bereich von Forschung und Entwicklung	36
Abbildung 10: Strukturierung von Risikoquellen in der Supply Chain	42
Abbildung 11: Typische Zeitreihenverläufe.....	46
Abbildung 12: Historischer Wandel des Fokus der Betriebsorganisation	52
Abbildung 13: Morphologisches Merkmalsschema für Produktionsnetzwerke	54
Abbildung 14: Zuwachsraten und installierte Kapazität nach Markt.....	59
Abbildung 15: Globaler Marktanteil von einer Auswahl der wichtigsten Hersteller	60
Abbildung 16: Fertigungstiefe ausgewählter Hersteller	62
Abbildung 17: Anzahl und Kapazitäten der Turmlieferanten in Europa je Land in 2011	63
Abbildung 18: Supply Chain und Sourcing-Strategie von Kernkomponenten.....	65
Abbildung 19: Strategische Netzwerke in der Automobil- und Windenergiebranche.....	66
Abbildung 20: Verschiedene Netzwerkkonstellationen in der Windparkbelieferung	67
Abbildung 21: Das Windparkbelieferungsnetzwerk im Vergleich zu den Ausprägungen des strategischen und des Projektnetzwerks.....	69
Abbildung 22: Einordnung von Modellen zur Lieferantenauswahl	71

Abbildung 23: TLC Kostenkategorien und -Bestandteile verschiedener Autoren	76
Abbildung 24: Die erweiterten Total Landed Cost mit Komponenten-, Logistik- und Risikokosten.....	77
Abbildung 25: Lieferantenauswahlmodelle entlang der TCO Transaktionsphasen.....	79
Abbildung 26: Matrix zum Forschungsbedarf aus Netzwerkbeständigkeit, Logistikstandardisierung, Reifegrad Risikomanagement und Mathematischer Optimierung	92
Abbildung 27: Methodischer Ansatz zur Gesamtkostenminimierung und Risikolimitierung.....	96
Abbildung 28: Hauptbestandteile der Komponentenkosten	97
Abbildung 29: Art und Abschnitt der Schwertransportkette	98
Abbildung 30: Bestandteile der Logistikkostendatenbank	100
Abbildung 31: Quellen von Risiken in der Windparkbelieferung und ihre Integration in die Total Landed Cost	104
Abbildung 32: Verhalten der verschiedenen Prognoseverfahren nach Auftreten von Risikoereignissen	106
Abbildung 33: Absolute und summierte gemittelte absolute Prognosefehler	109
Abbildung 34: Bedarfsprognosen je Absatzregion als Kombination aus eigener Marktperformance und allgemeiner Markterwartung.....	112
Abbildung 35: Kernbelieferungszonen zur Kontingentierung der Lieferanten als Bestandteile des Supply Chain Design	113
Abbildung 36: Rollierender Planungshorizont des Supply Chain Planning	116
Abbildung 37: Systematik zur A-, B- und C-Preis Bewertung eines Projektes.....	117
Abbildung 38: Ausgabe des Optimierungsergebnisses als Formalisierung des Supply Chain Scheduling und Handlungsanweisung für die Supply Chain Operations	124
Abbildung 39: Ist-Auslastung mit Ist-Regionen vs. Auslastung bei Zuordnung per Soll-Regionen	125
Abbildung 40: Ist-Situation.....	127

Abbildung 41: Gegenüberstellung von Ist- und Plan-Logistikkosten.....	130
Abbildung 42: Beispiele aus der Fallstudien-Stichprobe (Ist-Situation) für die Projektbewertung exklusive und inklusive Risikokosten	132
Abbildung 43: Optimierte Auftragszuordnung bei unveränderter Kapazität	135
Abbildung 44: Kapazitäten und Bedarfe je Kernbelieferungszone	136
Abbildung 45: Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität I.....	138
Abbildung 46: Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität II.....	139
Abbildung 47: Logistikkosteneffekte nach Szenarien und Risikokostenkalibrierung	140
Abbildung 48: Gesamtkosteneffekte nach Szenarien und Risikokostenkalibrierung	141
Abbildung 49: Verlauf der Risikokosten und ihrer Prognose je Anlage verschiedener Lieferanten.....	143
Abbildung 50: Kostendifferenz aus Logistik- und Komponentenkosten zwischen der günstigsten und zweitgünstigsten Auftragszuordnungskonstellation	145
Abbildung 51: Evaluierung der Methode anhand definierter Bewertungsaspekte und -kriterien	148
Abbildung 52: VBA-Applikation zur Definition der Projektkonfiguration	172
Abbildung 53: VBA-Applikation zur Definition der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen und Berechnung der Komponenten- und Logistikkosten.....	174
Abbildung 54: VBA-Applikation zur Auswertung der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen	175
Abbildung 55: Optimierungsmodell im OpenSolver zur Anwendung in Microsoft Excel	175
Abbildung 56: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (1/3).....	176
Abbildung 57: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (2/3).....	177
Abbildung 58: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (3/3).....	178

Abbildung 59: Ergebnismatrix des Optimierungsmodells bei unveränderter Kapazität.....	179
Abbildung 60: Ergebnismatrix des Optimierungsmodells bei angepasster Kapazität I.....	180
Abbildung 61: Ergebnismatrix des Optimierungsmodells bei angepasster Kapazität II.....	181

Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced Planning and Scheduling
bzw.	beziehungsweise
ERP	Enterprise Resource Planning
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
Geringtlg.	Geringteilig
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
LCC	Life Cycle Costing
Mehrtlg.	Mehrteilig
MRP	Material Requirement Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RPK	Risiko-Prioritätskennzahl
SCM	Supply Chain Management
TCO	Total Cost of Ownership
TLC	Total Landed Cost
TMI	Transition, Migration and Implementation
VBA	Visual Basic for Applications
WEA	Windenergieanlage

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Bereits 1974 wurde von Ashby (1974, S. 299) darauf aufmerksam gemacht, dass Unternehmen auf ihre komplexer werdende Umwelt reagieren müssen. Als Treiber dieser Entwicklung gelten bis heute die zunehmende Individualisierung von Produkten und Diensten im Zuge einer gesteigerten Kundenorientierung, die Intensivierung des globalisierten Wettbewerbs, sowie Technologien, die Innovations- und Produktlebenszyklen verkürzen. Neben einer gesteigerten Vielfalt resultiert daraus auch eine erhöhte Dynamik, mit der Unternehmen konfrontiert sind (vgl. Kersten et al. 2006b, S. 325 ff.; Nedeß et al. 2006, S. 29; Meyer 2007, S. 1). Als Reaktion erfolgt häufig eine Konzentration auf die eigenen Kernkompetenzen, welche wiederum eine Intensivierung der Verflechtungen in Wertschöpfungsnetzwerken und somit stetig wachsende Lieferketten und Transportnetzwerke zur Folge haben (vgl. Eberlein / Rettig 2006, S. 98).

Aktuelle Methoden in Wissenschaft und Praxis befassen sich insbesondere mit der Gestaltung, Steuerung und Überwachung dauerhafter Wertschöpfungsnetzwerke, wie sie beispielsweise im Bereich der Automobil- oder Konsumgüterindustrie üblich sind (vgl. Meyer / Walber / Schmidt 2006, S. 512). Meyer, Walber und Schmidt (2006, S. 512) erkennen ausgehend von einer Analyse der historischen Entwicklung von Wertschöpfungsstrukturen jedoch einen Wandel des Fokus der Betriebsorganisation hin zu projektbezogenen Kooperationen in temporären Produktionsnetzwerken des Maschinen- und Anlagenbaus. Unternehmen, die langfristig erfolgreich sein wollen, müssen die Fähigkeit haben, qualitativ hochwertige und diversifizierte Produkte bei niedrigen Kosten zu produzieren und dem Kunden in kurzer Zeit zur Verfügung zu stellen. Das gilt auch und gerade für Unternehmen, die mit der im Vergleich zu strategischen Netzwerken nochmals gesteigerten Dynamik von Projektnetzwerken umgehen müssen. Ein prägnantes Beispiel dafür ist die Windenergiebranche.

Nach Jahren des Nachfrageüberhangs hat der Wettbewerb in der Windenergiebranche spätestens in der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 Einzug gehalten (vgl. Kersten / Hohrath / Scholl 2010, S. 40 f.). Im Fokus steht im Zuge ausufernder Kosten für die Förderung erneuerbarer Energien die Reduzierung der Kosten pro Megawatt Anlagenleistung (vgl. Sorge 2009, S. 1). Ein Stellhebel dazu liegt im Design der Anlagen, ein anderer in einer effizienten Logistik. Dazu sind bei der Beschaffung von Komponenten

für einen Windpark Modul- und Transportkosten genau auszutarieren (vgl. Bottler 2011, S. 33).

War das singuläre Unterscheidungskriterium in den Gründerjahren die Anlagenzuverlässigkeit, ist in Zeiten verschärften Wettbewerbs die Durchlaufzeit von Beauftragung bis Errichtung und Inbetriebnahme von Windenergieanlagen zu einer maßgeblichen Größe bei der Wahl des Herstellers geworden. Trotz häufig langwieriger Vertriebsprozesse und selbst bei weitgehender Sicherheit über die Beauftragung können weitergehende Prozesse in der Regel erst nach verbindlichem Auftrag erfolgen. Hintergrund ist, dass eine Lagerfertigung aufgrund des hohen Kapitaleinsatzes bei einer stark kundenspezifischen Variantenfertigung zu risikoreich wäre, da sie zu hohen Umrüstkosten oder sogar zu Obsoletkosten führen kann. Ausgehend von den gestiegenen Absatzrisiken sind die Anlagenhersteller somit vor die Herausforderung gestellt, den Trade-off zwischen kurzfristiger Projektrealisierung unter längerfristigen Bestellzeiten von Großkomponenten wie Blatt und Turm zu lösen.

Der Verbau und die Montage der Großkomponenten erfolgt direkt am Errichtungsstandort eines Windparks. Das Versorgungsnetzwerk spannt sich mit der ersten Belieferung des Projektes auf und endet nach kurzer Frist mit der Errichtung der letzten Anlage. Mit Ausnahme der Gondel, die von allen Herstellern an zentralen Produktionsstandorten montiert wird, stehen den meisten Herstellern für jedes Projekt verschiedene Lieferanten als potentielle Quellen des Netzwerks zur Verfügung. Die Windparkstandorte, als Senken des Netzwerkes, liegen zum Teil in schwer zugänglichen Regionen. Die Kontinuität liegt somit in der Unbeständigkeit der intermodalen Schwertransportketten.

In diesem dynamischen und komplexen Umfeld gerät eine manuelle Auftragszuordnung schnell an ihre Grenzen. Es bedarf gezielter Unterstützung, um diese Planungsaufgabe in kurzer Zeit optimal zu lösen und dabei die vielfältigen Restriktionen zu berücksichtigen. Dazu zählen die vertrags- oder auch wetterbedingten Fertigstellungstermine der Windparks, die Lieferfähigkeit und das teils eingeschränkte Variantenspektrum der Lieferanten.

Auch die Bewertung der direkten und indirekten Kosten von Beschaffung und Logistik verschiedener Lieferszenarien stellt die Anlagenhersteller vor nicht triviale Herausforderungen. Die zunehmende Internationalisierung der Lieferkette erschwert neben der inhomogenen Rechtslage auch und gerade in Europa die Bewertung der Logistikkosten

beim Schwertransport von Großkomponenten, bei dem hoch spezialisierte Dienstleister und Equipment zum Einsatz kommen (vgl. Kersten / Hohrath / Scholl 2010, S. 41 ff.). Kostenvergleiche haben darüber hinaus gezeigt, dass für vergleichbare logistische Dienstleistungen europaweit, aber auch innerhalb einer Region oder eines Projekts, zum Teil signifikante Preisdifferenzen vorliegen. Die Information über Preise im jeweiligen Abschnitt der Transportkette in verschiedenen Regionen Europas liegt zudem verteilt in dezentralen und regionalen Organisationbereichen der Unternehmen in der Windenergiebranche vor. Das bestehende Projektcontrolling umfasst häufig nur die Kosten pro Modul einer Windenergieanlage, nicht jedoch den Abschnitt der Transportkette oder die Referenz von Modul zu Abschnitt der Transportkette.

Zu den genannten Herausforderungen gesellte sich in den ersten Jahren nach der Finanzkrise zudem ein Selbstverständnis der Windenergiebranche, das noch deutlich von den zurückliegenden Gründer- und Boomjahren bestimmt war. In diesem Selbstverständnis waren Kosten zweitrangig, die Lieferfähigkeit war das ausschlaggebende Kriterium. Dazu zählt die Auftragsvergabe basierend auf persönlichen Erfahrungen und Sympathie für spezifische Lieferanten bei einer häufig verzerrten Risikoeinschätzung. Die Vernachlässigung einer objektivierten Risikobewertung kann jedoch schwerwiegende Folgen für die Qualität der Komponenten, die Pünktlichkeit und Kosten der Errichtung und schließlich die vertragskonforme Inbetriebnahme und Übergabe ganzer Windparks nach sich ziehen. Diesem Umstand muss mit einem leistungsfähigen Risikomanagement begegnet werden, welches aufgrund der geringen Reife der Windenergiebranche im Supply Chain Risikomanagement (vgl. Kersten / Hohrath / Scholl 2010, S. 45) zunächst entwickelt werden muss.

All diese Faktoren, der zunehmende Wettbewerb, der Druck auf die Durchlaufzeit von Beauftragung bis Errichtung, die Komplexität der Planungsaufgabe und die besonderen Anforderungen bei der Kostenbewertung getrieben durch die Einmaligkeit jedes Windparkbelieferungsnetzwerks, und nicht zuletzt das Selbstverständnis mit einer subjektiv geprägten Risikobewertung sind Fragen, auf die die Windenergiebranche Antworten finden muss. Denn in einem Markt mit sinkenden Margen können Windparks nicht mehr um jeden Preis errichtet werden (vgl. Kersten / Hohrath / Scholl 2010, S. 41).

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der vorab hergeleiteten Ausgangssituation lässt sich die Forschungsfrage für diese Arbeit formulieren:

Wie können die Kosten verschiedener Auftragszuordnungsvarianten bewertet und über die Summe aller Aufträge optimale Auftragszuordnungen bestimmt und realisiert werden?

Ausgehend von dieser Forschungsfrage liegt das übergeordnete Ziel dieser Arbeit in der Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter der Berücksichtigung von Risiken. Die Methode soll dabei die spezifischen Anforderungen aus den strategischen Projektnetzwerken zur Windparkbelieferung in der Windenergiebranche in Europa berücksichtigen.

Auf dieser Hauptzielsetzung basierend ergeben sich die nachfolgenden Teilziele (TZ):

- TZ1) Entwicklung eines Vorgehens zur Prognose der potentiellen Komponentenkosten je Lieferant.
- TZ2) Entwicklung einer Systematik zur Bewertung der potentiellen Logistikkosten zur Belieferung jedes Windparks durch jeden Lieferanten.
- TZ3) Entwicklung eines statistischen Instruments basierend auf kleinen Stichproben zur Prognose von lieferantenspezifischen Risikokosten.
- TZ4) Entwicklung einer mathematischen Optimierung zur Minimierung der Gesamtkosten bei der Zuordnung von Turmlieferanten zu Windparks.
- TZ5) Entwicklung eines Planungsprozesses, der die Häufigkeit, Abfolge und Kompetenz zur Auswahl, Bewertung, Optimierung und Entscheidung der Zuordnung von Lieferanten zu Windparks definiert.
- TZ6) Entwicklung eines auf die Bedürfnisse in der Windenergiebranche zugeschnittenen Supply Chain Design Prozesses.

Die Entwicklung eines Vorgehens zur Prognose der potentiellen Komponentenkosten je Lieferant als erstes Teilziel ist aus zwei Gründen relevant: Der Materialpreis als signifikanter Bestandteil der Komponente Turm unterliegt teils deutlichen Marktschwankungen. Das beeinflusst dessen Relevanz an den Gesamtkosten und verändert Netzwerkstrukturen. Gleiches gilt für die Wertschöpfungskosten, die zwar weniger volatil, jedoch über die Zeit und vor allem geographisch stark variieren können.

Das zweite Teilziel dieser Arbeit liegt in der Entwicklung einer Systematik zur Bewertung potentieller Logistikkosten, die bei der Lieferung von Großkomponenten an einen

Windpark entstehen. Wie in der Ausgangssituation geschildert, ist das keine triviale Aufgabe, weil es sich um multimodale Schwertransportketten handelt, die auf stets abweichenden Routen zwischen den steten Quellen der Lieferanten und den unsteten Senken der Windparks in zum Teil abgelegene Regionen verlaufen. Um für die Optimierung eine umfassende Datenbasis zu schaffen, muss eine Bewertung von jedem Lieferanten zu jedem Windpark erfolgen. Um den dabei entstehenden Bewertungsaufwand in Grenzen zu halten, bedarf es eines Werkzeugs, das die Bewertung, abgesehen von der Eingabe weniger Stammdaten zum Windpark und dem Typ der Windenergieanlagen, weitgehend automatisiert.

Die Entwicklung eines statistischen Instruments zur Prognose von Risikokosten ist das dritte Teilziel dieser Arbeit. Dazu wird zunächst definiert, was Risikokosten sind, in wessen Verantwortung sie liegen und wie sie zu messen sind. Der zweite Teil der Aufgabe besteht darin, basierend auf den kleinen Stichproben in der Windenergiebranche, ein geeignetes statistisches Vorgehen zu entwickeln, das die Prognose von lieferantenspezifischen Risikokosten ermöglicht. Dieses Instrument ist ein zentraler Bestandteil der Methode, da die Zuverlässigkeit der Prozesse und die Qualität der Produkte eines Lieferanten anhand monetärer Einheiten messbar gemacht werden und Auftragszuordnungen so objektiv nachvollziehbar anhand der günstigsten Gesamtkosten getroffen werden können.

Das vierte Teilziel bezieht sich auf die Dynamik und Komplexität in der Auftragszuordnung, das heißt auf die Zuordnung von Lieferant und Windpark. Die Dynamik liegt begründet in der Notwendigkeit auch solche Windparks in die Beschaffungsplanung mit aufzunehmen, die nicht beauftragt sind, um im Falle des Zuschlags kurzfristig lieferfähig zu sein. Die Komplexität ergibt sich aus der Notwendigkeit, jede Konstellation von Lieferant und Windpark zu bewerten und unter Berücksichtigung und Einhaltung aller in der Einleitung genannten Restriktionen, optimal zu lösen. Dieses Ziel wäre manuell nur unter hohen Aufwänden zu erreichen. Deshalb wird ein mathematisches Optimierungsmodell entwickelt, das, gespeist mit den Gesamtkostenwerten und den Parametern der einzelnen Restriktionen, eine Zielfunktion zur Minimierung der Gesamtkosten bei der Zuordnung von Turmlieferanten zu Windparks optimiert.

Die Entwicklung eines die Teilziele eins bis vier umklammernden Planungsprozesses ist Inhalt des Teilziels Nummer fünf. Darin wird die Frequenz festgelegt, in der die relevanten Windparkprojekte ausgewählt, bewertet und die Gesamtkosten optimiert werden sollen.

Darüber hinaus wird definiert, wer zu welchem Zeitpunkt die Zuordnungsentscheidung vorbereiten, treffen und somit implizit eine Bestellfreigabe an die ausführenden Organe der Organisation geben soll.

Abschließend wird in Teilziel sechs, über die Bewertung und Optimierung der Zuordnung hinaus, ein Prozess zur Verortung und Kapazitierung der Lieferanten als Bestandteil des Supply Chain Design in der Windenergiebranche entwickelt. Dieses Teilziel steht gewissermaßen neben oder über den vorab genannten Teilzielen. Das liegt begründet in der Projektnetzwerkstruktur der Windenergiebranche mit seinen unstillen Senken. Darin kann eine Optimierung der Zuordnung von Turmlieferanten zu Windparkstandorten zwar Kosten reduzieren, wenn in Regionen mit starkem Bedarf aber keine, oder nicht ausreichend große Lieferantenstandorte vorhanden sind, bleiben die strukturellen Kosten aufgrund langer Transportwege aber bestehen. Hier soll das Supply Chain Design ansetzen, indem Angebot und Nachfrage bzw. Quellen und Senken im Netzwerk geographisch einander näher gebracht werden.

Um bei der Beantwortung der Forschungsfrage dem Anspruch der wissenschaftlichen Forschung gerecht zu werden und den Erfolg der Methodenentwicklung bewerten zu können, bedarf es forschungsleitender Hypothesen, die einen Abgleich zwischen erwarteten und tatsächlich erzielten Ergebnissen am Ende dieser Arbeit erlauben:

- H1) Die Auftragszuordnung kann basierend auf der strukturierten Bewertung der Komponenten-, Logistik- und Risikokosten optimiert werden.
- H2) Ein standardisierter Prozess ermöglicht die Durchführung der Bewertung und Optimierung mit geringem Aufwand.
- H3) Die Optimierung der Auftragszuordnung reduziert die Logistikkosten um bis zu 20% und steigert die Marge der anwendenden absatzseitig dominierenden Unternehmen in strategischen Projektnetzwerken.

Die erste Hypothese zielt mit der Nennung der Komponenten-, Logistik- und Risikokosten auf die Konkretisierung der Bestandteile der Gesamtkosten. Ebenso verhält es sich mit den betrachteten Netzwerken, bei denen es sich um strategische Projektnetzwerke handelt.

Die zweite Hypothese fordert einen geringen Aufwand in der Anwendung, um einerseits Zusatzkosten soweit möglich zu vermeiden und andererseits die Hürden der Nutzung möglichst gering zu halten.

In der dritten Hypothese werden mit den Logistikkosten das primäre Kriterium und das angestrebte quantitative Ergebnis detailliert, anhand dessen die Verbesserung der Auftragszuordnung bewertet werden soll. Da eine Reduzierung der Logistikkosten allein noch keinen direkten Schluss in Bezug auf die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit erlaubt, wird die Hypothese qualitativ um eine gesteigerte Marge anwendender Unternehmen ergänzt. Mit dieser Kennziffer kann der Effekt auf die Wettbewerbsfähigkeit gemessen und damit der wirtschaftliche Nutzen der Methode beziffert werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Um die Beantwortung der Forschungsfrage mit den begleitenden Hypothesen zu erarbeiten und die entsprechend gewählten Ziele zu erreichen, wird der Aufbau der Arbeit gemäß *Abbildung 1* in sieben Kapitel gegliedert.

Im Anschluss an das einleitende erste Kapitel werden im Kapitel 2 die Grundlagen des Risiko-, Produktions- und Supply Chain Management dargestellt und begrifflich abgegrenzt. In Kapitel 3 wird mit Windparkbelieferungsnetzwerken ein praktisches Beispiel für strategische Projektnetzwerke vorgestellt. Kapitel 4 widmet sich dem Stand der Forschung zu Total Landed Cost Modellen und dient zur Identifizierung und Bestätigung des Forschungsbedarfs. Gemeinsam mit Kapitel 2 und 3 schafft es somit die Ausgangssituation und definiert die Grundlagen für die Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken in Kapitel 5. Die Evaluierung der Methode sowie die Analyse der qualitativen und quantitativen Ergebnisse erfolgt in Kapitel 6 anhand einer Fallstudie in der Windenergiebranche. In der Schlussbetrachtung in Kapitel 7 werden die Resultate der Arbeit zusammengefasst und in einem Ausblick der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt.



Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

Quelle: Eigene Darstellung

2 Theoretische Grundlagen des Risiko-, Produktions- und Supply Chain Managements

In den nachfolgenden Abschnitten werden die zum Verständnis der Arbeit notwendigen theoretischen Grundlagen des Risiko-, Produktions- und Supply Chain Managements dargestellt. Außerdem werden die für diese Arbeit notwendigen Begriffe definiert und voneinander abgegrenzt. Diese Grundlagen dienen als Ausgangspunkt zur Identifikation des Forschungsbedarfs und als Leitlinien für die nachfolgende Methodenentwicklung.

2.1 Risiko und Risikomanagement

Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst der Begriff des Risikos in Bezug auf diese Arbeit definiert und im Anschluss das in der wissenschaftlichen Literatur vorherrschende Vorgehen zum Risikomanagement vorgestellt. Um die theoretische Vorbetrachtung dem Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit anzupassen, werden Risiko und Risikomanagement in Bezug zur Supply Chain betrachtet. Auch der Quantifizierung und Prognose von Risiken in der Supply Chain wird ein Abschnitt gewidmet. Dies erfolgt jedoch im weiteren Verlauf im Abschnitt zum Supply Chain Management.

2.1.1 Risiko

Der Risikobegriff findet seine erstmalige schriftliche Erwähnung in den genuesischen Versicherungsverträgen von 1319, welche zur Risikobewältigung des Seetransports von Handelsgütern abgeschlossen wurden. Er ist in seiner ursprünglichen Form also eng mit unternehmerischem Gedankengut verknüpft (vgl. Peter 2001, S. 20 f.) und im logistischen Kontext angesiedelt.

Die heutige Risikoforschung ist unterdessen weitaus diversifizierter und definiert den Begriff des Risikos im Kontext der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplin. Daher gibt es keinen allgemeingültigen Risikobegriff, eine Definition ist, abhängig vom Untersuchungsgegenstand, zweckmäßig abzugrenzen (vgl. Kimmig 2001, S. 48). Peter (2001, S. 23) unterscheidet die in der folgenden Tabelle dargestellten Disziplinen mit ihrem jeweiligen Risikobegriff und nennt die Bereiche ihrer Anwendung.

Definition	Risikobegriff	Anwendung
Naturwissenschaftlich / Mathematisch	Risiko = E * A E = Eintrittswahrscheinlichkeit A = Schadensausmaß	Naturwissenschaften Versicherungswirtschaft
Entscheidungslogisch	Risiko = f(x) f(x) = Häufigkeitsverteilung	Finanzwissenschaften Bankwirtschaft
Informationstheoretisch	Risiko als Informationsdefizit	Betriebswirtschaft
Systemtheoretisch	Risiko als Zielverfehlung aufgrund von Störprozessen	Systemorientierte Betriebswirtschaft
Soziologisch	Unterscheidung von Risiko und Gefahr	Soziologie
Psychologisch	Risiko = Gefahr	Alltag, Sprachgebrauch

Abbildung 2: Risikodefinitionen in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen

Quelle: Peter 2001, S. 23

Der **naturwissenschaftlich-mathematische** Ansatz von Risiko definiert den Begriff als Produkt aus dem (Schadens-) Ausmaß des Ereignisses sowie der Wahrscheinlichkeit seines Eintretens. Zur Berechnung der Risikogröße ist somit eine Quantifizierung der beiden Faktoren notwendig, welches eine entsprechende Datensammlung voraussetzt.

Im **entscheidungslogischen** Risikobegriff erscheint das Risiko einer Handlungsalternative als Wahrscheinlichkeitsverteilung ihrer möglichen Folgeereignisse. Demnach handelt es sich auch hier um eine mathematische Annäherung über Methoden der Statistik, was wiederum das Vorhandensein von ausreichend detaillierten Daten erfordert. Im Unterschied zur Anwendung in der vorgenannten Disziplin wird neben der negativen aber auch explizit die positive Abweichung vom Ziel bewertet und als Chance bezeichnet.

Zwei in ihrer Anwendung stark betriebswirtschaftlich ausgerichtete Varianten sind die **informationstheoretische** Risikodefinition sowie die **systemorientierte** Risikoauffassung. Nach Helten (1994, S. 21) lässt sich das Risiko als Informationsdefizit über das Erreichen der gesteckten Ziele beschreiben. Diese Beschreibung eignet sich als Überleitung zur systemtheoretischen Sichtweise, welche Risiko als Eintreten von Störprozessen definiert, die eine Zielverfehlung zur Folge haben. Verbunden sind beide Ansätze

ze durch die Ungewissheit über das Eintreten von Störprozessen, die sich in der Verfehlung der Ziele niederschlagen.

Das **soziologische** wie das **psychologische** Risikoverständnis basieren auf dem Vergleich mit dem Terminus Gefahr. Während Luhmann (1991, S. 30) die beiden Begriffe über die Möglichkeit einer eigenen Entscheidung voneinander abgrenzt, werden sie im alltäglichen Sprachgebrauch, ob 'riskant' oder 'gefährlich', weitgehend gleichgesetzt und negativ interpretiert.

Eine alternative häufig zitierte Herangehensweise strukturiert die genannten Ansätze weiter, indem eine Unterscheidung nach Ursache und Wirkung vorgenommen wird.

Der **ursachenbezogene** Risikobegriff sieht das Risiko im Zusammenhang mit Entscheidungssituationen und stellt die Risikoursache, die durch ein Informationsdefizit des Entscheidungsträgers über zukünftige Situationen und Ereignisse geprägt ist, in den Vordergrund (vgl. Braun 1984, S. 24). In diesem Punkt besteht Ähnlichkeit zum informationstheoretischen Risikobegriff. Es wird in Entscheidungssituationen unter Sicherheit, messbarer oder wahrer Unsicherheit unterschieden (vgl. Böger 2010, S. 15), wobei das Risiko mit abnehmender Informationsgüte und somit zunehmender Varianz des möglichen Ergebnisses zunimmt. Diese Unterscheidung gilt jedoch nur im Kontext der Zeit, zu der die Entscheidung getroffen wird. Wenn nämlich als sicher angenommene Institutionen bzw. als sicher eingeschätzte Parameter, sprunghaften Veränderungen (Diskontinuitäten) wie makroökonomischen Schocks oder (Natur-) Katastrophen unterliegen (vgl. Bernstein 1996, S. 116), gelten im Nachhinein andere Bedingungen als zunächst angenommen. Darüber hinaus werden objektive und subjektive Wahrscheinlichkeiten in der Entscheidungsfindung diskutiert. Objektive Wahrscheinlichkeiten sind dabei intersubjektiv nachprüfbar, während subjektive Einschätzungen mit persönlichen Erfahrungen so etwas wie einem Bauchgefühl folgen (vgl. Pfohl 1977, S. 24; March / Shapira 1987, S. 1408). Dieser psychologische Aspekt des ursachenbezogenen Risikobegriffs spielt im Falle messbarer Unsicherheiten in Entscheidungssituationen für diese Arbeit eine wichtige Rolle und wird im Abschnitt zum Risikomanagement weitergehend diskutiert.

Beim **wirkungsbezogenen** Ansatz, der die Folgen einer Entscheidung in den Mittelpunkt der Betrachtung stellt (vgl. Lazanowski 2006, S. 17), handelt es sich hingegen um eine Herangehensweise, die dem entscheidungslogischen Verständnis am nächsten

kommt. Dabei wird Risiko zumeist als Gefahr einer Fehlentscheidung interpretiert (vgl. Imboden 1983, S. 51), beziehungsweise wird eine Entscheidung unter Risiko, die dann zu einem Verlust führt, als Fehler verstanden (vgl. March / Shapira 1987, S. 1413 f.). Dieses Verständnis passt zu den Darstellungen von Burger und Buchhart (2002, S. 9), nach denen für Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen die Verlustgefahr im Risikokontext im Vordergrund steht. Auch für diese Arbeit stehen diese sogenannten reinen Risiken im Fokus, während spekulative Risiken ein Unterschreiten des Zielwerts genauso als Option erkennen wie ein Übertreffen (vgl. Lück 2000, S. 315) und insbesondere in der Finanzwirtschaft betrachtet werden.

Eine praxisnahe Definition von Risiko muss einem interdisziplinären Vorgehen folgen, da sich die Spanne unternehmerischen Handelns über verschiedene Wissenschaftsdisziplinen erstreckt. Außerdem besteht ein Bezug zwischen der Situation und den Annahmen, also den Ursachen, die zu einer Entscheidung führen, und ihren tatsächlichen Auswirkungen.

In der Folge heißt das, dass das Risiko zunehmend feingliedriger, operativer Handlungsalternativen zuverlässig anhand des Produkts aus dem (Schadens-) Ausmaß des Ereignisses sowie der Wahrscheinlichkeit seines Eintretens definiert werden kann. Strategische Handlungsalternativen im Kontext der Gesamtunternehmung, die eine Vielzahl verschiedener Aspekte in der Entscheidungsfindung berücksichtigen und ein ganzes Bündel an Handlungen nach sich ziehen, bedürfen aufgrund der abnehmenden Informationsgüte über künftige Umweltzustände hingegen einer ganzheitlichen Definition des Risikos. Eine solche findet sich bei Nedeß et al. (2006, S. 241) und bildet das für diese Arbeit zugrunde liegende Verständnis von Risiko:

Risiko wird definiert als Ereignis, das zu einer negativen Zielabweichung im Unternehmen führen kann.

Auslöser für negative Zielabweichungen sind dabei Störprozesse, die sich als statistische Ausreißer häufig einer mathematischen Quantifizierbarkeit entziehen (vgl. Peter 2001, S. 85).

So können die Risiken einzelner Kontrakte eines Unternehmens anhand des Produktes aus der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und des resultierenden Schadenswertes bewertet werden. Diese objektive monetäre Bewertungsform dient als Instrument, um

der subjektiven psychologischen Risikovermeidung als Gefahrenabwehr „um jeden Preis“ ein Gegengewicht beizustellen. Denn im ganzheitlichen systemorientierten Ansatz der Unternehmung ist die Diversifizierung des Risikoportfolios möglich, während dies dem Agenten im Sinne der Principal-Agent-Theorie¹ unmöglich ist. Weitergehende Erkenntnisse aus der Forschung zum Thema Risikomanagement sollen aber im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

2.1.2 Risikomanagement

Risikomanagement kann als der Teil der Managementtätigkeit verstanden werden, der sich mit der systematischen Analyse und Bewältigung von Risiken eines Unternehmens beschäftigt. Für den Begriff des Managements lassen sich vor allem zwei Bedeutungsklassen identifizieren (vgl. Staehle 1999, S. 71; Tsoukas 1994, S. 289):

Management als **Funktion** befasst sich mit den Aufgaben, Prozessen und Funktionen, die in Unternehmen zum Gestalten, Leiten und Entwickeln einer Unternehmung notwendig sind (managerial functions approach).

Management als **Institution** hingegen bezeichnet eine Gruppe von Personen, die als leitende Instanz die Entscheidungs- und Anordnungs Kompetenzen haben, also für die Durchführung der Managementaufgaben zuständig sind (managerial roles approach).

Eine weitere Strukturierung des Managements kann über die Dimensionen Zielgröße und Maßstab vorgenommen werden (vgl. Schwaninger 1994, S. 51):

Das Ziel des **strategischen** Managements liegt in der Sicherung der **Wettbewerbsfähigkeit** der verschiedenen Geschäftsbereiche eines Unternehmens. Die Gestaltung von Programmen, Strukturen und Systemen des Managements sowie das Problemlösungsverhalten ihrer Träger bilden den Inhalt strategischer Überlegungen. Das Ergebnis spiegelt die Effektivität der Umsetzung normativer Vorgaben durch strategische Programme wider (vgl. Peter 2011, S. 97).

Die Funktion des **operativen** Managements besteht in der Umsetzung der strategischen Vorgaben in Operationen, welche ihre ökonomischen Potentiale bestmöglich realisieren. Dazu zählen die Elemente der technischen Steuerung sowie der ablauforgani-

¹) Eine kurze Erläuterung erfolgt in Abschnitt 2.1.2.2 *Strategien zur Risikosteuerung*

satorischen Regelung und das Leistungs- und Kooperationsverhalten im Unternehmen. Das Ziel operativer Tätigkeiten liegt in der möglichst effizienten Ausführung dieser Aktivitäten, um dem Kriterium der **Wirtschaftlichkeit** zu entsprechen (vgl. Peter 2001, S. 97).

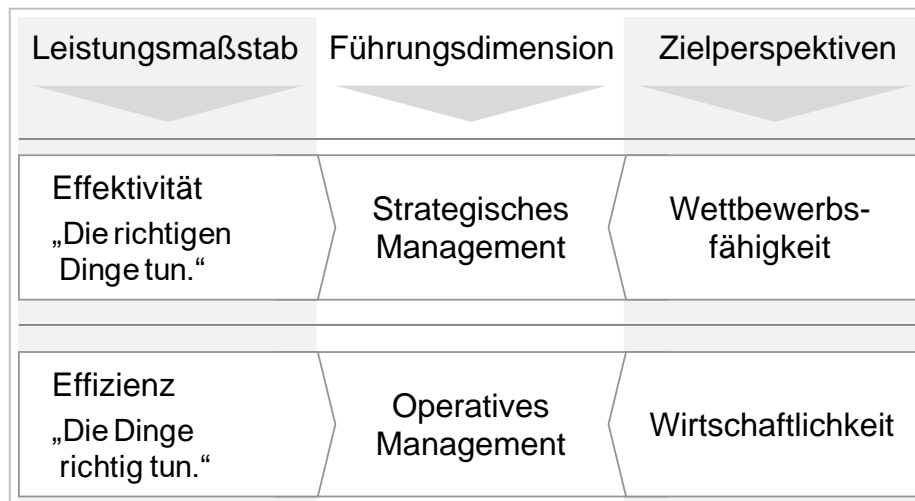


Abbildung 3: Zielgrößen und Maßstäbe der Management-Dimensionen

Quelle: Schwaninger 1994

In funktionaler Hinsicht unterscheidet man zwischen dem Risikomanagement im engeren Sinn (spezielles Risikomanagement) und Risikomanagement im weiteren Sinn (generelles Risikomanagement) (vgl. Pfohl 2008, S. 13).

Risikomanagement im engeren Sinn umfasst das Management versicherbarer Risiken (z.B. Feuer, Diebstahl) und erscheint in seinem Niveau im Vergleich zu den genuin versicherten Versicherungsverträgen des 17. Jahrhunderts als nur bedingt weiterentwickelt. Als sich zur Mitte des letzten Jahrhunderts vor allem in den USA das "Risk Management" mit dem Ziel herausbildete, den Umfang der betrieblichen Versicherungsleistung sowie die Höhe der zu zahlenden Prämien bestmöglich zu optimieren, war es eine Maßnahme, Versicherungspolicen möglichst günstig abzuschließen. Eine andere bestand jedoch darin, diese durch vorbeugende Maßnahmen möglichst ganz einzusparen. Zwar ging es auch dabei im Kern um eine Optimierung des betrieblichen Versicherungsschutzes, bildet aber den Brückenkopf zum Risikomanagement im weiteren Sinn. Der Grund ist, dass aufgrund der expliziten und systematischen Berücksichtigung von Risiken ein Prozessverständnis zur kontinuierlichen Bearbeitung von Risiken entstand.

Die beiden Ansätze unterscheiden sich darüber, dass das **Risikomanagement im weiteren Sinn** die Führung von Unternehmen unter Berücksichtigung von nicht-versicherbaren Risikoaspekten enthält, ohne nur auf einzelne (versicherbare) Risikoarten abzielen (vgl. Mensch 1991, S. 18 ff.). Ebenso fließen spekulative Risiken mit in das Risikomanagement ein. Über die Integration von Risikoaspekten in das Zielsystem von Unternehmen wird Risikomanagement zu einem umfassenden Aspekt der Unternehmensführung (vgl. Pfohl 2008, S. 13). Dieser beinhaltet einerseits die generelle politische Ausrichtung des Unternehmens in Bezug auf seine Risikotoleranz, was in der Unternehmensstrategie manifestiert wird (vgl. Wiederkehr / Züger 2010, S. 77). Andererseits betrifft es den Aufbau, Betrieb und Erhalt eines Risikomanagements, was allein bereits Bestandteil eines **strategischen Risikomanagements** ist (vgl. Wiederkehr / Züger 2010, S. 80). Dazu bedarf es einer Risikomanagementfunktion in der Organisation, in der die Ausgestaltung, Koordinierung und Ziele eines operativen Risikomanagementprozesses festgelegt werden (vgl. Romeike 2003, S. 147 f.). Dieser soll im folgenden Abschnitt allgemein dargestellt werden.

2.1.2.1 Risikomanagementprozess

Nach Czaja (2009, S. 89) lassen sich die in der Literatur vorhandenen Ansätze zum Risikomanagement ohne gravierende inhaltliche Abweichungen auf ein gemeinsames Modell zurückführen. Es umfasst die sich iterativ wiederholenden Schritte der Identifikation von Risiken, deren Bewertung, der Definition von Maßnahmen zur Steuerung der Risiken und der fortlaufenden Kontrolle dieser Maßnahmen. Diese prozessuale Integration von Risikoaspekten in die Unternehmensabläufe wird als **operatives Risikomanagement** bezeichnet und in *Abbildung 4: Risikomanagementprozess* dargestellt.

Am Anfang des operativen Risikomanagementprozesses steht nach Pfohl (2008, S. 119) die rechtzeitige, vollständige und wirtschaftliche Identifikation aller Risiken, die Einfluss auf die wesentlichen Unternehmensziele haben. Dieser Schritt ist sehr bedeutsam für den Gesamtprozess, da alle nachfolgenden Phasen auf den darin ermittelten Informationen basieren und in ihrer Stoßrichtung dadurch maßgeblich ausgerichtet werden (vgl. Czaja 2009, S. 90). Die identifizierten Risikogruppen und ihre Bedeutung sind dabei stark von der Branche, der Positionierung oder regionalen Besonderheiten des Unternehmens abhängig. Das Ergebnis der Risikoidentifikation ist eine Datenbank, in der alle erfassten Risiken dokumentiert bzw. definierten Risikoclustern zugeordnet sind, um so eine dauerhafte, personenunabhängige und effiziente Funktionsfähigkeit des Risi-

komanagementprozesses sicherzustellen (vgl. Ziegenbein 2007, S. 77 f.; Romeike 2003, S. 179).

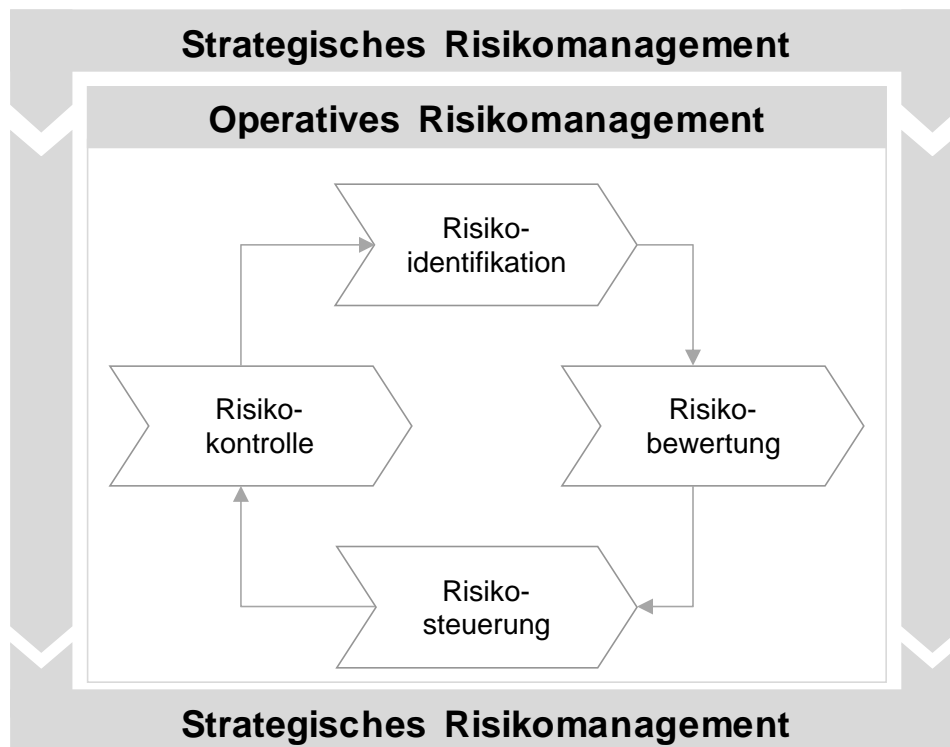


Abbildung 4: Risikomanagementprozess

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfohl 2008, Jäckle 2011

Um die möglichen Auswirkungen der Risiken auf Unternehmen abschätzen zu können, müssen die identifizierten Risiken bewertet werden. Als zentrale Parameter der Quantifizierung von Risiken sind analog zum naturwissenschaftlich-mathematischen Ansatz die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkung bei Eintritt des Risikos anzusehen (vgl. Burger / Buchhart 2002, S. 102). Die Qualität einer derartigen Bewertung ist daher weitreichend von der Datenverfügbarkeit und -qualität abhängig (vgl. Burger / Buchhart 2002, S. 101). Aus diesem Grund haben sich zwei Gruppen von Bewertungsansätzen entwickelt:

Qualitative Ansätze beschäftigen sich mit der Bewertung von Risiken, bei denen keine objektiven Eintrittswahrscheinlichkeiten und damit Erwartungswerte gegeben sind (vgl. Fiege 2006, S. 175).

Quantitative Ansätze bieten hingegen die Möglichkeit, Risiken in monetären Einheiten als Risikokosten zu bewerten (vgl. Burger / Buchhart 2002, S. 102). Dabei können mit Hilfe aktueller Bewertungsinstrumente nicht nur Einzelrisiken und ihre Wirkung auf eine Zielgröße abgebildet werden (vgl. Kajüter 2003, S. 119), auch der Forderung nach einer

Berücksichtigung von Risikointerdependenzen wird entsprochen (vgl. Diederichs 2004, S. 106).

In dieser Arbeit werden Risikokosten dem quantitativen Ansatz entsprechend definiert.

Analog zur Dokumentation in der Identifikationsphase empfiehlt sich die kontinuierliche Pflege der Bewertungsergebnisse in einer Datenbank (vgl. Pfohl 2008, S. 14). Sie sind notwendige Voraussetzung für die *Steuerung* der Risiken, also der Entscheidung, ob und in welchem Ausmaß Maßnahmen zur Bewältigung der identifizierten Risiken festgelegt werden (vgl. Fiege 2006, S. 160).

Zu den Aufgaben der Risikosteuerung gehören demnach die Priorisierung der Risiken, die Planung der Strategien und die Umsetzung von Maßnahmen mit dem Ziel Risiken derart einzuschränken, dass diese für das Unternehmen tragbar bleiben (vgl. Hinterhuber / Ortner 2005, S. 199; Pfohl 2008, S. 14). Bei der Auswahl von Maßnahmen ist stets auf ihre Wirtschaftlichkeit als Quotient aus Wirksamkeit und Kosten zu achten (vgl. Pfohl 2008, S. 15; Wiederkehr / Züger 2010, S. 45). Eine weitergehende Darstellung möglicher Strategien zur zielgerichteten Risikosteuerung erfolgt im nächsten Abschnitt.

Die Risikokontrolle bildet zugleich den Abschluss und Ausgangspunkt des operativen Risikomanagementprozesses sowie die Schnittstelle zum strategischen Risikomanagement. Zu den abschließenden Tätigkeiten gehört der Abgleich des Soll- mit dem Ist-Zustand der Risikosituation und den entsprechenden Risikokosten (vgl. Wolke 2008, S. 240). Dem werden die eingeleiteten Maßnahmen zur Steuerung der Risiken und deren Kosten gegenübergestellt, so dass die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit des Prozesses und der Maßnahmen des Risikomanagements bewertet werden können (vgl. Hector 2006, S. 22; Pfohl 2008, S. 15; Wiederkehr / Züger 2010, S. 18). Dabei sind grundsätzlich vier Situationen denkbar:

Zunächst ist die ausgesprochen positive Situation zu erwähnen, dass Risikokosten mittels adäquater Maßnahmen nachhaltig gesenkt oder auf niedrigem Niveau stabilisiert werden können. Es kann aber auch passieren, dass Risikokosten zwar gering sind, die dazu aufgewendeten Mittel jedoch als unwirtschaftlich hoch einzustufen sind. Umgekehrt können bekannte Risiken zu größeren Schäden führen als ursprünglich angenommen, was auf ungenügende Maßnahmen zu deren Abwehr schließen lässt. Zuletzt

kann es durch unbekannte Risiken zu Schäden kommen, für die entsprechende Gegenmaßnahmen fehlen.

Bei den erstgenannten Situationen von Wirtschaftlichkeitsprüfungen im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse kann die Folge eine Neubewertung und Anpassung der Risikosteuerung sein (vgl. Rosenkranz / Missler-Behr 2005, S. 48). Darüber hinaus sollte sichergestellt werden, dass nicht nur eine Bewertung auf Einzelmaßnahmenebene positiv ausfällt, sondern auch die Gesamtkosten für das Risikomanagement die Summe der erwarteten Risikokostenreduktion nicht übersteigt (vgl. Nedeß et al. 2006, S. 239).

Neben dem reinen Kostenaspekt muss im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsprüfung des Risikomanagements auch das Zulassen von Chancen berücksichtigt werden. Denn in der Literatur werden neben der Sicherung der Unternehmensexistenz auch die Sicherung des Unternehmenserfolgs bzw. die Erhöhung des Unternehmenswertes als Ziele des Risikomanagements genannt (vgl. Böger 2010, S. 24; Bergener 2006, S. 94; Mikus 2001, S. 72; Romeike 2003, S. 150). Aus dem entstehenden Zielkonflikt zwischen beiden Aspekten ergibt sich nach Böger (2010, S. 24) als weiteres Ziel, ein wirtschaftlich optimales Risiko- und Sicherheitsniveau zu finden, das die Risikopräferenzen der beteiligten Manager und/oder Eigentümer berücksichtigt (zur weiteren Erläuterung dieser Erwartungsnutzentheorie vgl. z. B. Winter (2007, S. 98 f.)) und insgesamt nicht nur zur Optimierung der Risikokosten (vgl. Bergener 2006, S. 166; Gleißner / Lienhard / Stroeder 2004; Dahmen 2002), sondern idealerweise der Gesamtkosten und -erlöse des Unternehmens führt.

Das vermeintliche Gleichgewicht zwischen Risiko- und Sicherheitsniveau kann aufgrund von Schäden durch unbekannte Ursachen aus dem Gleichgewicht geraten. Dieser Fall muss Anstrengungen zu deren Identifikation nach sich ziehen (vgl. Rosenkranz / Missler-Behr 2005, S. 46), wodurch sich das iterative System des operativen Risikomanagements schließt.

Wenn hingegen die Schäden bekannter Risiken höher ausfallen als geplant, kann dies einerseits eine neuerliche Risikobewertung nach sich ziehen. Andererseits kann der Grund in einem allgemein veränderten Risikoniveau liegen. In diesem Fall muss dies zu einer Adaption der Risikostrategie und einer Reaktion durch das strategische Risikomanagement führen (vgl. Pfohl 2008, S. 14). Diese Zusammenhänge lassen sich anhand der *Abbildung 4: Risikomanagementprozess* übergreifend nachvollziehen.

2.1.2.2 Strategien zur Risikosteuerung

Innerhalb des operativen Risikomanagementprozesses liegt ein besonderes Augenmerk auf den Strategien zur Risikosteuerung. Fiege (2006, S. 186) unterscheidet, in Analogie zu ursachen- und wirkungsbezogenen Risiken, zwischen ebensolchen Strategien zur Risikosteuerung. Ursachenbezogene Strategien zielen dabei auf die Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos ab, während sich wirkungsorientierte Strategien auf die Minimierung des potentiellen Schadens fokussieren (vgl. Pfohl 2008, S. 65). Die folgende Abbildung gliedert sechs generelle Risikomanagementstrategien in die eben vorgestellten Kategorien.

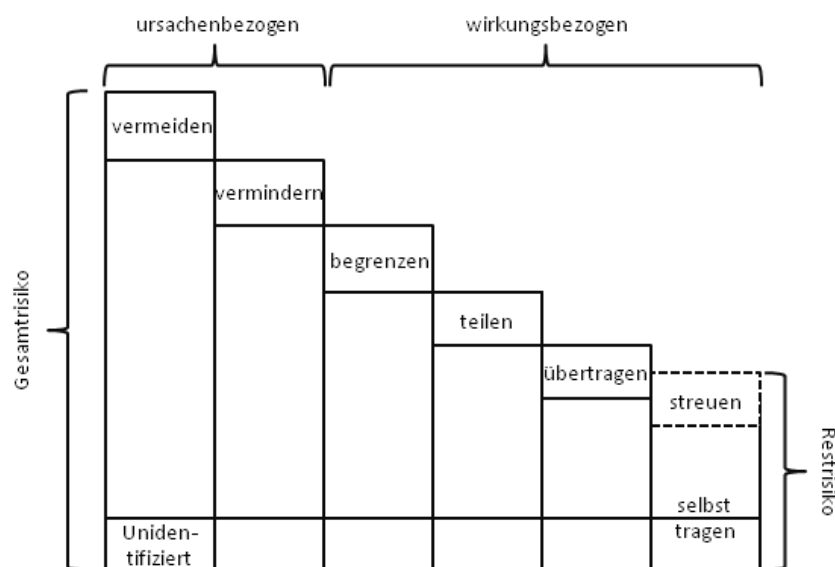


Abbildung 5: Risikosteuerungsstrategien

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Haller 1986, S. 10

Dabei wird mit der Darstellung des nicht identifizierten Risikos und des Restrisikos explizit darauf hingewiesen, dass eine vollständige Risikoabwehr nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch sehr unwahrscheinlich ist. Grund dafür sind Diskontinuitäten (sprunghafte Veränderungen der Umwelt oder des Systemverhaltens), „deren Form und Zeitpunkt uns zwar verborgen bleiben, nicht jedoch ihre Unausweichlichkeit“ (vgl. Bernstein 1996, S. 116).

Zur Kategorie der ursachenbezogenen Strategien gehören die Vermeidung und die Verminderung von Risiken. Die Strategie der **Risikovermeidung** wird dann gewählt, wenn das Risiko nicht mit den Unternehmenszielen vereinbar ist und das Eintreten des Risikoereignisses eine Gefährdung für den Fortbestand des Unternehmens bedeuten

kann (vgl. Wiederkehr / Züger 2010, S. 43). Konsequenz ist die Unterlassung besonders risikoträchtiger Geschäfte, um damit eine vollständige Beseitigung der Risikoursache zu erreichen (vgl. Pfohl 2008, S. 67).

Bei der **Risikoverminderung** hingegen wird der Kontrakt getätigt oder die Aktion durchgeführt (vgl. Hector 2006, S. 22). Es werden jedoch Maßnahmen getroffen, um die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikoereignisses zu verringern (vgl. Wiederkehr / Züger 2010, S. 43). Gleichwohl variiert der Grad zur Beeinflussung der Eintrittswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der betrachteten Arten von Risiken, wobei Katastrophenereignissen mit ihrer äußerst geringen Beeinflussbarkeit eine Sonderrolle zufällt (vgl. Pfohl 2008, S. 67).

Den zweiten Block belegen die wirkungsbezogenen Strategien zur Steuerung von Risiken. In der Literatur werden für ähnliche Inhalte teils unterschiedliche Begriffe synonym verwendet, es werden in der Diskussion und Beschreibung der Inhalte außerdem häufig verschiedene Gruppierungen von Strategien vorgenommen. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, warum eine eindeutige Abgrenzung nicht immer gelingt und insbesondere bei dem Versuch der Einordnung von Einzelmaßnahmen die oftmals diffusen Grenzen zu Tage treten (vgl. Rogler 2002, S. 28). Um eine Orientierung zu geben, wird im Folgenden dennoch eine Auswahl dargestellt.

Die Strategie der **Risikobegrenzung** hat zum Ziel, die Auswirkungen bei Eintritt eines Risikoereignisses abzumildern und die Funktion eines Prozesses möglichst aufrechtzuerhalten. Ein typisches Beispiel in einer Lieferkette sind Sicherheitsbestände, die, bei Abreißen der Versorgung, ein Produktionssystem über einen relativ kurzen Zeitraum sicherstellen können (vgl. Böger 2010, S. 64).

Die **Teilung** von Risiken lässt sich anschaulich am Beispiel von technischen Geräten darstellen. So sichern Backup-Systeme die Funktion der Steuerung eines Verkehrsflugzeugs im Falle des Versagens des Primär-Systems. Neben Sicherheitsbeständen besteht ein solches wirkungsorientiertes Vorgehen durch Definition alternativer Lieferanten, Produktionsstätten oder Dienstleister als längerfristig angelegte Absicherung auch in Lieferketten (vgl. Pfohl 2008, S. 69).

Eine weitere Möglichkeit ist es, das Risiko bzw. die möglichen Schadensauswirkungen, teilweise oder vollständig auf Dritte zu **übertragen**. Einerseits kann dies mittels vertraglicher Regelungen im Rahmen von Liefer- oder Dienstleistungsverhältnissen kostenlos

erfolgen, andererseits kann es kostenpflichtig auf Versicherungen übertragen werden (vgl. Manuj / Mentzer 2008b, S. 209). Das Ausmaß des Risikos wird damit zwar nicht verändert, die finanziellen Auswirkungen werden aber von mehreren Schultern getragen (vgl. Böger 2010, S. 64).

Im Fall von Abhängigkeiten zwischen Risiken besteht die Möglichkeit, dass sich einzelne Risiken gegenseitig verstärken oder kompensieren (vgl. Burger / Buchhart 2002, S. 5). Das Ziel der **Risikostreuung** liegt demnach in der Diversifikation verschiedener Einzelrisiken, mit der Absicht einen Risikoausgleich durch das Geschäftsportfolio eines Unternehmens zu fördern (vgl. Nollau / Neumeier 2010, S. 11). Auf der Ebene von Einzeltransaktionen ist die Strategie der Risikostreuung jedoch nicht oder nur eingeschränkt möglich. Diese Problematik wird in der Principal-Agent-Theorie aufgegriffen, gemäß welcher Agency-Kosten in Form von Opportunitätskosten für die Eigentümer (Prinzipale) entstehen, wenn Manager (Agenten) aus Eigentümersicht wertsteigernde Projekte mit unwirtschaftlich hohen Sicherheiten belegen oder gar ablehnen, da aus ihrer Perspektive die Risikokosten zu hoch erscheinen (vgl. Pritsch / Hommel 1997, S. 675 ff.). Da die letztendliche Handhabung des Risikos jedoch durch den Manager erfolgt, er als „Risikoeigner“ für die adäquate Bewirtschaftung der Risiken in seinem Aufgabenbereich zuständig ist (vgl. Wiederkehr / Züger 2010, S. 80), bedarf es eines Risikomanagementprozesses, der einer subjektiven immer auch eine transparente objektive Sicht hinzufügt.

Wenn in der Konsequenz einer reinen Risikodiversifikationsstrategie Kontrakte getätigt werden, die nicht mit weiteren Maßnahmen belegt sind, müssen die potentiellen Risikokosten **selbst getragen** werden. Sie müssen daher mit den Unternehmenszielen vereinbar sein und die zu erwartenden Risikokosten dürfen die Unternehmung an sich nicht gefährden. Ein weiterer Aspekt der Risikoselbsttragung ist das **Restrisiko**, welches, außer bei der Risikovermeidung, immer relevant ist (vgl. Wiederkehr / Züger 2010, S. 42).

Die bisherigen Ausführungen betrachten Risiko- und Risikomanagement im Allgemeinen. Im Verlauf des nachfolgenden Kapitels wird weiterhin auf Risiko- und Risikomanagement im spezifischen Kontext des Supply Chain Management eingegangen.

2.2 Produktions- und Supply Chain Management in Produktionsnetzwerken

Dieser Abschnitt führt in die Themenfelder Produktions- und Supply Chain Management ein. Dazu werden zunächst die Entwicklungslinien vom ersten systematischen Produktionsmanagement über die computerintegrierte Produktion hin zum Supply Chain Management im Zeitverlauf aufgezeigt. Nachdem die groben Zusammenhänge verknüpft sind, wird zunächst das Produktionsmanagement mit seiner zentralen Aufgabe, der Produktionsplanung und -steuerung, definiert und bis zur Ebene der Ablaufplanung beschrieben. Dieser intensiv erforschte Bereich wird im Hinblick auf mathematische Modelle zur Unterstützung bei der Optimierung betriebsinterner, aber insbesondere der Parallelen zur Anwendung auf zwischenbetriebliche Abläufe, wie dem Supply Chain Scheduling, untersucht.

Genauso wie Erkenntnisse aus dem Produktionsmanagement in abgewandelter Form auch im Supply Chain Management anwendbar sind, verhält es sich mit der gesamten Struktur beider Managementansätze, was im Abschnitt zum Supply Chain Management verdeutlicht wird. Beide Methoden sind in ihrer konkreten Ausgestaltung stark von häufig branchenspezifisch unterschiedlichen Strukturen abhängig. Um die spezifischen Anforderungen der Lieferkette in der Windenergiebranche korrekt einordnen zu können, wird zum Abschluss dieses Kapitels eine Morphologie zu Produktionsnetzwerktypen vorgestellt, auf die in der späteren Methodenentwicklung zugegriffen werden kann.

2.2.1 Entwicklungslinien vom Produktions- zum Supply Chain Management

„Die inhaltlichen Schwerpunkte und der Fokus des Produktionsmanagements haben sich im Laufe der Jahre gewandelt und dabei eine ständige Erweiterung des betrachteten Spektrums erfahren“ (Herlyn 2012, S. 21). Mit Henry Ford, als dem Pionier der Fließfertigung, reichen die Anfänge eines systematischen Produktionsmanagements bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts zurück (vgl. Herlyn 2012, S. 21). Ausgehend von der handwerklich geprägten Werkstattfertigung von Automobilen zum Ende des 19. Jahrhunderts (vgl. Herlyn 2012, S. 26) wurde die Aufteilung der Arbeitsfolgen zunehmend feingliedriger und die Fließbänder wurden immer länger (vgl. Herlyn 2012, S. 33). Erste wissenschaftliche Beiträge zum Produktionsmanagement in der Betriebswirtschaft befassen sich nach dem Zweiten Weltkrieg mit der Produktionsfunktion, also dem Verhältnis von Input (Faktoreinsatz) und Output (Ertrag) von Systemen (vgl. Gutenberg 1955).

Da Produktionssysteme bei zunehmendem Einsatz von Fertigungsmaterial häufig eine degressive Zunahme an Fertigerzeugnissen aufzeigen, rückte im Anschluss das Bestandsmanagement in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit (vgl. Herlyn 2012, S. 22; Wöhe 1962). Als zentrale Ursache für hohe Bestände wurde dann eine ungenaue Materialbedarfsplanung identifiziert und Lösungsansätze firmierten unter dem Kürzel MRP für Material Requirement Planning (vgl. Hackstein 1989).

Neben nachfragebedingten Veränderungen im Bedarf ist der Produktionsprozess selbst, als Folge überlasteter oder ausgefallener Kapazitäten, eine Quelle für Bedarfschwankungen je Planungsperiode (vgl. Stadler / Kilger 2005, S. 139). Das hat einerseits zur Folge, dass neben der Material- auch die Zeitwirtschaft für eine verbesserte Planung berücksichtigt werden musste. Resultat war das sogenannte MRP II für Manufacturing Resource Planning, welches die Terminierung unter Berücksichtigung von Kapazitäten der Produktionsfaktoren als weitere Parameter umfasst (vgl. Wight 1981).

Andererseits wird deutlich, dass neben der Produktionsplanung auch eine Instanz zur Produktionssteuerung benötigt wird, um auf Unsicherheiten im Produktionsprozess zu reagieren. Dieser klassische PPS-Begriff wurde Anfang der 1980er-Jahre geprägt, um Material- und Zeitwirtschaft in der produzierenden Industrie unter einem übergreifenden Konzept zusammenzufassen (vgl. Schuh / Stich / Schmidt 2008, S. 250). Es folgte eine kontinuierliche Erweiterung über die technischen und kaufmännischen Bereiche der Auftragsabwicklung hin zur unternehmensweiten Ressourcenplanung (ERP: Enterprise Resource Planning) (vgl. Herlyn 2012, S. 22; Westkämper / Mussbach-Winter / Wiendahl 2006). Die zunehmende Leistungsfähigkeit von Rechnern führte dann mit der IT-technischen Verknüpfung einzelner Prozesse und Systeme unter dem erstmalig von Rudolph Scheer publizierten Stichwort CIM (Computer Integrated Manufacturing) zur computerintegrierten Produktion (vgl. Scheer 1987; Wiendahl 2010, S. 45 ff.; Herlyn 2012, S. 23).

Als Reaktion auf die abnehmende Fertigungstiefe von Industriebetrieben gewann die Koordination der Lieferkette in den 90er-Jahren an Bedeutung (vgl. VDA, JB, 2009; Herlyn 2012, S. 22). Im Rahmen des Supply Chain Management (SCM) wurden Anstrengungen unternommen, den Informationsfluss über Unternehmensgrenzen hinweg zu optimieren und so bei steigender Variantenvielfalt die Materialverfügbarkeit abzusichern (vgl. Herlyn 2012, S. 23).

Gleichzeitig erfolgte neben der eben genannten Erweiterung eine kontinuierliche Verfeinerung der hinterlegten mathematischen Modelle für die Erstellung von Bedarfsprognosen oder der simultanen Planung von Ressourcen unter dem Titel *Advanced Planning and Scheduling (APS)*, mit dem Ziel, den Abstand zwischen Plan und Ist weiter zu verkürzen (vgl. Stadtler / Kilger 2005).

All diesen Entwicklungen im Produktionsmanagement ist gemein, dass jede für sich ein logischer Schritt auf dem Evolutionspfad ist: Angefangen bei der Mengen- und Kapazitätsplanung in der Fertigung über die funktionale Einbeziehung der vor- und nachgelagerten Bereiche wie Beschaffung oder Vertrieb bis hin zur prozessualen Integration der Auftragsabwicklung entlang der gesamten Lieferkette, in deren Zentrum die Planung der Ressourcen und Produktionsprozesse steht (vgl. Schuh / Stich / Schmidt 2008, S. 251).

Parallel zu diesem evolutionären Feinschliff erlangte ein Baukasten an generellen Produktions-Prinzipien des japanischen Automobilherstellers Toyota aufgrund seines großen Erfolgs unter dem deutschen Titel „die zweite Revolution in der Automobilindustrie“ ebenso große Aufmerksamkeit. Diese Prinzipien werden in verschiedenen Unternehmen in einem sogenannten Produktionssystem zusammengefasst. Im Allgemeinen werden sie als schlanke Produktion (*lean production*) und Alternative zur „mass production“ bezeichnet. Dem Ziel der Eliminierung von Verschwendung wird darin zum Beispiel mit der Maßnahme einer „Just In Time“-Belieferung oder dem „Pull“-Prinzip entsprochen (vgl. Womack / Jones / Roos 1992, Herlyn 2012, S. 23).

Die Potentiale dieser Prinzipien, welche bis heute einen wesentlichen Veränderungstreiber darstellen, gehen häufig mit erhöhten Prozessrisiken einher, die eine ständige Verbesserung (*Kaizen*) voraussetzen und im Rahmen von „lean logistics“ wiederum aus dem Produktionsumfeld in die Lieferkette getragen wurden (vgl. Schuh / Stich / Schmidt 2008, S. 265). Nicht zuletzt waren diese Entwicklungen ein Treiber für die Popularität des Risikomanagements in der heutigen wissenschaftlichen Diskussion, da die Maßnahmen zwar eine effiziente und flexible Produktion komplexer Güter erlauben, die einzelnen Bausteine der Logistiknetzwerke durch den Abbau von Redundanzen jedoch auch verwundbarer gemacht haben (vgl. Jüttner 2005, S. 134). Diesem Forschungsbereich widmen sich die Abschnitte 2.2.6 *Supply Chain Risiko* und 2.2.7 *Supply Chain Risikomanagement*.

2.2.2 Produktionsmanagement

„Dem Produktionsmanagement obliegt in prozessualer Sicht die zielorientierte Planung und Steuerung der Leistungserstellung“ (Zäpfel 1996, Sp. 1392) in Industriebetrieben sowie die Konkretisierung der Unternehmensziele im Bereich der betrieblichen Leistungserbringung. Planung bedeutet in diesem Zusammenhang die zielgerichtete Willensbildung im Sinne einer Entscheidung über das zukünftige Produktionsgeschehen. Dessen Umsetzung wird durch die Steuerung des Produktionssystems veranlasst und überwacht. Dazu bedarf es der Organisation, Personalführung, Informationsversorgung und Kontrolle der Produktion (vgl. Dyckhoff / Spengler 2010, S. 29; Grap 1998, S. 6).

Ein Produktionssystem ist eine technisch und organisatorisch selbstständige Ansammlung von Potentialfaktoren zum Zweck der Produktion (vgl. Dangelmaier 2009, S. 3). Technisch besteht es mit der Kombination Betriebsmittel und Arbeitskraft aus Arbeitssystemen, die Transformationen durchführen können (vgl. Rosenberg 1992). Organisatorisch beinhalten sie die Konzepte und Methoden, die in ihrem Zusammenwirken die Effektivität und Effizienz der Produktionsprozesse ausmachen (vgl. Schuh 2012, S. 11; Womack / Jones 2003).

Als Gestaltungsaufgaben werden die Grundsatzentscheidungen über die Leistungserstellung (strategisch) und deren Umsetzung für den Bereich der Leistungserstellung (taktisch) bezeichnet. Lenkungsaufgaben beziehen sich hingegen auf die Entscheidungen zum wirtschaftlichen Vollzug der laufenden Prozesse der Leistungserstellung (operativ) (vgl. Zäpfel 2001, Vorwort). Diese drei Phasen des Produktionsmanagements kennzeichnen Unterschiede in der Unternehmenshierarchie, ihren Planungshorizont und -inhalt sowie die benötigten Methoden und Verfahren (vgl. Herlyn 2012, S. 16). Rückkopplungen vom taktischen zum strategischen Produktionsmanagement sind im Sinne einer zügigen Korrektur oder beschleunigten Adaption von Entscheidungen notwendig. Gleiches gilt für den Übergang zum operativen Produktionsmanagement (vgl. Zäpfel 2001, S. 47 ff.). Jede Ebene besitzt demnach Planungs- und Steuerungsaufgaben. In der Planung wird festgelegt, wie die Produktion gestaltet und gelenkt werden soll. Die Steuerung der jeweiligen Ebene hat dann für die Umsetzung der getroffenen Entscheidungen durch die darunter liegenden Managementebenen bzw. den eigentlichen Wertschöpfungsprozess zu sorgen (vgl. Dyckhoff / Spengler 2010, S. 31).

Das **strategische Produktionsmanagement** beschäftigt sich mit der langfristigen Ausrichtung der betrieblichen Leistungserstellung. Kernelement dieser Phase ist die Erstellung einer Strategie zum Produktionssystem hinsichtlich dessen Produktionskapazität, -technologie und im Sinne der Festlegung von Fertigungsstandards (vgl. Zäpfel 2001, S. 9; Herlyn 2012, S. 16 f.; Dyckhoff / Spengler 2010, S. 30).

Aufgrund der engen Verzahnung von Produkt- und Produktionstechnologien hat die Entscheidung über die Investition in innovative Produktionstechnologien weitreichenden Einfluss auf das zukünftige Produktprogramm. Alternativ kann eine Technologie im Rahmen des Fertigungstiefenmanagements auch fremdbeschafft werden. Weiterhin muss durch das strategische Produktionsmanagement, neben dem wie und was, auch eine Antwort dazu gegeben werden, wie viel und wo produziert werden soll, indem ein Leitbild für die Struktur und Kapazität des Produktionsnetzwerks gezeichnet wird (vgl. Zäpfel 2001, S. 9; Herlyn 2012, S. 16 f.; Dyckhoff / Spengler 2010, S. 30).

Inhalt des **taktischen Produktionsmanagements** ist die mittelfristige Konkretisierung und Realisierung der strategischen Entscheidungen (vgl. Herlyn 2012, S. 17). Ausgangspunkt dafür ist die mittelfristige Produktionsprogrammplanung in Verbindung mit der Entscheidung über das Niveau der Fertigungstiefe sowie der mittelfristigen Kapazitätsplanung, um auf dieser Basis eine möglichst optimale Auslastung der Produktionskapazitäten durch entsprechende Verteilung der Produkte zu erzielen (vgl. Dyckhoff / Spengler 2010, S. 30). Dazu bedarf es der Anpassung des Leistungserstellungssystems an neue Fertigungstechnologien, Produktions- oder Logistikkonzepte, die den Produktionsapparat des Unternehmens konstituieren (vgl. Zäpfel 2001, S. 47). Darüber hinaus müssen die vorhandenen Lieferantenkapazitäten berücksichtigt und die Transportkosten in der Beschaffung wie im Versand minimiert werden (vgl. Lochmahr / Wildemann 2007; Graf 2004).

Die Aufgaben des **operativen Produktionsmanagements** liegen in der wirtschaftlichen Erfüllung der Kundenaufträge innerhalb eines Jahres bei gegebenem Produktionssystem und Produktprogramm. Dazu ist eine optimale Abfolge von Art und Menge der zu produzierenden Leistungen im Zeitablauf unter einem Abgleich der einzusetzenden Produktionsfaktoren sowie der Koordinierung der Material- und Warenflüsse erforderlich (vgl. Dyckhoff / Spengler 2010, S. 30; Dangelmaier 2009, S. 9; Herlyn 2012, S. 18; Zäpfel 2001, S. 47). Lösungen für diese Aufgaben werden unter dem Titel Produktionsplanung und -Steuerung zusammengefasst, welches Inhalt des folgenden Abschnitts ist.

2.2.3 Produktionsplanung und -steuerung

Die Produktionsplanung und -steuerung bildet, mit den Aufgaben im vorstehenden Abschnitt, nach wie vor den Kern eines jeden Industrieunternehmens und ist der wesentliche Baustein eines Produktionssystems. Gängige Definitionen für dieses zentrale Element der betrieblichen Leistungserbringung beinhalten einen Teil zur Herkunft, Aufgabe, der funktionalen Entwicklung und dem Ergebnis der Produktionsplanung und -steuerung (vgl. Schuh 2006, S. 11; Günther / Tempelmeier 2005; Wiendahl 2005; Corsten 2004; Vahrenkamp 2004).

Als der Begriff Anfang der 80er-Jahre geprägt wurde, war es das Ziel, die Material- und Zeitwirtschaft in der produzierenden Industrie unter einem übergreifenden Konzept zusammenzufassen, um bei wachsender Produktvielfalt den Auftragsdurchlauf zu beherrschen. Aufgabe war also die termin-, kapazitäts- und mengenbezogene Planung, Steuerung und Überwachung der Produktion. Waren funktional zunächst die Konstruktion, Fertigung und Montage im Blick dieser - aus heutiger Sicht - Kern-PPS, wurden bald der Vertrieb, Einkauf und Versand hinzugefügt. Damit waren alle unternehmensinternen Parteien zur Auftragsabwicklung integriert (vgl. Luczak / Eversheim 1998, Eversheim 2002).

Das angestrebte Ergebnis der Produktionsplanung und -steuerung ist dabei nicht weniger als die Erreichung der logistischen und wirtschaftlichen Ziele des Unternehmens. Aufgrund der Komplexität der Aufgabe kommen dazu rechnerunterstützte Systeme zum Einsatz, die mit einer zentralen Datenhaltung die Basis für eine Entscheidungsunterstützung der verschiedenen Abläufe schafft.

Die einzelnen Schritte dieses Prozesses werden je nach Autor unterschiedlich benannt. Grundsätzlich erfolgt zunächst die (Produktions-) Programmplanung, im Anschluss eine Material- bzw. Mengenplanung und sukzessiv oder simultan die Termin- und Kapazitätsplanung. Ab dem Zeitpunkt der Auftragsfreigabe/-veranlassung erfolgt die Steuerung der Produktion bzw. der Fertigung mit dem Abgleich der Soll- und Ist-Situation und entsprechenden Eingriffen, so dass die betrieblichen Ziele erreicht werden.

Die Darstellung in den folgenden Abschnitten orientiert sich an Teilen des Aachener PPS-Modells, das in der Abfolge Hackstein (1989), Luczak / Eversheim (1998), Schuh (2006) von Autoren der RWTH Aachen begründet und entwickelt wurde.

Produktionsprogrammplanung

In der Produktionsprogrammplanung wird für jedes Erzeugnis und für jede Planungsperiode die zu erstellende Menge definiert. Ergebnis ist das hinsichtlich seiner Absetzbarkeit und Realisierbarkeit abgestimmte Produktionsprogramm (vgl. Hackstein 1989, Lödding 2008, S. 81), welches aufgrund der dennoch bestehenden Unsicherheiten und der hohen unternehmerischen Relevanz rollierend von der Geschäftsführung verabschiedet wird (vgl. Wiendahl 2010, S. 274).

Ausgangspunkt ist der durch den Vertrieb verantwortete **Absatzplan**, der für jede Planungsperiode Art und Menge der zu liefernden Erzeugnisse (Brutto-Primärbedarf) aus Kundenaufträgen, Absatzprognosen und Marktentwicklungsdaten enthält (vgl. Lödding 2008, S. 81). Die Extremfälle der Bedarfsquellen bilden je nach Auftragsart und Produktionstyp dabei die reine Auftragsfertigung (Engineer/Make-to-Order) und die kundenanonyme Lagerfertigung (Make-to-Stock). Weitaus üblicher sind in der Praxis Mischformen, die häufig anhand von *Rahmenverträgen* zwischen Lieferanten und Produzenten über gewisse Mengen für einen bestimmten Zeitraum geschlossen werden und innerhalb derer der Produzent Abrufe tätigen kann (vgl. Wiendahl 2010, S. 272; Schuh 2006, S. 39). Dieser Aspekt wird im Abschnitt 2.2.7.2 *Beispielhafte Maßnahmen zur Steuerung von Supply Chain Risiken* nochmals aufgegriffen.

Bereinigt um mögliche Lager- und Sicherheitsbestände folgt aus dem Brutto- der zu produzierende **Netto-Primärbedarf**, welcher in Abstimmung von Produktion und Beschaffung in ein realisierbares Produktionsprogramm umzusetzen ist (vgl. Wiendahl 2010, S. 272). Dazu bedarf es der **Grobplanung der Ressourcen**, indem die benötigte Gesamtkapazität je Periode aus dem produktspezifischen Belastungsprofil und den Sollmengen kalkuliert und mit der verfügbaren Kapazität des Produktionssystems abgeglichen wird. Wird die Kapazität mit einer bestimmten Toleranz unter- oder überschritten, bedarf es der genannten Abstimmung zwischen Produktion und Vertrieb, um - soweit möglich - das Verkaufsprogramm zu ändern und/oder die Kapazität anzupassen. Bei dauerhaften und deutlichen Ungleichgewichten zwischen Angebot und Nachfrage an Kapazität muss die Geschäftsführung aktiv werden und entsprechende Anpassungen vornehmen (vgl. Wiendahl 2010, S. 274; Lödding 2008, S. 83).

Die Inhalte der Produktionsprogrammplanung sind in *Abbildung 6: Ablauf der Produktionsprogrammplanung* zusammengefasst.

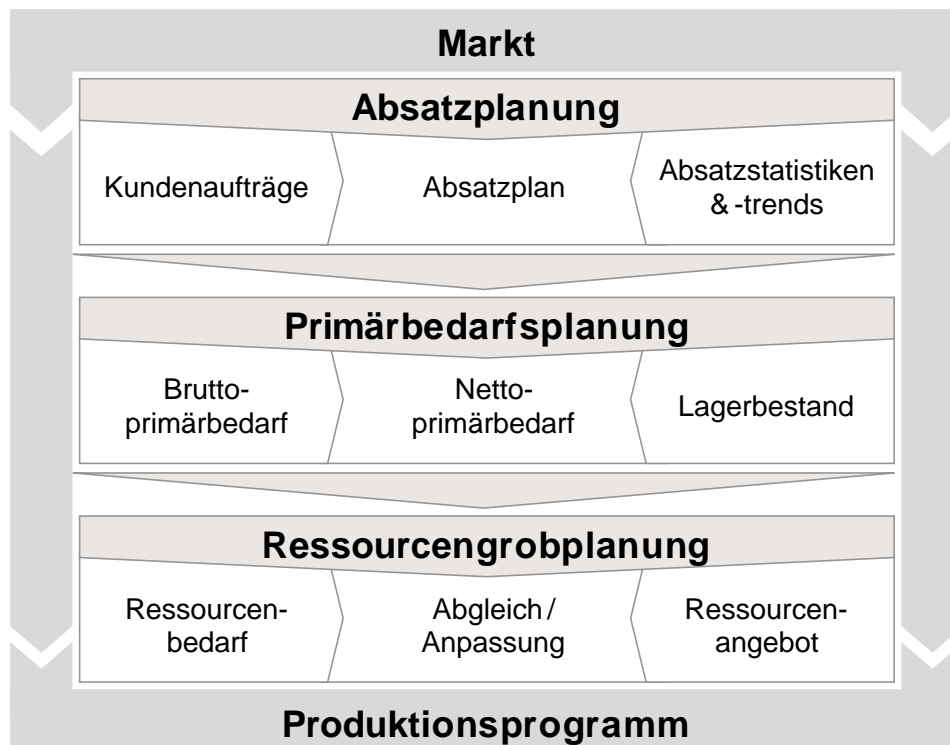


Abbildung 6: Ablauf der Produktionsprogrammplanung

Quelle: Luczak / Eversheim 1998, S. 33

Produktionsbedarfsplanung

Nach dem Aachener PPS-Modell (vgl. Luczak / Eversheim 1998) werden die klassischen Aufgaben der Material- und Zeitwirtschaft mit der Ableitung des mittelfristigen Material- und Ressourcenbedarfs aus dem Produktionsprogramm in der Produktionsbedarfsplanung zusammengefasst. Dazu wird mit den Komponenten der Enderzeugnisse zunächst der Sekundärbedarf ermittelt und dann über die Terminierung der Fertigung der Kapazitätsbedarf bewertet und abgestimmt (vgl. Lödding 2008, S. 84). Das hier sukzessiv dargestellte Vorgehen kann mithilfe aktueller Planungsmethoden des Operations Research, welches im nachfolgenden Abschnitt näher beleuchtet wird, auch simultan gelöst werden (vgl. Schuh 2006, S. 42 f.).

Der **Sekundärbedarf** repräsentiert, wie bereits eingeleitet, die zur Produktion eines Erzeugnisses benötigten Einzelteile und Komponenten und wird demnach aus dem Primärbedarf abgeleitet. Abhängig von der Relevanz und Bedarfskontinuität des Teils, die über eine ABC-/XYZ-Analyse ermittelt werden können, kommen unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung des Sekundärbedarfs zum Einsatz. Die deterministische Bedarfsermittlung folgt per Stücklistenauflösung insbesondere für hochwertige A-Teile und auch für wertige B-Teile unmittelbar aus dem Primärbedarf. Für geringwertige Teile, die auf

Lager gefertigt werden, erfolgt häufig eine verbrauchsbasierte stochastische Bewertung. Heuristische Verfahren sind Schätzwerte, die auf Erfahrungswerten basieren und im Falle fehlender Daten oder volatiler Bedarfsverläufe angewendet werden (vgl. Schuh 2006, S. 43 ff.; Lödding 2008, S. 83 ff.).

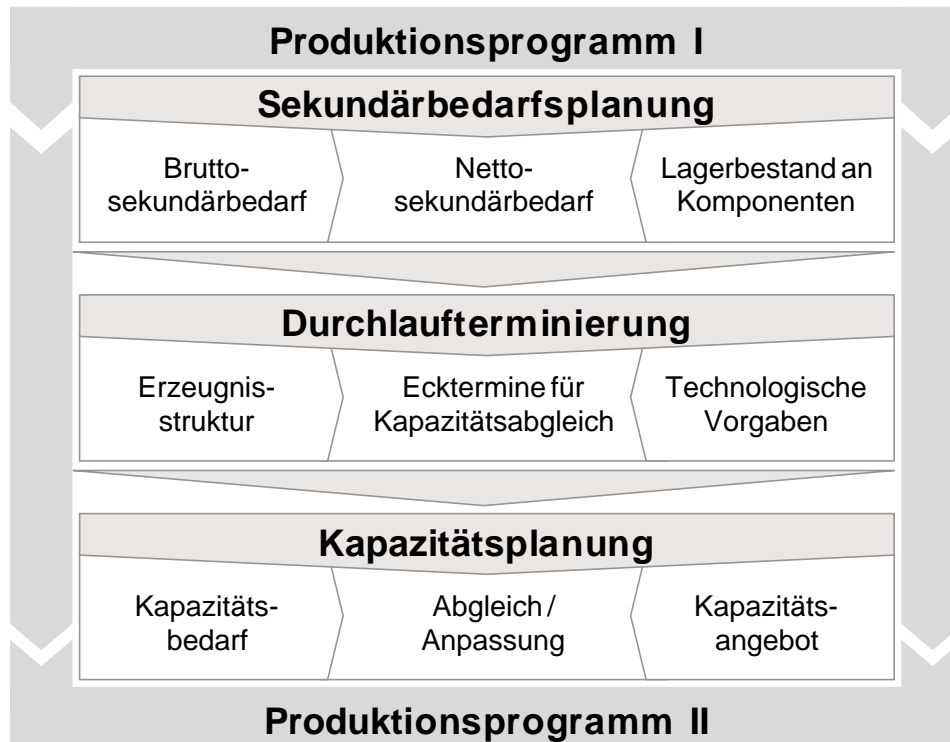


Abbildung 7: Ablauf der Produktionsbedarfsplanung

Quelle: Luczak / Eversheim 1998; Schuh 2006, S. 44

Als Ergebnis der Sekundärbedarfsermittlung und als Basis für die Kapazitätsbewertung erfolgt eine Ableitung der Nettobedarfe über die Bildung der Differenz aus Bruttobedarf und Lagerbestand. Damit dies für die korrekte Planungsperiode geschieht, ist zu beachten, dass der Bedarf eines Teils aufgrund der Durchlaufzeit früher entsteht als der des zugehörigen Erzeugnisses. Durch Hinzufügen einer Vorlaufzeit wird dem Rechnung getragen (vgl. Lödding 2008, S. 84).

Im Anschluss an die Bedarfsermittlung erfolgen die klassischen Aufgaben der Zeitwirtschaft mit der Vergabe von Terminen für die Fertigungsaufträge (Durchlaufterminierung) und darauf aufbauend - oder aufgrund direkter Abhängigkeiten besser im Wechselspiel - die Kapazitätsbedarfsplanung und -abstimmung (vgl. Lödding 2008, S. 85).

Vorrangiges Ziel der **Durchlaufterminierung** ist es, bei gegebenem Plan-Fertigstellungstermin eines Auftrages, den planmäßigen Starttermin für jeden Auftrag zu

ermitteln. Dazu werden zeitliche Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Fertigungsaufträgen und ihren jeweiligen Auftragsdurchlaufzeiten hergestellt. Bei sukzessivem Vorgehen ist das Ergebnis, neben den Plan-Startterminen für die Aufträge, die Plan-Bearbeitungstermine für die einzelnen Arbeitsvorgänge und damit das Kapazitätsbedarfsprofil der Arbeitssysteme so festzulegen, wie es beispielhaft in *Abbildung 8* dargestellt ist (vgl. Wiendahl 2010, S. 317 f.; Lödding 2008, S. 85). Der Genauigkeitsgrad nimmt dabei sowohl in Bezug auf die Granularität der Planungsperioden als auch auf die Produktvariante (Erzeugnisstruktur) und dadurch bedingte Arbeitssysteme zu. Im Vergleich zur Produktionssteuerung erfolgt die Planung in diesem Stadium jedoch noch auf der Grundlage von Engpasskapazitäten oder Kapazitätsgruppen (vgl. Schuh 2006, S. 46; Wiendahl 2005).

Sofern die generelle Kapazitätssituation bekannt und/oder die Durchlaufterminierung iterativ durchschritten wird, bestehen mit der Rückwärts-, Vorwärts- oder Mittelpunktsterminierung drei verschiedene Verfahren für die Durchlaufterminierung. Im Falle frei verfügbarer Kapazitäten wird ausgehend vom Plan-Fertigstellungstermin rückwärts gerechnet. Bei bekannter frühester Kapazitätsverfügbarkeit für einen Auftrag, wird die Plan-Durchlaufzeit hinzugerechnet und somit vorwärts terminiert. Gilt dies nur für ein Sub-Arbeitssystem kann, von diesem Engpass ausgehend, die verbleibende Produktionszeit hinzuaddiert werden. In diesem Fall handelt es sich um die Mittelpunktsterminierung (vgl. Luczak / Eversheim 1998, Lödding 2008, S. 85).

Aufgabe der Kapazitätsbedarfsrechnung ist es, für jede Ressource, bei der es sich neben Maschinen z.B. um Personal, Werkzeuge oder Transportfahrzeuge handeln kann, den erforderlichen Kapazitätsbedarf zu bestimmen. Eingangsgrößen der Kapazitätsbedarfsplanung sind zum einen die terminierten Aufträge mit den Auftragszeiten je Arbeitsvorgang und zum anderen die Plan-Abweichungen, wie zum Beispiel Rückstände durch Qualitätsprobleme (vgl. Lödding 2008, S. 86; Schuh 2006, S. 48).

In der Kapazitätsabstimmung wird der Kapazitätsbedarf dem tatsächlichen Kapazitätsangebot gegenübergestellt (vgl. Wiendahl 2005). Im Falle von Diskrepanzen kann ein Unternehmen über eine optimierte Bearbeitungsreihenfolge atmen, die Kapazitäten an den Bedarf anpassen (Ausnutzung der Kapazitätsflexibilität) oder den Bedarf an die Kapazität (Ausnutzung der Belastungsflexibilität). Bei letzterem wird die Bearbeitung der Arbeitsvorgänge nach hinten verschoben, wobei Interdependenzen im Produktionsablauf zu berücksichtigen und eine Verschiebung des Endtermins eines Auftrags natürlich

zu vermeiden sind (vgl. Lödning 2008, S. 86). Dazu kann auf externe Kapazitäten zugegriffen bzw. können Komponenten und Teile fremdbeschafft werden. Dies ist möglich, sofern auf strategischer Ebene keine strikte Make-or-Buy-Entscheidung in der Beschaffungsartzuordnung getroffen wurde, sondern anteilig selbst produziert und fremdvergeben wird. Ist dies der Fall, kann auf operativer Ebene im Rahmen der jeweiligen Vertragsvereinbarung auslastungsabhängig flexibel agiert werden (vgl. Lödning 2008, S. 88).

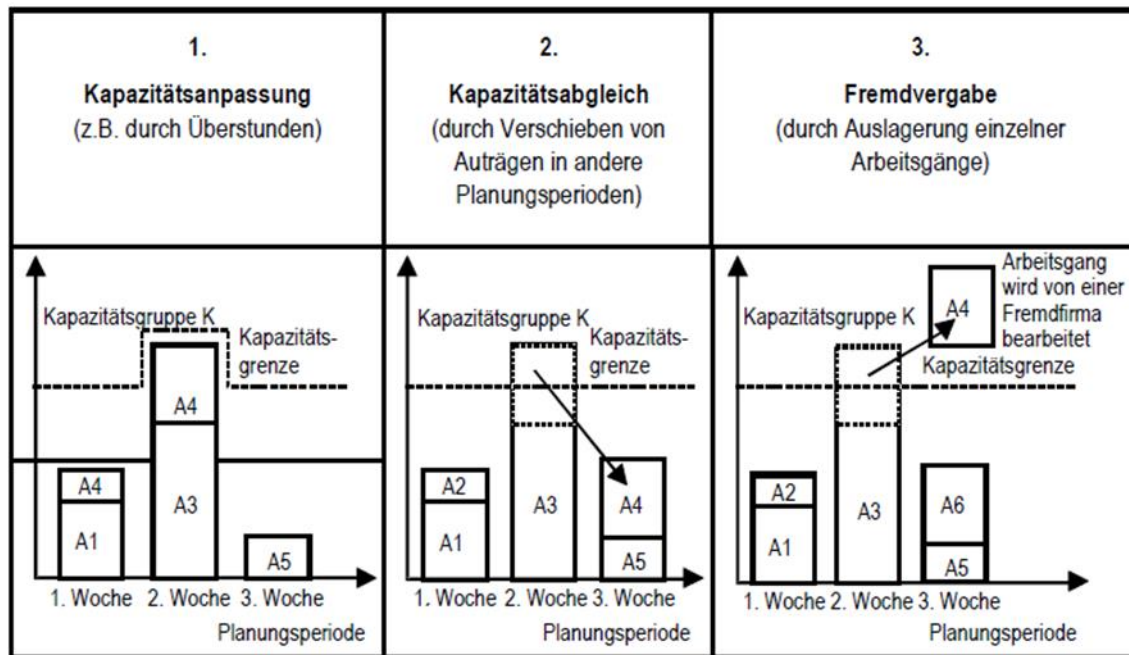


Abbildung 8: Möglichkeiten der Kapazitätsabstimmung

Quelle: Schuh 2006, S. 49

2.2.4 Ablaufplanung und -optimierung anhand quantitativer Methoden

Im Anschluss an die auf Richtwerten basierende Produktionsbedarfsplanung muss der tatsächliche Produktionsablauf möglichst optimal geplant und ausgeführt werden. Das gilt sowohl für selbst gefertigte als auch für fremdbeschaffte Materialien und Komponenten. Diese Aufgabe ist aufgrund der Vielzahl an möglichen Zielsetzungen, Nebenbedingungen und Abhängigkeiten ausgesprochen komplex und bedingt daher in hohem Maße den Einsatz von quantitativen Methoden zur Lösung von Ablaufplanungsproblemen (vgl. Domschke / Scholl / Voß 1993, S. 18). In den nachfolgenden Abschnitten wird ein Überblick zu relevanten Ablaufplanungsproblemen und geeigneten quantitativen Methoden zur Lösung gegeben.

2.2.4.1 Ablaufplanung und Supply Chain Scheduling

Die Ablaufplanung befasst sich mit der zeitlichen Zuordnung und der Reihenfolge von Aktivitäten zu limitierten Ressourcen, wobei unterschiedliche Nebenbedingungen berücksichtigt und bestimmte Ziele erreicht werden sollen (vgl. Sauer 1997, S. 13). Eine in der Literatur häufig anzutreffende lokal isolierte Ausprägung der Ablaufplanung ist die Maschinenbelegungsplanung als Bestandteil der Produktionsprozess- oder Eigenfertigungsplanung (vgl. Domschke / Scholl / Voß 1993, S. 15 ff.; Schuh 2006, S. 48 ff.). Dieses Verständnis definiert die Maschinenbelegungsplanung im engeren Sinne. Im weiteren Sinne können die Erkenntnisse aus diesem Spezialfall jedoch umfassender genutzt werden. Genauso, wie sich Maschinen in Art, Leistung und Kosten unterscheiden, können ganze Werkstätten oder Produktionsstandorte und Lieferanten wie unterschiedliche Maschinen betrachtet werden (vgl. Herrmann 2010, S. 66).

Analog verhält es sich mit dem englischen Begriff des Scheduling. Dieser ist sowohl als Übersetzung der Maschinenbelegungsplanung zu verstehen, als auch als allgemeiner Ausdruck im Bereich der Planung und Steuerung, der detailliert beschreibt, welche Arbeit wann und wo verrichtet werden soll (vgl. Slack / Chambers / Johnston 2007).

Wird die Ablaufplanung über Unternehmensbereiche, -Standorte oder über Unternehmensgrenzen hinweg praktiziert, wird zur Beschreibung dieser Tätigkeit der Begriff des Multi-Site Scheduling oder Supply Chain Scheduling verwendet (vgl. Sauer 2002, S. 3; Herrmann 2010, S. 103). Herrmann (2010, S. 103) bezeichnet die Integration verschiedener Unternehmensbereiche als prozessorientierte Perspektive. Ein Beispiel dafür ist die Verknüpfung der Maschinenbelegungsplanung als Aufgabe der Produktion mit der Transportplanung als Aufgabe der Distribution. Die institutionelle Perspektive hingegen verknüpft, in Analogie zum nachfolgenden Kapitel zum Supply Chain Management, die Planungsprobleme verschiedener Unternehmen. Herrmann (2010) sowie Hall und Potts (2003) beschreiben jeweils Probleme im Kontext von Maschinenbelegungsplanung und Transport. Agnetis / Hall / Pacciarelli (2006) beschreiben einen gemeinsamen optimalen Ablaufplan von Lieferant und Hersteller.

Im Kontext dieser Arbeit wird das Supply Chain Scheduling als Optimierung der Auswahl verschiedener Lieferanten durch ein fokales Unternehmen zur Belieferung von Projektstandorten mit dem Ziel der Gesamtkostenminimierung bei Einhaltung der Liefertermine definiert.

Die Entscheidung zur Beauftragung eines bestimmten Lieferanten für einen bestimmten Projektstandort wird als Auftragszuordnung definiert.

2.2.4.2 Quantitative Methoden des Operations Research

Quantitative Methoden beschäftigen sich, ausgehend von praktischen Problemen, mit der Bildung von Modellen zum Zwecke der Lösungsfindung (vgl. Domschke / Scholl / Voß 1993, S. 35).

Ein Modell ist „eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Systems (...) in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System“ (VDI 2000).

Dazu müssen die in der Realität vorliegenden Parameter und Restriktionen auf die relevanten Aspekte der jeweiligen Untersuchung reduziert werden (vgl. Wyssusek 1999). Modelle weisen einen dualen Charakter auf: Sie sind Abbild der Realität, wenn sie zur Beschreibung und Analyse eingesetzt werden. Außerdem sind sie Vorbild für die Realität, wenn im Modell entstandene Verbesserungsmöglichkeiten im realen System umgesetzt werden (vgl. Schuh / Stich / Schmidt 2008, S. 252). Im Rahmen quantitativer Methoden des Operations Research, womit insbesondere Verfahren der mathematischen Planungsrechnung gemeint sind, werden im wesentlichen Entscheidungs- bzw. Optimierungsmodelle eingesetzt. Dabei handelt es sich um die formale Darstellung von Entscheidungs- oder Planungsproblemen, die unter Einhaltung von Restriktionen aus einer Menge von Alternativen anhand einer Zielfunktion optimale oder annähernd optimale Lösungsvorschläge ermitteln (vgl. Domschke / Scholl / Voß 1993, S. 35).

Optimierungsmodelle, oder wie sie im Operations Research häufig genannt werden, Optimierungsprobleme, die in der Regel unter Berücksichtigung linearer Nebenbedingungen auf die Minimierung bzw. Maximierung eines Zielwerts abzielen, lassen sich wie nachfolgend dargestellt formulieren. Die weiteren Ausführungen erfolgen in Anlehnung an Domschke, Scholl und Voß (1993, S. 36):

$$\text{Minimiere (oder Maximiere)} \quad z = F(x) \quad (1.1)$$

$$\text{unter den Nebenbedingungen} \quad Ax = b \quad (1.2)$$

$$x \in W \quad (1.3)$$

Dabei sind:

$x = (x_1, \dots, x_n)$	Variablenvektor mit n Komponenten x_1, \dots, x_n
$F(x)$	Zielfunktion in Abhängigkeit von x_1, \dots, x_n
$A = (a_{ij})$	Koeffizientenmatrix mit m Zeilen und n Spalten
$b = (b_1, \dots, b_m)$	Vektor der rechten Seite mit m Komponenten
$W = W_1, \dots, W_n$	Wertebereiche der Variablen x_1, \dots, x_n

(1.1) beschreibt eine zu minimierende bzw. zu maximierende (nicht) lineare Zielfunktion. In (1.2) werden die Restriktionen der Optimierung mit so vielen (m) Gleichungen wie zu berücksichtigenden Nebenbedingungen zusammengefasst. Ausdruck (1.3) gibt den zulässigen Wertebereich der (Entscheidungs-) Variablen an, die zum Beispiel auf (nicht-negative) reelle, (nichtnegative) ganzzahlige oder binäre Werte (0 oder 1) beschränkt sein können. Ein Vektor x , der die Bedingungen (1.2) und (1.3) erfüllt, heißt (zulässige) Lösung. Eine optimale Lösung liegt vor, wenn die Zielfunktion darüber hinaus ein globales Minimum oder Maximum annimmt.

In Abhängigkeit von den zulässigen Wertebereichen der Variablen bzw. dem Typ der Zielfunktion und der Nebenbedingungen, werden unterschiedliche Problemklassen und jeweils mögliche Lösungsverfahren unterschieden. Bei der linearen Optimierung dürfen die Variablen alle (zumeist nichtnegativen) reellen Werte annehmen, während sie bei der ganzzahligen (linearen) Optimierung auf ganzzahlige oder binäre Werte begrenzt sind. Bei beiden Varianten sind die Zielfunktion(en) und Nebenbedingung(en) linear. Viele kombinatorische Optimierungsmodelle, sofern sie zur Lösung von Zuordnungsproblemen eingesetzt werden, lassen sich als ganzzahlige Optimierungsmodelle formulieren. Ein solches liegt auch bei der in dieser Arbeit behandelten Zuordnung von Lieferanten zu Windparks vor. Die nichtlineare Optimierung komplettiert diese Darstellung und ist durch eine nichtlineare Zielfunktion und/oder mindestens eine nichtlineare Nebenbedingung gekennzeichnet.

Um für die genannten Modelle optimale Lösungen zu erarbeiten, bedarf es Verfahren, die Eingabedaten in einer definierten Reihenfolge und in endlich vielen Operationen zu Ergebnissen umzuformen. Solch ein Lösungsverfahren wird Algorithmus genannt. Der Rechenaufwand oder die Komplexität eines Algorithmus wird vereinfachend in polynomial lösbar und nicht-polynomial lösbar (nicht-polynomial), Klassen unterteilt. Bei

nicht-polynomialen Problemen steigt der Rechenaufwand bei zunehmender Menge an Eingabedaten überproportional oder exponentiell an, so dass die Dauer zur Erzielung einer exakten Lösung mitunter sehr groß wird. In solchen Fällen kommen heuristische Verfahren (Heuristiken) zur Anwendung, die zwar keine Garantie auf eine optimale Lösung bieten, die Dauer zur Erlangung eines guten Ergebnisses jedoch deutlich reduzieren können.

Anhand der Formulierung des Problems, wie zum Beispiel dem Umfang der im Rahmen der Optimierung zu berücksichtigenden Nebenbedingungen, kann das Lösungsverfahren und damit auch der Lösungsaufwand beeinflusst werden. Diese Aussage lässt erkennen, dass die Bewertung eines Modells nicht ausschließlich auf seiner Lösungsqualität basiert, sondern Aufwand und Nutzen im Verhältnis stehen müssen. Im nachfolgenden Abschnitt werden dazu Aspekte und Kriterien definiert, anhand derer die Güte eines Modells bewertet werden kann.

2.2.4.3 Aspekte und Kriterien zur Methoden- und Modellevaluierung

Bevor mit der Entwicklung der Methodik begonnen wird, sollen neben den damit verbundenen Zielen auch die Aspekte und Kriterien definiert werden, anhand derer die Güte der Methodik und der enthaltenen Modelle bewertet werden kann. Ein Auszug der nach Meißner (2006) relevanten Bewertungsaspekte und -kriterien im Bereich von Forschung und Entwicklung sind in der nachfolgenden Graphik aufgelistet:

Bewertungsaspekt	Bewertungskriterien
Problemdefinition	Verallgemeinerbarkeit
Gültigkeit (Validität)	Formal (Daten), empirisch (Struktur / Verhalten), pragmatisch (Zweck)
Lösungsmächtigkeit (Effektivität)	Lösungswahrscheinlichkeit, Lösungsqualität
Lösungsaufwand (Effizienz)	Datenversorgung, Implementierungs- und Betriebsaufwand
Benutzbarkeit	Anwendungsfreundlichkeit, Verständlichkeit

Abbildung 9: Relevante Bewertungsaspekte und -kriterien im Bereich von Forschung und Entwicklung

Quelle: In Anlehnung an Meißner 2006, S. 5

Die Problemdefinition als erster Bewertungsaspekt soll laut Meißner (2006) im Bereich von Forschung und Entwicklung möglichst verallgemeinerbar sein. Das Bewertungskriterium ist also, ob eine Lösung nur für ein spezifisches Problem, oder in ähnlicher Form auch umfassender angewendet werden kann. Laut Sargent (vgl. 2014, S. 121), der im Bereich der Validierung von Simulationsmodellen forscht, soll ein Modell jedoch nicht mehr können, als von ihm per Anforderungsdefinition verlangt wird. Diese Sichtweise wird von Balci (1995, S. 148ff.) gestützt, der eine hohe Genauigkeit der Problemformulierung fordert und somit die Breite einer Anwendung im Sinne seiner Passgenauigkeit eher einschränkt.

Die Gültigkeit oder Validität einer Methode wird nach Meißner (2006) daran gemessen, ob es formal korrekt ist, ob es sich wie erwartet verhält und ob es seinem Zweck entspricht. Die formale Gültigkeit bezieht sich insbesondere auf die Daten, die einem Modell zugrunde liegen. Laut Sargent (2014, S. 121f.) muss Modellvalidierung immer mit einer Datenvalidierung verknüpft sein, da Datenungenauigkeit häufig der Grund für eine Modellinvalidität ist. Empirische Validität kann durch Messung erfolgen, indem die Ergebnisse oder Vorhersagen des Modells mit denen der Realität verglichen werden. Pragmatische Gültigkeit wird anhand der Frage geprüft, ob das Modell seinen Zweck erfüllt.

Diese Frage kann in Abhängigkeit vom betrachteten Modell binär mit „wahr“ oder „falsch“ beantwortet werden (Turing-Test-Prozess nach Schruben, 1980, S. 101f.). Oft ist das Bewertungskriterium aber, wie wahrscheinlich das Finden einer Lösung ist bzw. wie gut deren Qualität eingeschätzt wird. Mit dieser Effektivität eines Modells befasst sich der dritte Bewertungsaspekt nach Meißner (2006). Während die subjektive oder informelle Validitätsprüfung ohne mathematische Formalisierung zum Beispiel anhand der Bewertung durch einen Experten erfolgen kann, werden für die objektive Prüfung statistische Tests wie das Korrelationsmaß oder Konfidenzintervalle herangezogen (Schlesinger 1979, S. 204; Klemmer et al. 2011, S. 750f.; Oberkampf / Trucano 2008, S. 218).

In der Isonorm 9241-11 wird Effektivität beschrieben als: „The accuracy and completeness with which (...) users can achieve specified goals in particular environments“. Effizienz wird in der selben Isonorm beschrieben als „The resources expended in relation to the accuracy and completeness of goals achieved“. Bei der Effizienz werden also Aufwand und Nutzen ins Verhältnis gestellt. Meißner (2006) nennt als Bewertungskrite-

rien die Datenversorgung sowie den Implementierungs- und Betriebsaufwand. Wie im Absatz zur Validität bereits erwähnt, ist Datenungenauigkeit häufig der Grund für eine Modellinvalidität. Zudem wird Sargent (2014) im Absatz zur Problemdefinition bereits mit der Forderung zitiert, dass Modelle nur das können sollen, was von ihnen gefordert wird. Im Bereich der Modelleffizienz werden diese Aspekte nachvollziehbar, denn mit zunehmendem Datenbedarf steigt sowohl die Arbeit zum Aufsetzen oder Implementieren eines Modells, als auch der Aufwand, es aktuell zu halten. Mit zunehmendem Betriebsaufwand oder abnehmender Effizienz sinkt somit sogar die Wahrscheinlichkeit, dass am Ende valide Resultate erzeugt werden. Die Effektivität eines Modells hängt im Rahmen der Anwendung also von seiner Effizienz ab.

Auch die Bewertungsaspekte Effizienz und Benutzerfreundlichkeit (Meißner 2006) scheinen sich zunächst zu überschneiden bzw. ist eine positive Bewertung der Anwendungsfreundlichkeit nur schwer vorstellbar, wenn der Betrieb des Modells mit hohem Aufwand zum Beispiel in der Versorgung mit korrekten Daten einhergeht. Gleichwohl kann die Anwendung eines Modells einfach und verständlich sein, auch wenn die diskutierten Bewertungskriterien zur Effizienz nicht günstig bewertet werden. Die Benutzbarkeit wird von verschiedenen Autoren als zentraler Bestandteil für eine positive Modellevaluierung bewertet (Gass / Joel 1981, S. 342f.). So wird der Übergang von der Adaption zur Nutzung vor allem durch die Nutzerzufriedenheit und die wahrgenommene Nützlichkeit beeinflusst (Bhattacharjee, 2001, S. 355). Um die Akzeptanz des Anwenders zu gewinnen, wird im Informations Service (ISE)-Modell spezifisch der Aspekt Spaß bei der Anwendung genannt und „Gamification“, also das spielerische Erleben der Anwendung, als einen Ansatz, um das zu erzielen.

Schon Einstein hat die Aspekte zur Methoden- und Modellevaluierung wie folgt treffend zusammengefasst: “It has been said, that a problem correctly formulated is half solved. The ultimate goal is not to find the solution to a problem but to produce a correct one that will be accepted and used.” (Einstein in Balci / Nance 1985, S. 76).

2.2.5 Supply Chain Management

Im Zuge der Konzentration auf wettbewerbsrelevante Kompetenzen und der folgerichtigen Reduzierung der Fertigungstiefe vieler Unternehmen rückten überbetriebliche Kooperationen zunehmend in den Mittelpunkt der unternehmerischen Planung (vgl. Schuh 2006, S. 3, S. 28). Die vom Produktionsmanagement zu leistenden Planungsaufgaben

können in den im vorhergehenden Abschnitt kategorisierten betriebsübergreifenden Lieferketten und Produktions- oder Wertschöpfungsnetzwerken, der sogenannten **Supply Chain**, (vgl. Schönsleben 2011, S. 12; Beckmann 2004; Busch / Dangelmaier 2004; Corsten / Gössinger 2001), nicht isoliert betrachtet werden, da sie in engem Zusammenhang mit Managemententscheidungen der Lieferanten und Kunden des Produktionsunternehmens stehen (vgl. Dyckhoff / Spengler 2010, S. 33).

In der Folge zunehmender Verflechtung komplexer Leistungserstellungsprozesse hat sich der Gegenstand der Logistik vom einzelnen Unternehmen auf das Produktionsnetzwerk ausgeweitet (vgl. Wiendahl 2010, S. 250; Killich / Luczak 2003; Corsten / Gössinger 2001; Sydow / Windeler 1999), was durch Innovationen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) noch beschleunigt wurde und so den Weg zum **Supply Chain Management** (SCM) bereitete (vgl. Götze 2003, S. 251 ff.; Weber 2002, S. 5).

Dessen Aufgaben liegen im Design der Struktur, der Planung, Steuerung und Überwachung der Material-, Informations- und Werteflüsse entlang der Supply Chain. Die Erfüllung dieser Aufgaben misst sich zunächst an der Kundenzufriedenheit, die sich maßgeblich durch den Preis, die Qualität und Liefertreue ergibt. Gleichzeitig soll der Aufwand aus Beständen, Prozess- und Transportkosten gering gehalten werden und sich flexibel an die Dynamik des Marktes anpassen können (vgl. Wiendahl 2010, S. 250; Corsten / Gabriel 2004; Stadtler / Kilger 2008, S. 11; Schönsleben 2011, S. 14).

Aus der Breite der Aufgaben und Ziele des Supply Chain Management lässt sich die Notwendigkeit einer hierarchischen Strukturierung, analog zum Produktionsmanagement in Abschnitt 2.2.2 *Produktionsmanagement*, ableiten:

In der strategischen Planung, dem **Supply Chain Design**, erfolgt die Ausrichtung und grundlegende Gestaltung des Wertschöpfungsnetzwerks derart, dass die geforderte logistische Leistung zu minimalen Kosten erreicht werden kann (vgl. Wolff / Groß 2008, S. 123). Diese Anforderung kann im Rahmen einer langfristig strukturellen Gestaltung der Supply Chain allein jedoch nicht hinreichend erfüllt werden. Es bedarf auch der notwendigen Flexibilität, um sich an eine dynamische Umwelt mit ihrem stetigen Adaptionsbedarf anzupassen (vgl. Nedeß 1997, S. 203 ff.). Dies muss auf der taktisch planenden und operativ ausführenden Ebene im Bereich des **Supply Chain Planning** bzw. den **Supply Chain Operations** geschehen (vgl. Chopra / Meindl 2004, S. 9 f.).

Wolff und Nieters (2002, Kap. 3.5.2.) fügen mit dem **Supply Chain Monitoring** ein Instrument hinzu, welches dem Controlling von Logistikleistung und -kosten auf allen drei genannten Ebenen dient und durch weitreichende IT-Integration bei geringen Prozesskosten ermöglicht wird (vgl. Wolff / Groß 2008, S. 133; Hellingrath / Eberhardt 2006, S. 96).

Auch Schuh (2006, S. 3 ff.) sieht das Netzwerk als wichtigste und modernste Organisationsform produzierender Unternehmen. Als Folge fügt er dem Aachener PPS-Modell Netzwerkaufgaben hinzu, die, in Analogie zur Forschung im Bereich Supply Chain Management, ein Vorgehen von der strategischen Konfiguration des Netzwerks bis zur taktischen Kapazitätszuordnung im Netzwerk abbilden.

Diese Netzwerkaufgaben weisen mitunter deutliche Parallelen zu dem unter den Unterpunkten Produktionsplanung und -steuerung vorgestellten Vorgehen auf. Der Unterschied liegt in der Anwendung auf inter- wie intraorganisationalen Produktionsnetzwerken anstelle lokaler Produktionsstätten (vgl. Schuh 2006, S. 31). Darüber hinaus erfolgt wie im Supply Chain Design die Konfiguration des Netzwerks, also die Festlegung der Stufigkeit und Kapazität, der Anzahl und Lage der Standorte sowie der Transportrelationen zwischen Standorten (vgl. Wolff / Nieters 2002, Kap. 3.5.2). Zudem wird die Wertschöpfungstiefe festgelegt, nachdem die Tätigkeit oder Technologie mit dem eigenen Kompetenzprofil abgeglichen und mögliche interne wie externe Netzwerkpartner im Rahmen von Make-or-Buy-Analysen bewertet wurden (vgl. Schuh 2006, S. 32; Hungenberg 1999; Hahn / Hungenberg / Kaufmann 1994; Pfohl / Large 2003, S. 438). Nachdem die grundsätzliche Struktur des Netzwerks definiert ist, wird es in der mittleren Frist rollierend mit Bedarfen belegt, die aus der Absatzplanung folgen. Hierbei werden eine zentrale und eine dezentrale Vorgehensweise unterschieden. Bei der zentralen Variante, die insbesondere in konzernartigen Strukturen bei vergleichbaren Absatzmärkten oder Produkten zur Anwendung kommt, werden die Absatzmengen für das gesamte Netzwerk aggregiert ermittelt. Beim dezentralen Konzept wird die Absatzwartung hingegen regional oder nach Produktgruppe erhoben und dann konsolidiert (vgl. Schuh 2006, S. 33 f.). Im Anschluss können auf Basis von Struktur und Durchsatz des Netzwerks die Planbedarfe mit den Kapazitäten der Netzwerkpartner abgeglichen und verteilt werden.

2.2.6 Supply Chain Risiko

Wie im Abschnitt 2.2.1 zu den *Entwicklungslinien vom Produktions- zum Supply Chain Management* bereits genannt wurde, ist der Abbau von Redundanzen in der Lieferkette unter dem Eindruck der „lean logistics“-Prinzipien ein ausschlaggebender Faktor für die Relevanz von Supply Chain Risiko als Forschungsfeld. Zwar reduziert eine transparente Supply Chain die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Störungen. Im Falle eines Risikoereignisses kann sich dieses jedoch in einer Art Dominoeffekt durch die gesamte Kette fortsetzen und im kumulativen Fall mit jeder Stufe verstärken (vgl. Jüttner / Peck / Christopher 2003, S. 203).

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass Risiken aus der Supply Chain von Unternehmen am bedeutsamsten eingeschätzt werden (vgl. Kersten et al. 2006a, S. 6) und, dass sich die Risikoexposition durch die zunehmende Vernetzung für die beteiligten Unternehmen erhöht (vgl. Kajüter 2009, S. 13; Zsidisin / Ragatz / Melnyk 2005, S. 46 ff.). Zu der Frage, was genau Supply Chain Risiken sind, gibt es unterschiedliche Antworten:

Norrman (2003, S. 263) definiert sie als "risks related to the logistics activities in companies' flows of material and information" und konzentriert sich damit auf die ausführende Logistik.

Böger (2010, S. 34) formuliert ihre Definition zum Supply Chain Risiko allgemeiner als das potentielle Auftreten eines Ereignisses oder einer Entwicklung, dessen oder deren Eintreten mindestens zwei Unternehmen betrifft und zu einer negativen Zielabweichung in der Supply Chain führen kann. Damit grenzt sie allgemeines Risiko von Supply Chain Risiko darüber ab, ob ein oder mehrere Unternehmen bei Eintreten eines Risikoereignisses betroffen sind.

Christopher / Peck (2004, S. 5) teilen Supply Chain Risiken in drei Bereiche auf: Risiken innerhalb eines fokalen Unternehmens, Risiken außerhalb dieses Unternehmens aber innerhalb der Supply Chain sowie Risiken aus dem Umfeld (vgl. Pfohl 2008, S. 23). Innerhalb des fokalen *Unternehmens* werden Prozess- und Steuerungsrisiken unterschieden. Prozessrisiken stellen typischerweise Störungen in der Produktion oder anderer interner Prozesse mit dem Effekt dar, dass eine Leistung nicht erstellt werden kann. Steuerungsrisiken hingegen sind auf fehlerhafte Entscheidungen oder Entscheidungsregeln zurückzuführen, mit denen eine Organisation ihre eigenen Prozesse und die

Prozesse bei Zulieferern und Abnehmern koordiniert und dabei Störungen verursacht (vgl. Böger 2010, S. 34; Pfohl 2008, S. 24).

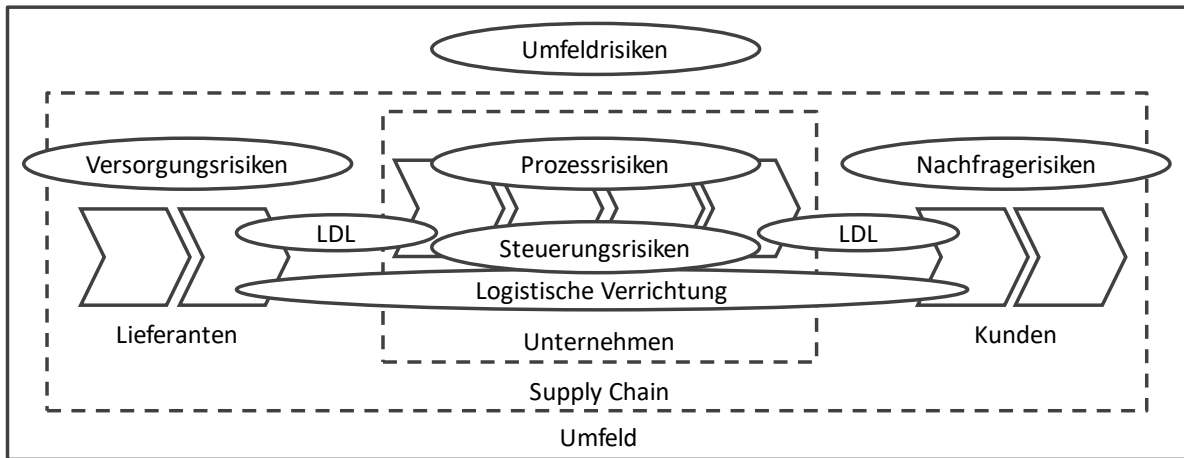


Abbildung 10: Strukturierung von Risikoquellen in der Supply Chain

Quelle: In Anlehnung an Christopher / Peck 2004, S. 5

Risiken auf der *Supply Chain* Ebene werden insbesondere durch Störungen im Material-, Informations- oder Finanzfluss ausgelöst (vgl. Kersten et al. 2006a, S. 5). So stellt beispielsweise die Insolvenz eines Lieferanten ein erhebliches Versorgungsrisiko dar, während lieferantenseitige Fertigungsprobleme oder -engpässe zwar weniger einen Ausfall, sehr wohl aber eine mengenmäßige Unterlieferung, beziehungsweise eine verspätete Lieferung verursachen können. Neben solchen mengen- und zeitbezogenen Abweichungen beschreibt Müssigmann (2006, S. 216) in Anlehnung an Zsidisin (2003) Qualität als weiteres Kriterium, das im Falle von Abweichungen von der definierten Produktspezifikation zum Beispiel in den Bereichen Belastbarkeit, Design oder Haltbarkeit zu Versorgungsrisiken führt.

Nachfragerisiken werden durch Kunden verursacht und äußern sich teils in zyklisch wiederkehrenden, also saisonalen, teils aber auch in nicht planbaren stochastischen Bedarfsschwankungen (vgl. Pfohl 2008, S. 24). Der Materialfluss bildet die physische Verbindung zwischen den Entitäten der Lieferkette. Verschiedene dazugehörige verrichtungsspezifische Subsysteme der Logistik wie Lagerhaltung oder Transport (vgl. Pfohl 2008, S. 68) liegen heute häufig in der Hand von Logistikdienstleistern (LDL). Das fokale Unternehmen tritt hier zum Teil nur als Koordinator auf, der den Materialfluss vom Lieferanten direkt zum Endkunden steuert.

Das *Umfeld* als alles umklammernder Bereich fasst potentielle Schäden aufgrund von sozio-politischen oder naturbedingten Katastrophen, makroökonomischen Verwerfun-

gen oder technischen sowie regulatorischen Veränderungen zusammen (vgl. Christopher, 2005). Aufgrund der komplexen Ursache-Wirkungsbeziehungen ist eine eindeutige Zuordnung in den jeweiligen Bereich nicht immer möglich (vgl. Kajüter 2003, S. 111 ff.). So verursachen Veränderungen auf der Nachfrageseite, beispielsweise ausgelöst durch makroökonomische Schocks im Umfeld, in der Regel gravierendere Marktbewegungen als zyklisch wiederkehrende saisonale Schwankungen.

Im Fokus dieser Arbeit liegen Steuerungsrisiken in der Koordination zur Versorgung des fokalen Unternehmens bzw. des Endkunden direkt, unter dem Eindruck eines erhöhten Nachfragerisikos, ausgelöst durch geringe Prognostizierbarkeit und hohe Marktvolatilität. Dabei spielen auch Risikokosten eine Rolle, die im Rahmen der logistischen Verrichtung entstehen, also beispielsweise beim Transport. Auch Umfeldrisiken sind Teil der Betrachtung, wenngleich sie von den Teilnehmern der Wertschöpfungskette nicht, oder nur unter hohem Aufwand beeinflusst werden können.

Damit ergibt sich eine hohe Übereinstimmung mit der Definition von Kersten et al. (2006a, S. 5), die zudem quantifizierbare Risikoereignisse beschreiben, welche für diese Arbeit von besonderer Bedeutung sind:

„Supply chain risk is the damage - assessed by its probability of occurrence - that is caused by an event within a company, within its supply chain or its environment affecting the business processes of at least one company in the supply chain negatively”.

Die Herausforderung besteht nun darin, adäquat auf diese Risiken zu reagieren und sie zu managen. Das ist Inhalt des folgenden Abschnitts.

2.2.7 Supply Chain Risikomanagement

Der in Kapitel 2.1.2.1 beschriebene Prozess des Risikomanagements mit den Phasen der Identifikation, Bewertung, Steuerung und Kontrolle trifft auch auf das Supply Chain Risikomanagement zu (Chapman et al. 2002; Norrman / Jansson 2004). Der Unterschied liegt in der vertikal integrierten, also unternehmensübergreifenden Betrachtungsweise des Risikos und den daraus folgenden erweiterten Anforderungen an das Management dieser Risiken. Dazu zählen die heterogene Risikobereitschaft in und Informationsasymmetrien zwischen den beteiligten Unternehmen, die Abneigung gegenüber der Offenlegung risikorelevanter Informationen sowie unterschiedliche (Unterneh-

mens-) Kulturen oder regulatorische Anforderungen aufgrund der Internationalität vieler Lieferketten (vgl. Kajüter 2003, S. 111; Kersten et al. 2006a, S. 18; Pfohl 2008, S. 26).

Ausgehend vom unternehmensinternen Risikomanagement, das stets Bestandteil der Betrachtung bleibt, lassen sich in der Literatur verschiedene Entwicklungsstufen hin zu einem umfassenden Supply Chain Risikomanagement differenzieren, wenngleich deren Grenzen in der praktischen Ausgestaltung oft fließend sind. Deren folgende Darstellung basiert weitgehend auf den Arbeiten von Pfohl (2008) und Kajüter (2003; 2007).

Das Risikomanagement mit Supply Chain Orientierung betrachtet zwar Risiken, die von der Supply Chain ausgehen, jedoch steht deren Auswirkung auf die Ziele der Beschaffung, d.h. Versorgungssicherheit, Kosten und Qualität, im Mittelpunkt. Der betrachtete Umfang der Lieferkette ist mit einer Stufe genauso wie die Kooperationsintensität eher gering. Das äußert sich insbesondere in einem begrenzten Austausch von Informationen über Supply Chain Risiken, der mit einer weitgehend geschäftlich orientierten und weniger vertrauensvollen Verbindung einhergeht.

Die nächste Stufe des dyadischen Supply Chain Risikomanagement wird demnach dann erreicht, wenn der Informationsaustausch zwischen zwei Partnern intensiviert wird und sich die rein transaktionsorientierte Beziehung zu einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit hin entwickelt. Nur wenn das Wissen über Versorgungs- oder Nachfrage Risiken möglichst ungefiltert geteilt wird, können Versorgungsrisiken auch auf tieferen Ebenen der vor- und nachgelagerten Partner in der Lieferkette identifiziert und vermieden werden. Dadurch wachsen gleichzeitig der betrachtete Umfang und die Ausrichtung in der Lieferkette. Tatsächlich vereiteln die eingangs dieses Abschnitts genannten Herausforderungen meist die Realisierung einer unternehmensübergreifend harmonischen Zusammenarbeit. Vielmehr wird von fokalen Unternehmen vorgeschrieben, welche Anforderungen die Lieferanten bezüglich des Risikomanagements zu erfüllen haben.

Da im Geflecht heutiger Wertschöpfungsnetzwerke mit abnehmender Wertschöpfungstiefe und zunehmend komplexen Geschäftsbeziehungen große Risikopotentiale liegen (vgl. Norrman / Jansson 2004, S. 434; Jüttner / Peck / Christopher 2003, S. 202), geht die Forderung der Wissenschaft nach einem netzwerkweiten Supply Chain Risikomanagement noch weiter. Auf dieser höchsten Entwicklungsstufe sollen sämtliche Unternehmen der Wertschöpfungskette miteinander strukturiert kooperieren und die unternehmensübergreifenden Risikomanagementaktivitäten als integralen Bestandteil der

gemeinsamen Planungs- und Kontrollprozesse koordinieren. Kajüter (2007, S. 22) definiert erst diesen Zustand als Supply Chain Risikomanagement und auch Tang (2006, S. 453) versteht es als: „Management of supply chain risks through coordination or collaboration among the supply chain partners so as to ensure profitability and continuity“.

Im Fokus dieser Arbeit liegt unter Berücksichtigung der Minderung der eigenen Risikoexposition bei der Zuordnung von Lieferanten zu Windenergieprojekten das Risikomanagement mit Supply Chain Orientierung.

Demnach wird Supply Chain Risikomanagement im Rahmen dieser Arbeit definiert als das Management der Risiken, die von der Supply Chain ausgehen und die Zielerreichung mindestens eines Unternehmens in der Supply Chain negativ beeinflussen können.

Als Schnittstelle der Gebiete Supply Chain Management und Risikomanagement können die verwendeten Methoden im weiteren Verlauf damit aus beiden Bereichen adaptiert und angewendet werden (vgl. Böger 2010, S. 36).

2.2.7.1 Bewertung und Prognose von Risikokosten in der Supply Chain

Die vorab genannten Informationsasymmetrien zwischen den beteiligten Unternehmen in der Supply Chain können für die Risikoidentifizierung eine große Herausforderung darstellen. Wohl aber können mit den betreffenden Lieferanten die Risikoquellen definiert werden. Ziel dieses Abschnittes ist es, darüber hinaus mögliche Verfahren zur quantitativen Bewertung und Prognose der von den Lieferanten ausgehenden Risikokosten in der Supply Chain vorzustellen und zu diskutieren.

Wie in Abschnitt 2.1.2.1 *Risikomanagementprozess* bereits erläutert wurde, hängt die Qualität einer derartigen Bewertung weitreichend von der Datenverfügbarkeit und -qualität ab (vgl. Burger / Buchhart 2002, S. 101). Um eine möglichst genaue Quantifizierung zu ermöglichen, idealerweise in monetären Einheiten (vgl. Burger / Buchhart 2002, S. 102; Moser 2011, S. 39), empfiehlt sich die kontinuierliche Pflege der Bewertungsergebnisse in einer Datenbank (vgl. Pfohl 2008, S. 14).

Nachdem die relevanten Risikoquellen in der Supply Chain identifiziert sind, bedarf es statistischer Verfahren, um aus den gesammelten Vergangenheitsdaten möglichst valide Prognosen für zukünftige Risikokosten abzuleiten. Im Folgenden werden neben all-

gemeinen Methoden der Zeitreihenanalyse auch spezifische Prognoseverfahren der Materialbedarfsplanung vorgestellt, da in dieser Disziplin mit ihrem zentralen Bestandteil der Prognose von Materialbedarfen im Umfeld von Produktionsnetzwerken vergleichbare Voraussetzungen vorliegen.

Um also die zukünftige Ausprägung einer Variablen, wie dem Bedarf nach einem Produkt oder der Höhe der Risikokosten in der Turmbelieferung eines Windparks zu prognostizieren, bedarf es Daten zu deren Ausprägung in der Vergangenheit. Diese Daten werden als Zeitreihe interpretiert, d.h. als eine zeitlich geordnete Folge von Periodenbedarfsmengen (vgl. Tempelmeier 2006, S. 32). In der Statistik sind verschiedene Typen von Zeitreihen oder Verlaufsmodellen definiert, die jeweils charakteristische Merkmale aufzeigen und für die spezifische Methoden vorliegen, um ihre zukünftige Ausprägung zu prognostizieren (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 89). Tempelmeier (2006, S. 33) unterscheidet hier zunächst in Zeitreihen mit regelmäßigem und unregelmäßigem Verlauf, wobei unregelmäßig bedeutet, dass in relativ vielen Perioden beispielsweise kein Bedarf eines Produktes vorliegt (vgl. Tempelmeier 2006, S. 86), also der Wert der Variablen gleich null ist. Im Umkehrschluss weist ein regelmäßiger Verlauf meist Werte größer null auf, die einem gleichmäßig um einen Mittelwert verteilten stationären, saisonalen oder trendartigen Verlauf folgen können (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 90). Die verschiedenen Zeitreihenverläufe sind zur Verdeutlichung in der folgenden Übersicht graphisch dargestellt:

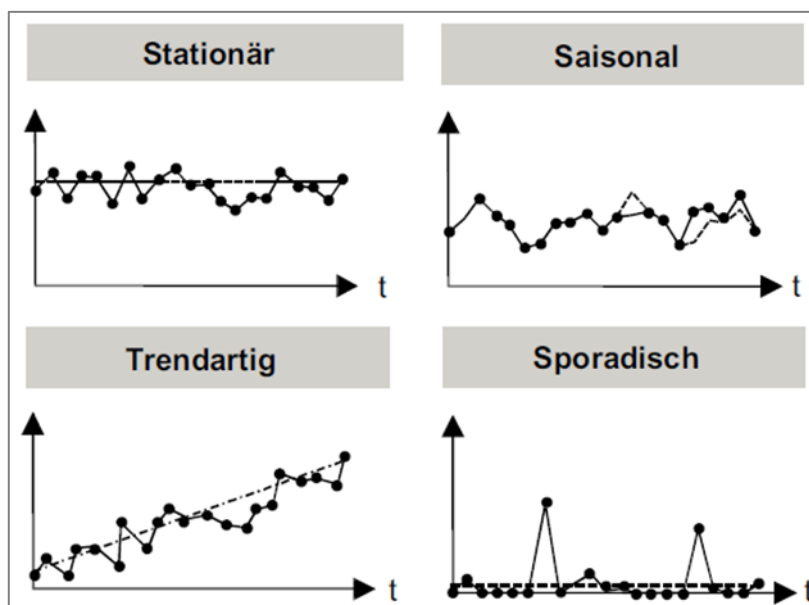


Abbildung 11: Typische Zeitreihenverläufe
 Quelle: Stich / Hering / Brosze 2013, S. 90

Den verschiedenen Prognosemodellen liegt eine Vielzahl verschiedener mathematischer Verfahren zugrunde, wovon die Methode des gleitenden Mittelwerts, die Regressionsanalyse sowie die exponentielle Glättung in verschiedenen Ordnungen, Abwandlungen und Kombinationen am häufigsten eingesetzt werden (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 90; Stadtler / Kilger 2005, S. 144; Tempelmeier 2006, S. 40 f.). Zur Identifikation eines adäquaten Prognoseinstruments für diese Arbeit werden die einzelnen Methoden nachfolgend vorgestellt und ihr Anwendungsspektrum vergleichend diskutiert.

Regressionsanalyse

Die lineare Regressionsanalyse ist ein statistisches Verfahren zur Quantifizierung des funktionalen Zusammenhangs zwischen einer abhängigen und einer (oder mehreren) unabhängigen Variablen. In den bereits kurz umrissenen Anwendungsfällen kann die Zeit als unabhängige Variable und die Zeitreihe, beispielsweise der Risikokosten eines Lieferanten, als abhängige Variable verstanden werden (vgl. Tempelmeier 2006, S. 51). Mittels Regressionsanalyse folgt eine Funktion, deren Lage zu den vorliegenden Ausprägungen der Variablen durch die Minimierung der Fehlerquadrate ermittelt wird (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 91). Die Regressionsanalyse wird in ihrer einfachen Ausprägung mit einer unabhängigen Variablen insbesondere zur Prognose von trendförmigen Verläufen angewendet, während multiple Ansätze mit mehreren unabhängigen Variablen im Falle von saisonalen Zeitreihen eingesetzt werden (vgl. Tempelmeier 2006, S. 51; S. 81).

Gleitender Mittelwert

Das Verfahren des gleitenden Mittelwerts bildet eine Prognose durch die Berechnung von Mittelwerten der vorliegenden Verbrauchsdaten, welche sich rollierend verschieben. Das heißt, dass bei Vorliegen eines aktuellen Verbrauchswerts der jeweils älteste Verbrauchswert der Reihe substituiert wird (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 91). Eine zunehmende Länge der Reihe führt zu einer Reduzierung von zufallsbedingten Unregelmäßigkeiten im Verlauf, was zu adäquaten Resultaten für stationäre Zeitreihen führt. Für trendartige oder saisonale Verläufe ist es jedoch kaum brauchbar (vgl. Stadtler / Kilger 2005, S. 145). Bei kleinen Stichprobenumfängen können Ausreißer die resultierenden Prognosewerte zudem teils deutlich und nachhaltig verzerren, da jede Beobach-

tung im Hinblick auf die Errechnung des Prognosewerts dasselbe Gewicht erhält (vgl. Tempelmeier 2006, S. 43).

Exponentielle Glättung

Im Kontrast zum gleitenden Mittelwert, bei dem alle Ereignisse im Verlauf der Zeitreihe gleich gewichtet werden, kann dies bei der exponentiellen Glättung in unterschiedlicher Ausprägung erfolgen (vgl. Tempelmeier 2006, S. 43). Technisch wird das realisiert, indem der jeweils neue Prognosewert um den gewichteten Prognosefehler des letzten Prognosewerts korrigiert wird (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 91). Der Glättungsparameter α beeinflusst dabei, wie stark der aktuell beobachtete Wert in die Prognose für die nächste Periode eingeht. Wenn α groß gewählt wird, reagiert die Prognose stark auf Veränderungen im Bedarfsverlauf, während sich der neue Prognosewert bei einem kleinen α im Vergleich zum letzten nur geringfügig verändert (vgl. Alicke 2005; Stich / Hering / Brosze 2013, S. 91). Der Prognosewert für die Periode $(t + 1)$ wird wie folgt berechnet (vgl. Tempelmeier 2006, S. 46):

$$\begin{aligned} p_{t+1} &= \alpha * y_t + (1 - \alpha) * p_t \\ &= p_t + \alpha * (y_t - p_t) \\ &= p_t + \alpha * e_t \end{aligned}$$

p_{t+1} = Prognosewert zum Zeitpunkt $t + 1$

p_t = Prognosewert für t

y_t = Realer Wert zum Zeitpunkt t

e_t = Prognosefehler aus der Differenz

α = Glättungsparameter ($0 < \alpha < 1$)

des realen Werts und seiner Prognose

Das eben beschriebene Verfahren wird auch als exponentielle Glättung 1. Ordnung bezeichnet, da hier ein stationäres Modell mit einer Verlaufskomponente mit einem Glättungsparameter prognostiziert wird. Das Verfahren 2. Ordnung enthält eine weitere Verlaufskomponente und im Verfahren von Holt einen weiteren Glättungsparameter β . Dieser ist in der Lage, die Reagibilität der Prognose des Verlaufs trendartiger Modelle zu beeinflussen (vgl. Tempelmeier 2006, S. 68; Stich / Hering / Brosze 2013, S. 92).

Auch der sporadische Verlaufstyp kann mittels der exponentiellen Glättung prognostiziert werden. Wendet man die dargestellten Verfahren jedoch in unveränderter Form an, dann entstehen relativ große Prognosefehler (vgl. Tempelmeier 2006, S. 86). Croston hat daher ein Verfahren entwickelt, welches das Auftreten einer Periode

mit positivem Wert und die Höhe dieses Wertes getrennt prognostiziert, indem die Zeit zwischen zwei Transaktionen sowie der Wert der Transaktion jeweils mittels exponentieller Glättung geschätzt werden (vgl. Stadtler / Kilger 2005, S. 151; Silver / Pyke / Peterson 1998).

Die unterschiedlichen Verfahren der exponentiellen Glättung sind sehr leistungsfähig und liefern in der Regel gute Ergebnisse auch für solche Verläufe, die eine hohe zufällige Komponente aufweisen (vgl. Meyer / Sander 2008; Stich / Hering / Brosze 2013, S. 91). Sie sind zudem einfach anzuwenden und benötigen wenig Datenbankkapazität, da nur die letzte Prognose und der letzte reale Wert gespeichert werden müssen (vgl. Silver / Pyke / Peterson 1998; Stadtler / Kilger 2005, S. 146).

Die Auswahl eines adäquaten Prognoseverfahrens zur vorliegenden Problemstellung folgt einem mehrstufigen Prozess, der von Autoren wie Armstrong (2001), Makridakis, Wheelwright und Hyndman (1998) oder Tempelmeier (2006) wie folgt beschrieben wird:

Zunächst bedarf es der Definition des Anwendungsbereichs sowie der Zielgruppe an Personen, die mit der Prognose in ihrer Arbeit unterstützt werden sollen, bzw. die in ihrer Arbeit von den Konsequenzen der Prognose betroffen sind. Dann werden die Charakteristika der vorliegenden Zeitreihen analysiert und entsprechend der vorgestellten Arten von Zeitreihen kategorisiert. Dabei ist zu klären, ob die Daten in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen (vgl. Stich / Hering / Brosze 2013, S. 90), also was für ein Stichprobenumfang vorliegt und ob dieser gemessen wird. Anschließend kann in Abhängigkeit von der Art der Zeitreihe eine Auswahl an passenden Prognoseverfahren eingegrenzt werden. Diese können weiterhin anhand von quantitativen Messverfahren auf ihre Qualität hin geprüft und miteinander verglichen werden.

Bei Zeitreihen, die durch einen hohen Anteil zufälliger Komponenten geprägt sind, fällt die Auswahl schwer. Zumal entschieden werden muss, wie mit Extremwerten im Zeitverlauf, sogenannten Ausreißern, verfahren werden soll. Betriebliche Daten werden in der Praxis vor ihrer Speicherung allgemein nicht danach aufgeschlüsselt, welche Einflussfaktoren für eine in einer Periode aufgetretene außergewöhnlich hohe oder niedrige Ausprägung ausschlaggebend waren, womit die Basis für eine zuverlässige Prognose fehlt (vgl. Tempelmeier 2006, S. 97).

Eine Überprüfung der Prognosequalität ist zudem nicht nur bei der Einführung eines Verfahrens, sondern auch in regelmäßigen Abständen während des Einsatzes durchzuführen. Das kann verdachtsunabhängig in regelmäßigen Abständen oder auf Grundlage der Ausprägung einer Qualitätskennzahl geschehen. Als solche kann die Standardabweichung der Prognosefehler herangezogen werden. Da ihre Interpretation in der betrieblichen Praxis jedoch einige Schwierigkeiten bereitet, wird häufig die mittlere absolute Abweichung der Prognosefehler, MADt, zur Beurteilung der Verlässlichkeit einer Prognose verwendet (vgl. Tempelmeier 2006, S. 35; Silver / Pyke / Peterson 1998).

Konsequenz einer mangelhaften Prognosequalität sollte bei Einsatz eines Verfahrens der exponentiellen Glättung zunächst eine veränderte Einstellung der Glättungsparameter sein. Hierfür bietet Tempelmeier (2006, S. 92 ff.) ein Suchverfahren an, das eine optimale Einstellung mehrerer Glättungsparameter erzielt, indem durch deren schrittweise, iterative Variation der beobachtete Prognosefehler minimiert wird.

Es kann festgehalten werden, dass Methoden zur Prognose von Zeitreihen existieren, die zur planerischen Vorhersage von Risikokosten in der Windenergiebranche genutzt werden können. Dazu bedarf es zunächst einer Datenbasis von Risikokosten zur Abbildung der historischen Zeitreihe. Die Charakteristik dieser Reihe wird dann einem Verlaufsmodell zugeordnet, um eine Auswahl an statistischen Verfahren einzugrenzen und diese abschließend auf die Kriterien Prognoseverhalten und -qualität hin einzustellen und auszuwählen.

2.2.7.2 Beispielhafte Maßnahmen zur Steuerung von Supply Chain Risiken

Müssigmann (2006, S. 216) beschreibt in seiner Arbeit zu „*Mitigating Risk during Strategic Supply Network Modeling*“ Maßnahmen zur Milderung von Supply Chain Risiken auf der Versorgungsseite. Um das Risiko von zeit- und mengenmäßigen Abweichungen zu mildern, empfiehlt er die Aufteilung der Bedarfe auf alternative Lieferanten sowie den Aufbau von Sicherheitsbeständen. In der Windenergiebranche wird häufig mit verschiedenen Lieferanten gearbeitet, jedoch unterscheidet sich die Konfiguration der Komponenten für jeden Windpark und die Reaktionsfähigkeit reicht bei kurzfristig auftretenden Versorgungsengpässen nicht aus, um diese aus alternativen Quellen zu bedienen. Sicherheitsbestände werden aufgrund der hohen Variantenvielfalt der Großkomponenten, der großen Kapitalbindung und dem ebenso großen Ob-

solet-Risiko nur in Ausnahmefällen angelegt. Für die Windenergiebranche müssen also alternative Maßnahmen zur Risikominderung gefunden werden.

Im Bereich Qualität empfiehlt Müssigmann (2006, S. 216) die Installation von Kontrollfunktionen zur Inspizierung der Komponenten. Dieser Vorgang existiert in der Windenergiebranche und wird bei Lieferanten vor Ort durchgeführt. Er mildert im Zuge von kürzer werdenden Vorlaufzeiten jedoch nur das Risiko, Qualitätsdefizite nach Auslieferung festzustellen, nicht jedoch einen Zeitverzug beim Versand zu verhindern. Neben der Kontrolle werden die Kriterien Preis und Beziehung zur Qualitätsverbesserung genannt, wobei die Pflege der Beziehung indirekt über den Preis argumentiert wird. Dies ist grundsätzlich richtig, in Zeiten von hohem finanziellem Druck auf die Anlagenhersteller jedoch schwer umsetzbar.

Nagali et al. (2008, S. 54 f.) wenden bei Hewlett-Packard eine „Procurement Risk Management“ genannte Maßnahme an, mit der Bedarfe in Segmente ihrer Wahrscheinlichkeit untergliedert werden. Indem Mindestabnahmemengen vertraglich mit Lieferanten fixiert werden, sinkt deren Auslastungsrisiko und damit in der Regel der Preis für den Abnehmer. Weniger sichere Bedarfe können laut Nagali et al. (2008, S. 54 f.) anhand von flexibleren Methoden befriedigt werden, und damit zu potentiell höheren Preisen, um auch in Zeiten von hohen Bedarfen die Versorgung sicherzustellen (vgl. Nagali et al. 2008, S. 59 f.). Diese Maßnahme kann gewinnbringend auf die Gegebenheiten in der Windenergiebranche angewendet werden und soll daher im Rahmen der Methodenentwicklung aufgegriffen werden.

2.2.8 Merkmale zur Kategorisierung von Produktionsnetzwerken

Aktuelle Konzepte und Instrumente des Supply Chain Management adressieren insbesondere die Gestaltung, Steuerung und Überwachung dauerhafter Wertschöpfungsnetzwerke, wie sie beispielsweise im Bereich der Automobil- oder Konsumgüterindustrie üblich sind (vgl. Meyer / Walber / Schmidt 2006, S. 512). Meyer, Walber und Schmidt (2006, S. 512) erkennen, ausgehend von einer Analyse der historischen Entwicklung von Wertschöpfungsstrukturen, **einen Wandel des Fokus der Betriebsorganisation hin zu projektbezogenen Kooperationen in temporären Produktionsnetzwerken** des Maschinen- und Anlagenbaus. Dieser Wandel wird in der nachfolgenden *Abbildung 12: Historischer Wandel des Fokus der Betriebsorganisation* dargestellt.

Ausgehend von dieser Hypothese wird in diesem Kapitel ein Überblick über netzwerkbeschreibende Merkmale, ihre Ausprägungen und sich daraus formende Netzwerktypen gegeben. Auf dieser Basis wird im weiteren Verlauf der Arbeit eine Einordnung der Netzwerke in der Windenergiebranche vorgenommen, um die veränderten Anforderungen an das Risiko und Supply Chain Management zu verdeutlichen.

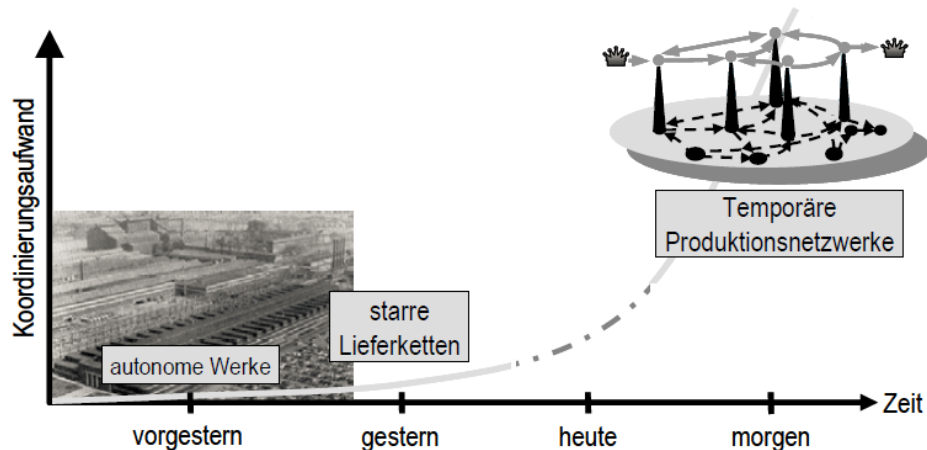


Abbildung 12: Historischer Wandel des Fokus der Betriebsorganisation

Quelle: Meyer / Walber / Schmidt 2006, S. 512

2.2.8.1 Netzwerk definierende Merkmale und ihre Ausprägungen

Basierend auf der Forschungsarbeit von Schiegg (2005) wurden zur Erstellung dieses Abschnitts die Merkmale und Ausprägungen aus der netzwerktypologisierenden Literatur zum Zwecke einer umfassenden Darstellung gesammelt und in den Klassen *Produkt*, *Zusammenarbeit* und *Netzwerkstruktur* zusammengefasst (vgl. Schuh / Gierth / Schiegg 2006):

Produkt

Wie zuvor bereits beschrieben, unterscheiden sich die Ausprägungen und Anforderungen von Wertschöpfungsnetzwerken in Abhängigkeit von der betrachteten Branche. Dies hängt mit den Merkmalsausprägungen des jeweiligen Produktportfolios zusammen, was sich insbesondere in den Arbeiten von Bensaou und Venkatraman (1995) und Diederichs (2002) niederschlägt. So kann zwischen komplexen, mehrteiligen und einfachen Produktstrukturen unterschieden werden. Die Produktspezifität unterscheidet in Abstufungen zwischen den Extremfällen kundenindividuelle Erzeugnisse und Standarderzeugnisse ohne Varianten, die letztlich großen Einfluss auf das Gesamtproduktspektrum eines Produktionsnetzwerks ausübt. Auch Diederichs

(2002) und Zeier (2002) erkennen dies als netzwerkcharakterisierendes Merkmal, genauso wie das angewendete Produktionskonzept. Dabei wird grundsätzlich zwischen dem Kundenauftrag als auslösendem Element und der Lagerfertigung unterschieden. In Abhängigkeit von der Produktspezifität und der vom Markt tolerierten Vorlaufzeit wird weiterhin zwischen Engineer-, Make- und Assemble-to-Order-Produkten unterschieden, was den Zeitpunkt der Variantenerstellung zunehmend in Richtung Fertigprodukt verschiebt. Ein weiteres netzwerkkonstituierendes Merkmal des Produktes folgt aus dessen *Neuauflagezyklus*, der wiederum von dessen *Marktwachstum* beeinflusst werden kann (vgl. Bensaou / Venkatraman 1995).

Zusammenarbeit

Ausgehend von den Attributen eines Produktes bzw. seiner Einzelteile, folgt mit der gewählten Einkaufsstrategie wie Single- oder Multiple-Sourcing ein zentraler Stellhebel für die Zusammenarbeit der Parteien in Produktionsnetzwerken (vgl. Gabath 2008, S. 97). Sydow (1992) beschreibt die zeitliche *Stabilität der Organisationsform* mit den Attributen stabil oder dynamisch, wobei Ersteres als langfristig und Zweiteres als saisonal, temporär oder gar einmalig verstanden werden kann. Die Stabilität einer Kooperation basiert jedoch auf mehr als nur einem zeitlichen Aspekt. Für Buse (1996), Hieber (2000), Jehle, Scheier und Stüllenberg (1999), Bensaou und Venkatraman (1995) sowie Zeier (2002) spielt die *Beziehungsebene* eine exponierte Rolle in der Beschreibung eines Netzwerks. Schuh, Gierth und Schiegg (2006) definieren die Ausprägungen intensiv-vertraut, intensiv-formal und anfällig-formal. Abhängig von Faktoren der im nächsten Abschnitt thematisierten Netzwerkstruktur und in Korrelation zu der Kooperationsintensität bewegt sich die *Koordinationsform* im Netzwerk von der persönlichen Weisung (vertikal) bzw. Selbstabstimmung (horizontal) über Pläne und Programme hin zu Marktmechanismen (vgl. Kieser / Kubicek 1992). Für die Abstimmung über Pläne ist ein regelmäßiger Bedarf über einen längeren Zeitraum erforderlich. Bei diesem Konzept schließt der Kunde mit dem Lieferanten einen Rahmenvertrag, in dem sich der Lieferant verpflichtet, Beschaffungsmaterialien auf Basis des Produktionsplanes des Abnehmers zu einem bestimmten Termin zu liefern (vgl. Gabath 2008, S. 96).

Merkmal	Attribut	Ausprägung				
Produkt	Produktstruktur / Produkt-komplexität	geringtlg. Erzeugnisse		mehrtlgl. Erzeugnisse & einfache Struktur		mehrtlgl. Erzeugnisse & komplexe Struktur
	Produktspezifität / Individualisierung/ Umfang Erzeugnis-spektrum	Erzeugnisse nach Kunden-spezifikation	Typisierte & kunden-spezifische Varianten	Kundenspezi-fizierte Standarder-zeugnisse	Standarder-zeugnisse mit Varianten	Standarder-zeugnisse ohne Varianten
	Produktions-konzept / Vorlaufzeiten	Engineer-to-Order	Make-to-Order	Assemble-to-Order	Make-to-Stock	Kontinu-ierlich / Batch Prozess
	Produkt-neuaufgabe	< 1M	1 - 6M	6M - 3J	3-9	> 9
	Marktwachstum	negativ	leicht negativ	konstant	leicht positiv	positiv
Zusammenarbeit	Dauer / Stabilität	einmalig	temporär	wieder-kehrend temporär	saisonal	konstant / langfristig
	Beziehung / Kooperation	intensiv-vertraut		intensiv-formal		anfällig-formal
	Koordinations-form	persönliche Weisung	Selbstab-stimmung	Pläne	Programme	Markt-mechanismen
Netzwerk-/ Verbund-struktur	Substituier-barkeit / Kompetenz / IT-Integration	flexibel mit niedrigen Wechsel-kosten	flexibel mit verschiedenen hohen Wechselkosten	flexibel mit hohen Wechsel-kosten	eingeschränkt mit verschie-den hohen Wechselkosten	eingeschränkt mit hohen Wechsel-kosten
	Dominanz / Führung / Koordination/ Machstruktur	beschaffungs-seitig dominiert	eher beschaf-fungsseitig dominiert	heterarchisch	eher absatzseitig dominiert	absatzseitig dominiert
	Geographische Verteiltheit & Komplexität des Netzwerkes	regional	national	international	kontinental	global
	Unternehmens-größe	Kleine Unternehmen	KMU	Großer Mittel-ständler; Konzernsparte	Konzern	Konglomerat

Abbildung 13: Morphologisches Merkmalschema für Produktionsnetzwerke

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schiegg 2005; Schuh / Gierth / Schiegg 2006, S.

Netzwerkstruktur

Ausgehend von der Vertraulichkeitsstufe in der Zusammenarbeit kann die *Substituierbarkeit* eines Netzwerkpartners, die zum Beispiel auf dessen spezifischer *Kompetenz* und/oder dem Grad seiner *IT-Integration* beruht, als flexibel oder eingeschränkt mit entsprechend hohen oder niedrigen Wechselkosten eingestuft werden (vgl. Schiegg 2005, Buse et al. 1996, Bensaou / Venkatraman 1995). Die Wahrnehmung der *Koordinationsaufgabe* im Netzwerk wird nach der Dauer und Stabilität der Zusammenarbeit von den meisten Autoren als konstituierendes Merkmal wahrgenommen und ist mit den meisten Synonymen belegt. Die *Dominanz*, *Führung* oder *Machtstruktur* im Netzwerk kann nach Schiegg (2005) beschaffungsseitig, absatzseitig oder heterarchisch ausgeprägt sein. In der *geographischen Struktur* unterscheidet Zeller (2003) in regionale, nationale und internationale Netzwerke, was aufgrund der räumlichen Ausdehnung und der damit zunehmenden Anzahl der Anbieter zu einer steigenden Netzwerkkomplexität führen kann. Durch eine Produktion „im Markt für den Markt“ können derart internationale Netzwerke in Teilen wiederum lokalisiert werden, was aus Sicht logistischer Aufwände, absatzpolitischer Gründe oder – in der Windenergiebranche häufiger anzutreffende – Local-Content-Vorschriften zu begründen ist (vgl. Pfohl / Large 2003, S. 439). Genauso wie die Lage der Standorte hat auch die Größe der betrachteten Unternehmen laut Sydow (2010) und Buse et al. (1996) Einfluss auf die Vernetzung und damit auf den Typ des Produktionsnetzwerks.

2.2.8.2 Relevante Produktionsnetzwerkvarianten

Ausgehend von den Ausprägungen der netzwerkdefinierenden Merkmale lassen sich verschiedene Produktionsnetzwerktypen identifizieren. Sydow (2010) formuliert auf Basis der Merkmale Koordinationsform und zeitliche Stabilität strategische-, Projekt- und regionale Netzwerke sowie virtuelle Unternehmen. Buse et al. (1996) fügen dem operative und interne Netzwerke hinzu. Schiegg (2005) typologisiert Netzwerke, indem er empirisch erhobene Daten im Rahmen einer Hauptkomponentenanalyse zu Clustern aggregiert. Dies resultiert in den drei grundsätzlichen Typen hierarchisch-stabile Kette, Projektnetzwerk und Hybridfertigungs-Netzwerk. Er fügt mit dem entwicklungsgeprägten Seriennetzwerk eine Variante des Typs hierarchisch-stabile Kette und mit dem fremdbestimmten Lieferanten-Netzwerk eine Abwandlung des Projektnetzwerks hinzu. Auf diese speziellen Formen soll aber nicht detaillierter eingegangen werden. Gleiches gilt für regionale Netzwerke und virtuelle Unternehmen. Die

Mehrfachnennungen im Bereich der strategischen Netzwerke und Projektnetzwerke weisen hingegen auf deren Signifikanz im Bereich von Produktionsnetzwerken hin. Als weitere spezifische Ausprägung soll im Folgenden außerdem der Typ des Hybridfertigungs-Netzwerks vorgestellt werden um zum Abschluss die Ausprägungen der Netzwerke in der Windenergiebranche vergleichend zu diskutieren.

Das **strategische Netzwerk** und die hierarchisch-stabile Kette weisen deutliche Parallelen auf. Ihre Charakteristiken sind die konstante und intensive Zusammenarbeit, was den Einsatz von Programmen als Koordinationsform ermöglicht. Die Kehrseite der Medaille ist die eingeschränkte Substituierbarkeit von Lieferanten aufgrund der hohen Wechselkosten. Die Zusammenarbeit ist daher mindestens auf die Dauer eines Produktlebenszyklus ausgelegt, der 3-9 Jahre betragen kann. Das Netzwerk ist in Bezug auf Konfiguration und Koordination bis zur ersten Lieferantenebene klar absatzseitig dominiert (vgl. Schuh / Gierth / Schiegg 2006, S. 104) und bringt kundenspezifische Erzeugnisse aus Make- oder Assemble-to-Order-Produktionssystemen hervor. Branchenseitig entspricht dieser Netzwerktyp insbesondere den Eigenarten in der Automobilindustrie.

Der nächste mehrfach genannte Typus ist das **Projektnetzwerk**, welches sich vom strategischen Netzwerk vor allem durch die zeitliche Befristung der in ihm abgewickelten Projekte unterscheidet. Der temporären Zusammenarbeit zum Trotz ist das Verhältnis zwischen den Netzwerkpartnern oft so stabil, dass die Verbindung nach Abschluss latent bestehen bleibt und bei neuerlichen Projekten wieder aufgenommen wird. Die Netzwerkauslegung kann durch die Hersteller lediglich auf der Ebene von Komponenten und Standardteilen durchgeführt werden, die durch direkte Lieferanten an mehrere Netzwerkpartner in unterschiedlichen Produktionsverbänden geliefert werden (vgl. Schuh / Gierth / Schiegg 2006, S. 102). Die Produkte weisen meist eine hohe Kundenspezifizierung auf. Deshalb handelt es sich beim Produktionskonzept zumeist um die auftragsorientierte Fertigung oder sogar die auftragsorientierte Konstruktion. Diese oftmals lokalen oder regionalen polyzentrischen Netzwerke werden häufig heterarchisch geführt, selten absatzseitig dominiert und sind vorrangig im Maschinen- und Anlagenbau anzutreffen (vgl. Schuh / Gierth / Schiegg 2006, S. 93).

Als abschließender Typus mit nennenswerter Häufigkeit des Auftretens wird im Hybridfertigungs-Netzwerk im Kontrast zu den vorab dargestellten Netzwerkvarianten geringteilige Standarderzeugnisse in Lagerfertigung oder Batchprozessen produziert.

Entgegen der flexiblen Substituierbarkeit mit formaler Zusammenarbeit ist ihre Dauer meist langfristiger Natur. Die Führung liegt in diesen Netzwerken auf der Beschaffungsseite, da es sich mit Unternehmen aus Chemie, Pharma und Metallerzeugung zumeist um rohstoffmarktnahe Industrien handelt.

3 Produktionsnetzwerke in der Windenergiebranche

Im folgenden Abschnitt wird zunächst die Windenergiebranche im globalen Maßstab dargestellt und die spezifische Situation in Europa näher erläutert. Dazu erfolgt ein Marktüberblick nach installierter Leistung und Wachstum der vergangenen Jahre sowie der Auswirkungen auf die Marktteilnehmer. Weitergehend werden die Hauptkomponenten einer Windenergieanlage mit ihren typischen Dimensionen vorgestellt, um im Anschluss daran die Fertigungstiefe dieser Komponenten und die Eigenschaften der resultierenden Produktionsnetzwerke zu diskutieren.

3.1 Die Windenergiebranche

Das Geschäft mit der Windenergie findet global in einem dynamischen Markt mit zweistelligen prozentualen Zuwachsraten statt. Dabei sind die verschiedenen regionalen Märkte von unterschiedlicher Reife und Volatilität geprägt. Während in Afrika, Südamerika und im pazifischen Raum kaum nennenswerte Kapazitäten installiert werden, sind die westlichen Nationen und in Asien insbesondere China große Windenergiemärkte (vgl. Fried / Shukla / Sawyer 2011, S. 12). Nordamerika ist geprägt von Energiegesetzen mit kurzfristigen Anreizen, die in der Vergangenheit regelmäßig zu Boom-Phasen führten, nur um im folgenden Jahr wieder drastisch einzubrechen. Die Zuwachsraten in Asien gingen zuletzt etwas zurück, jedoch von einem mittleren jährlichen Wachstum um die 50% im zurückliegenden Jahrzehnt. In Europa, wo die Nutzung der Windenergie begründet wurde und was bis 2013 mit 119 Millionen Megawatt die größte installierte Kapazität vor Asien vorweisen konnte, sind die Zeiten hoher zweistelliger Zuwachsraten hingegen vorbei (vgl. Fried / Shukla / Sawyer, S. 21). Die sich verlangsamende Dynamik wurde zunächst als kurzfristige Delle interpretiert und die Fertigungskapazitäten in Erwartung eines wieder anziehenden Marktes aufgestockt (vgl. Rode 2010, S. 12; Sorge 2009, S. 1). Als das im Kontext der Sub-Prime Krise in Amerika und der folgenden europäischen Staatsschuldenkrise ausblieb, gerieten die Anlagenpreise unter Druck (vgl. Fried / Shukla / Sawyer 2011, S. 3; S. 18) und die Hersteller waren zunehmend gezwungen ihre Prozesse weiter zu industrialisieren und Kosten in der gesamten Wertschöpfungskette für die Montage der Windturbinen und die Herstellung oder den Erwerb der Komponenten zu senken (vgl. RBSC 2009, S. 26).

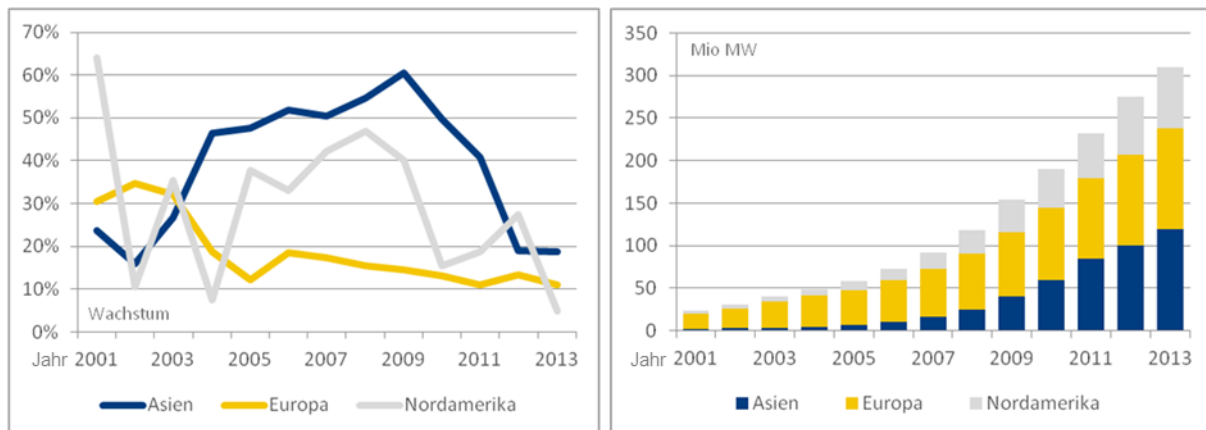


Abbildung 14: Zuwachsraten und installierte Kapazität nach Markt

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Thewindpower (2014)

Als neuer Trend der Branche in Europa galt in den vergangenen Jahren die konzentrierte Errichtung von Offshore-Windparks. In einer KPMG-Studie aus dem Jahr 2007, als in Europa rund 1,5 GW Offshore-Kapazität am Netz waren, wurde ein Zuwachs auf 15 GW im Jahr 2012 prognostiziert (vgl. KPMG 2007). Tatsächlich waren Ende 2011 rund 3,5 GW in Europa installiert und aktuelle Prognosen sehen offshore selbst bis 2020 bei bestenfalls 10% der weltweit installierten Kapazität (vgl. EWEA 2012, S. 10). Das Kerngeschäft der Windenergieanlagenhersteller wird daher auf absehbare Zeit in neuen Onshore-Installationen und im Ersatz alter, weniger leistungsstarker Anlagen, dem sogenannten Repowering, liegen (vgl. Fried / Shukla / Sawyer 2011, S. 39).

Analog zu den Märkten entwickeln sich die Marktanteile ihrer Teilnehmer. Vestas, als der weltweit größte Hersteller mit Kerngeschäft und Zentrale in Europa, und GE, als großer Mischkonzern mit Marktmacht in Nordamerika, haben in den vergangenen Jahren stark an Einfluss im globalen Geschäft verloren. Das gleiche Schicksal auf geringerem Niveau ereilte die spanische Gamesa, welche von der dortigen Wirtschaftskrise besonders betroffen ist. Die indische Suzlon Gruppe ist durch den Zukauf der deutschen Senvion (ehemals RePower) zunächst stark gewachsen, konnte dieses Tempo mit organischem Wachstum trotz eines anziehenden indischen Marktes jedoch nicht halten, sondern musste im Gegenteil wieder Marktanteile abgeben. Die Unternehmen Siemens und Nordex mit dänisch-deutschen Wurzeln konnten sich in ihren Nischen behaupten, wobei Siemens das Thema Offshore als Kernkompetenz ausgebaut hat. Nach zunächst deutlichen Verlusten hat sich der deutsche Premium-

Anbieter Enercon internationaler aufgestellt und konnte zuletzt Marktanteile zurückerobern.

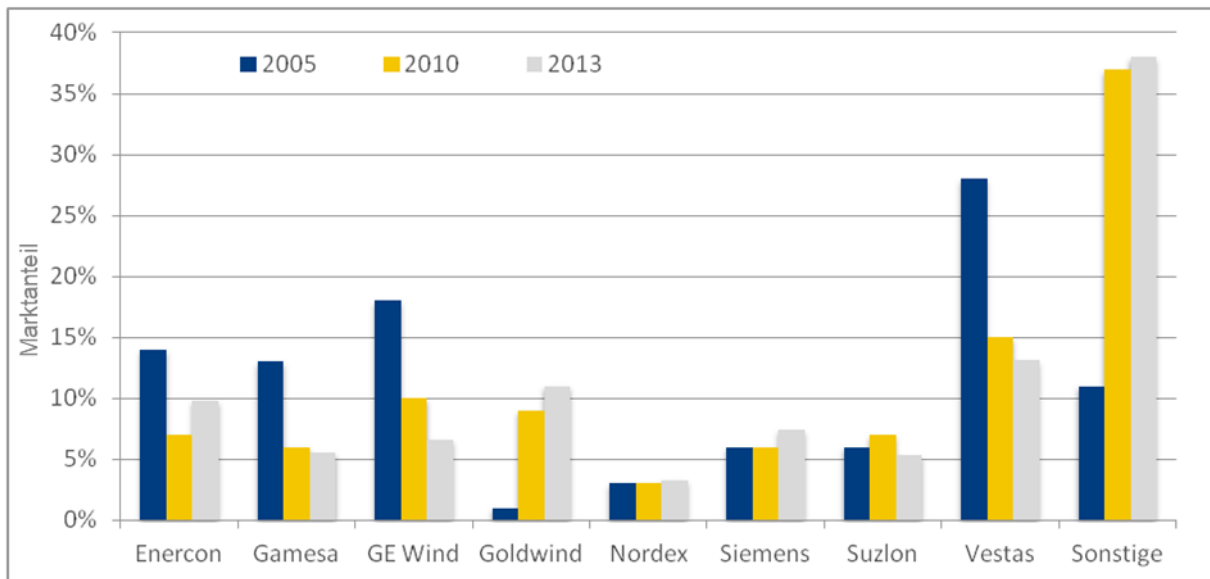


Abbildung 15: Globaler Marktanteil von einer Auswahl der wichtigsten Hersteller

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von RBSC (2009), Enercon (2012), Statista (2014)

Die eindeutigen Gewinner der letzten Jahre sind die chinesischen Unternehmen Goldwind und sein Konkurrent Sinovel, welche stark am umfassenden Ausbau in China partizipiert und davon in besonderer Weise profitiert haben. Der zunehmende Anteil der sonstigen Anbieter erweckt den Eindruck, als sei die Windenergie weiterhin eine Branche mit vielen Gesichtern. Dieser Eindruck täuscht jedoch, da in dieser Gruppe nur zwei weitere chinesische Hersteller zusammen bereits über 10% Weltmarktanteil ausmachen (vgl. BTM Consult 2005-2010). Vielmehr ist festzuhalten, dass die Staatsschuldenkrise die Konsolidierung der Branche beschleunigt hat, indem kleinere Unternehmen aufgekauft wurden, wenn sie in eine Kreditklemme geraten waren (vgl. Rode 2010, S. 13) oder sogar Insolvenz anmelden mussten. Dieser Effekt wird dadurch noch verstärkt, dass mit den Energielieferanten vermehrt große institutionelle Anleger als Investoren auftreten. Das bedeutet weniger, aber größere Verträge, deren potentielle Regressansprüche nur von ausreichend großen Windenergieunternehmen erfüllt werden können (vgl. RBSC 2009, S. 11 f.).

3.2 Die Supply Chain in der Windenergiebranche

Die dargestellte Veränderung der Kräfteverhältnisse auf dem Weltmarkt lässt zunächst vermuten, dass asiatische Windkrafthersteller auf ähnliche Weise wie bei der

Solarindustrie zu einem weltweiten Siegeszug ansetzen. Tatsächlich waren die chinesischen Hersteller im Jahr 2010 ausschließlich in China aktiv (vgl. BTM Consult 2011, S. 173). Das lässt sich unter anderem durch den deutlich größeren Transportaufwand für Windturbinen begründen, denn die schiere Größe der Komponenten legt grundsätzlich dezentrale und damit lokale Wertschöpfungsketten nahe (vgl. Sorge 2009, S. 1).

Die Logistik ist jedoch nur ein Aspekt bei der Ausgestaltung der Supply Chain in der Windenergiebranche. Ein anderer ist die Frage nach der Wertschöpfungstiefe im Allgemeinen und der Fertigungstiefe der Hauptkomponenten im Speziellen. In der Windenergiebranche wurden im Zeitverlauf und in Abhängigkeit vom Reifegrad des jeweiligen Herstellers verschiedene Supply-Chain Strategien verfolgt. Die nachfolgenden Darstellungen basieren weitgehend auf den Erkenntnissen des „Supply Chain Assessment 2012-2015“ von BTM Consult (2011, S. 147 ff.):

Als die Windenergiebranche in ihren Kinderschuhen steckte, gab es noch keine spezifische Wind-Supply Chain. Die Anlagenhersteller kauften ihre Komponenten wie Getriebe und Generatoren bei Anbietern der Schwer- und Elektroindustrie ein. Ab Mitte der 90er-Jahre kam diese Strategie allerdings zunehmend an ihre Grenzen. Mit der stark ansteigenden Anzahl installierter Anlagen und aufgrund der Leistungszunahme der Anlagen begannen die Hersteller, aus Gründen der quantitativen Verfügbarkeit sowie der Qualität der Komponenten, mit der eigenen Herstellung einer zunehmenden Anzahl an Komponenten und damit der vertikalen Integration in die Supply Chain. Dieser Trend hielt zunehmend befeuert von den Anforderungen der Investoren nach hoher Anlagenzuverlässigkeit, bei gleichzeitig vertretbaren Lieferzeiten, über die Boom-Zeiten Mitte der 2000er-Jahre bis zur Finanzkrise 2008/2009 an. In dieser Zeit wurde er einerseits von jüngeren Wettbewerbern relativiert, die aufgrund von mangelnder Produktkompetenz und fehlenden eigenen Fertigungskapazitäten weiterhin auf das Outsourcing von Komponenten setzten. Andererseits blieb die vertikale Integration von Zulieferern in die Herstellerbetriebe häufig ein Thema auf der Agenda der Hersteller, das hinter dem Tagesgeschäft zur Erfüllung der Aufträge zurückstehen musste (vgl. Montana / Springmann 2011, S. 4).

Im Zuge der Finanzkrise ging die Nachfrage nach kapitalintensiven Windparks dann teils deutlich zurück. Geplante Investitionen in die Ausweitung von Fertigungskapazitäten wurden in Erwartung einer überproportional wieder ansteigenden Nachfrage

vielerorts noch realisiert - mit dem Resultat erheblicher Überkapazitäten. Die Folge war umso schärferer Wettbewerb, sowohl unter den Anlagenherstellern als auch den Komponenten-Zulieferern. Für eine weitergehende vertikale Integration fehlte dann häufig nicht mehr die Zeit, sondern die Liquidität oder Kreditwürdigkeit, um derartige Investitionen zu leisten.

Reife Industrien tendieren zu einer geringen Wertschöpfungstiefe und damit zur Fremdvergabe von Fertigungsumfängen an spezialisierte Lieferanten. Sie verfolgen damit das Ziel der Generierung von Skaleneffekten zur Reduzierung von Kosten bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität. Diese Anreize bestehen auch in der Windenergiebranche. Im Zuge der sich auflösenden lieferantenseitigen Kapazitätsrestriktionen kaufen die Anlagenhersteller wieder bereitwilliger Komponenten extern ein. Gleichzeitig ist die Anzahl der Lieferanten, die mit den erweiterten technischen Anforderungen der Multi-Megawatt Anlagen schritthalten können, weiterhin begrenzt. Zur Abgrenzung vom Wettbewerb bedarf es zudem eines eigenständigen Designs der Kernkomponenten. Diese Faktoren führen zu der vorherrschenden Supply Chain Strategie der eigenen Produktion von Kernkomponenten und der Fremdbeschaffung solcher Komponenten, die für den Vorsprung vor oder die Abgrenzung vom Wettbewerb weniger relevant sind.

Anlagenhersteller	Fremdvergabe	Herstellung von Kernkomponenten	Interne Herstellung von Komponenten
▪ Enercon, DE			X
▪ Gamesa, ES		X	
▪ GE Wind, US	X		
▪ Goldwind, CN	->	X	
▪ Nordex, DE	X		
▪ Siemens, DK		X	
▪ Suzlon, IN		->	X

Abbildung 16: Fertigungstiefe ausgewählter Hersteller

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BTM Consult 2011, S. 151

Die Hersteller werden in die Kategorien Fremdvergabe, Herstellung von Kernkomponenten und interne Herstellung von Komponenten eingeteilt. Eindeutiges Beispiel für die interne Herstellung von Komponenten ist Enercon. Keine Kernkomponente wird auch nur anteilig extern eingekauft und auch Nicht-Kernkomponenten werden umfassend selbst hergestellt. Als Gegenbeispiel dient hier GE Wind, die selbst Kern-

komponenten teils nicht selber herstellen oder zumindest einen Multiple-Sourcing-Ansatz verfolgen, indem sie auch Kernkomponenten zumeist von mehreren verschiedenen Lieferanten beziehen.

Bleibt die Frage, was als Kernkomponente definiert wird und wie die logistischen Anforderungen je Komponente ausgeprägt sind. Die Dimensionen als auch das Gewicht der Hauptkomponenten, bestehend aus Gondel, Blatt und Turm moderner Windenergieanlagen, fallen in den Bereich des Großraum- bzw. Schwertransports. Aktuelle Anlagengenerationen der Multimegawattklasse überschreiten selbst die hier geltenden Grenzen und müssen daher schon in der Entwicklung transportgerecht konstruiert werden.

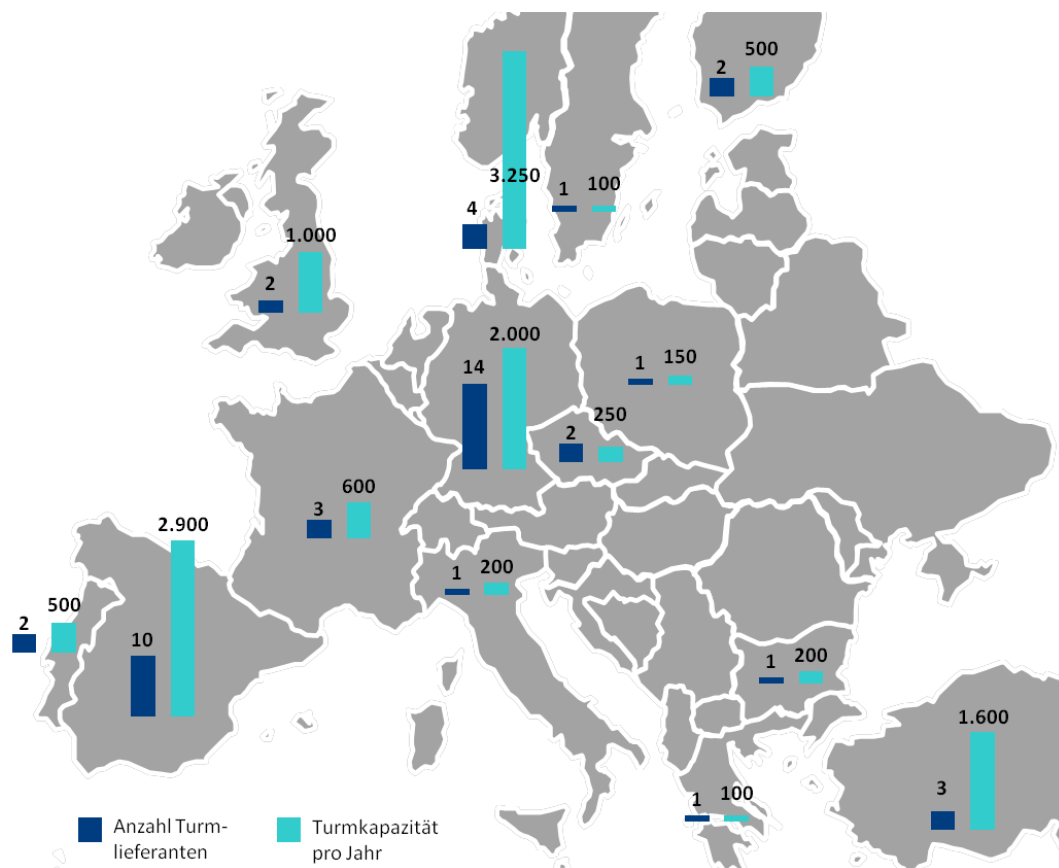


Abbildung 17: Anzahl und Kapazitäten der Turmlieferanten in Europa je Land in 2011

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von BTM Consult 2011, S. 79 ff.

Um die verfügbaren Onshore-Wind-Ressourcen optimal auszunutzen, ist die Höhe der Türme bei gleichzeitig steigenden Anforderungen an das zulässige Gondelgewicht auf über 100m angewachsen, die in mehrere Segmente unterteilt sind. Ihre Montage erfolgt am Errichtungsstandort, das heißt, dass sie unabhängig von anderen Komponenten zum jeweiligen Windpark transportiert werden können. Ihren gro-

ßen Dimensionen zum Trotz sind Türme für Firmen der Schwerindustrie technisch verhältnismäßig einfach zu fertigen. Die Turmlieferanten können die Fertigungsvolumen verschiedener Hersteller bündeln, daraus Größeneffekte generieren und so wettbewerbsfähige Preise mit geringen Logistikkosten kombinieren, sofern sie in einer attraktiven Windregion gelegen sind. Diese Ausgangssituation führte im Jahr 2011 jedoch zu einer schwachen Auslastung der weit über den europäischen Kontinent verteilten Lieferanten von nur rund 50%. Zur Veranschaulichung sind die Standorte und Kapazitäten einer repräsentativen Anzahl an Turmlieferanten in Europa im Jahr 2011 in *Abbildung 17* dargestellt. Diese Mischung aus hohen logistischen Anforderungen bei umfassendem Wettbewerb macht den Turm zur potentiell lokalsten Komponente in der Supply Chain der Windenergiebranche. Das heißt, dass die meisten Hersteller diese Komponente von mehreren Lieferanten beziehen, die in verschiedenen Regionen angesiedelt sind. Der Turm ist in der Zusammenfassung seiner Attribute also keine Kernkomponente einer Windenergieanlage.

Moderne Flügel von Windenergieanlagen sind bis zu 60 Meter lang. Die letzte Generation wird nicht mehr wie sonst üblich aus Glasfaserverbundwerkstoffen, sondern aus Carbon (Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff CFK) gefertigt (vgl. SGL Rotec 2012). Die Differenzierung im Design mit ihrer Implikation auf die Leistungsausbeute der Anlagen, die Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung an Verbundwerkstoffen und Fertigungsverfahren macht den Flügel zu einer der Kernkomponenten einer Windenergieanlage, die jeder reifere Anlagenhersteller zumindest teilweise selbst produziert. Um auf zusätzliche Kapazität in Phasen großen Bedarfs zurückgreifen zu können, und gleichzeitig über flexible Kapazität zum Atmen in Schwächephasen zu verfügen, verfolgen die meisten Hersteller zumeist einen Dual-Sourcing-Ansatz. Das Blatt steht in Bezug auf die Supply Chain Strategie somit zwischen dem häufig fremdbeschafften Turm und der ausnahmslosen Kernkompetenz der Gondelmontage.

Die auch Maschinenhäuser genannten Gondeln erreichen Gewichte von über 120 Tonnen (vgl. Bottler 2011, S. 33), was bei einer Masse des Schwertransportequipments von ungefähr 50 Tonnen den maximalen Brückenlasten in Europa von 180 Tonnen bereits sehr nahekommt und die Auswahl möglicher Landtransportrouten zunehmend einschränkt. Grund sind die mit zunehmender Leistung immer größer und schwerer werdenden Generatoren und Getriebe, Wellen und Naben, die

in den Werken der Anlagenhersteller in der Gondel montiert werden. Aus diesen Werken wird solange global beliefert, bis sich der Aufbau von Werken in anderen (Welt-) Regionen mit ausreichendem Absatz oder aussichtsreichem Absatzpotential lohnt. Die in den vorhergehenden Absätzen dargestellten Zusammenhänge werden in der nachfolgenden Graphik zusammengefasst.

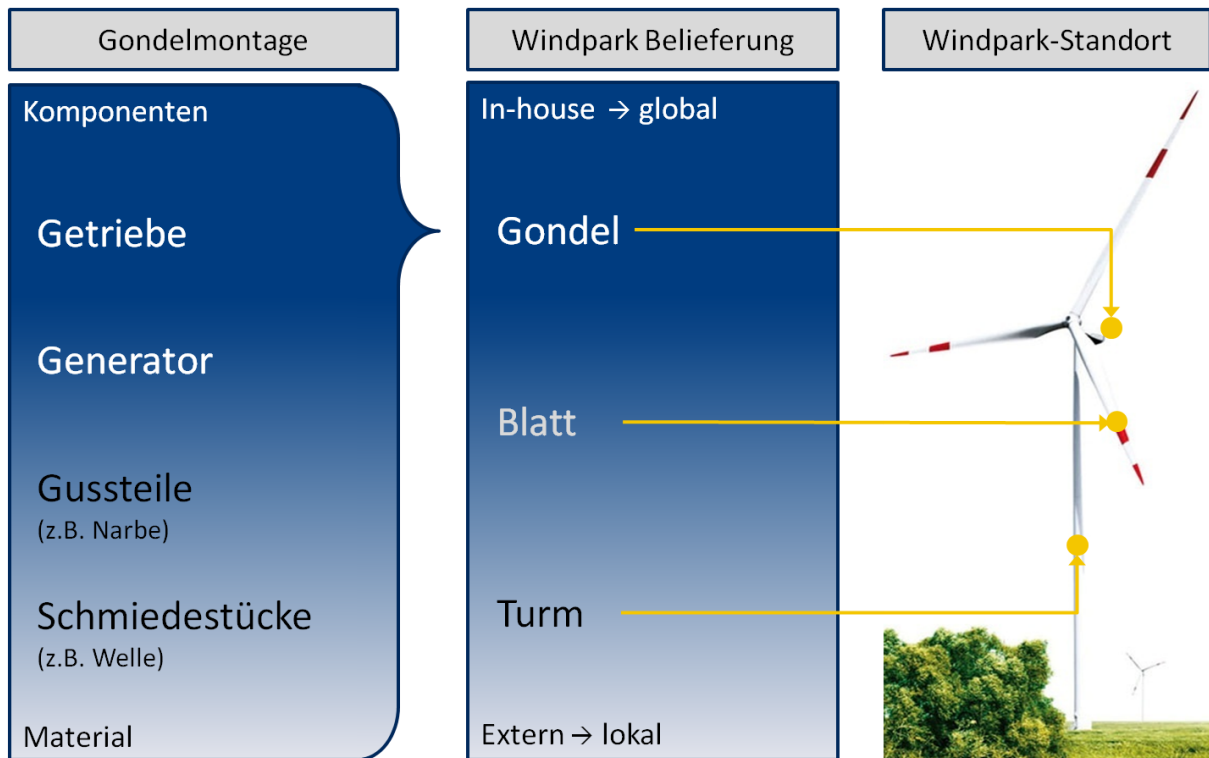


Abbildung 18: Supply Chain und Sourcing-Strategie von Kernkomponenten
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BTM Consult (2011, S. 147 ff.)

3.3 Produktionsnetzwerke in der Windenergiebranche

Die in *Abbildung 18* links dargestellten zentralen Komponenten und Materialien zur Montage der Gondel sind in *Abbildung 19* rechts nochmals in einer beispielhaften geographischen Sichtweise dargestellt. Durch die Visualisierung der Netzwerke wird die Gondelmontage in der Windenergiebranche der Fahrzeugmontage in der Automobilindustrie gegenübergestellt und verglichen.

Wie in der Gondelmontage gibt es in der Fahrzeugmontage vierteilige Komponenten wie Scheinwerfer oder Sitze, die fertig montiert angeliefert werden. Auf der anderen Seite gibt es Bauteile, wie die Batterie oder die Räder, die wie die Nabe aus einem Materialblock mit wenigen Anbauteilen oder wie die Hauptwelle „aus einem Guss“ gefertigt werden. Die Netzwerke sind international, dabei aber zumeist kontinental

und selten global ausgerichtet. Die einmal aufgebauten Netzwerke überdauern in der Regel die Bauzeit einer Baureihe und können auch beim Generationswechsel eines Produktes in Teilen unverändert bleiben, da sie baureihenübergreifend strukturiert sind. Ihre längerfristige Auslegung, die eingeschränkte Substituierbarkeit von Lieferanten mit hohen Wechselkosten bei gleichzeitig absatzseitiger Dominanz, definiert die Gondelmontage in der Windenergiebranche als strategisches Netzwerk, aufgrund der geringeren Variantenvielfalt jedoch auch auf geringerem Komplexitätsniveau.

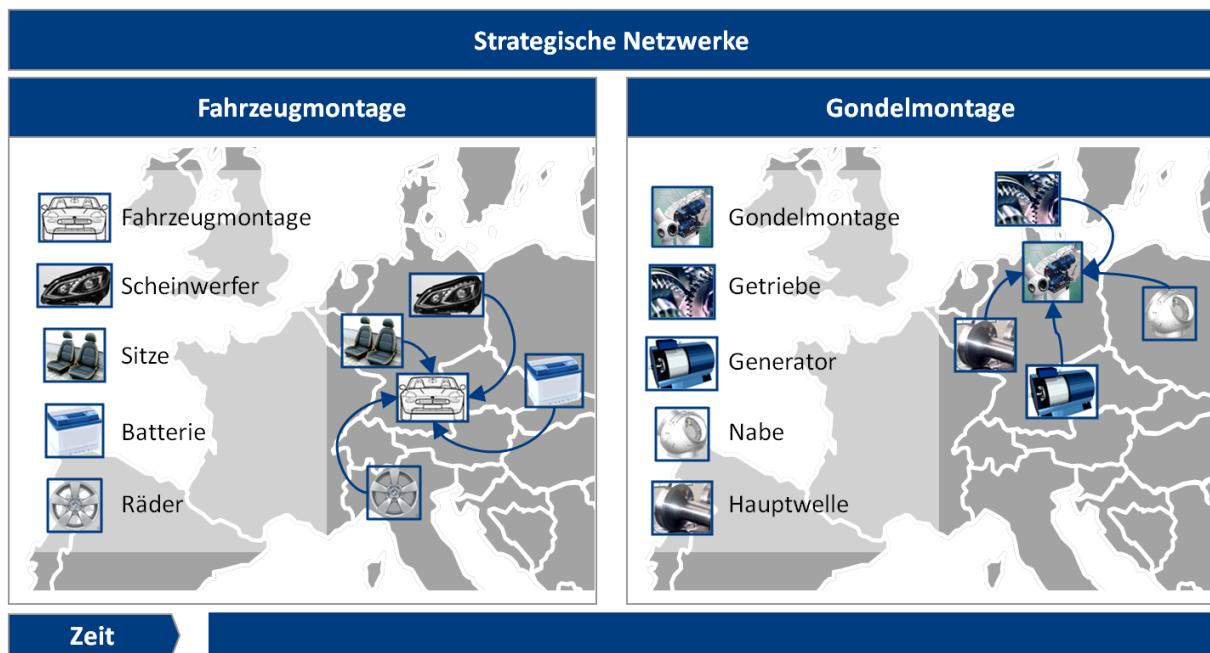


Abbildung 19: Strategische Netzwerke in der Automobil- und Windenergiebranche

Quelle: Eigene Darstellung

Das Produktionsnetzwerk der Gondelmontage befindet sich aber nicht im Fokus dieser Arbeit, sondern das Netzwerk zur Windparkbelieferung und Anlagenerrichtung. Beide Netzwerke kennzeichnen deutlich voneinander abweichende Eigenschaften. So baut sich das Netzwerk zur Windparkbelieferung mit der ersten Belieferung aus den unterschiedlichen, teils veränderlichen, Quellen hin zum Standort des jeweiligen Windparks als Senke auf und endet mit der Errichtung der letzten Anlage. Das heißt, dass die Hauptkomponenten Gondel, Blatt und Turm von unterschiedlichen Standorten und potentiell unabhängig voneinander zum Errichtungsstandort transportiert werden. Dabei können sich die Quellen wie in *Abbildung 20* dargestellt von Windpark zu Windpark verändern. Die Belieferung der einzelnen Windparks erfolgt zudem nicht streng sequenziell, sondern kann parallel durchgeführt werden. Die Dauer der Belieferung hängt weiterhin von der Größe des Windparks sowie der geplanten Errich-

tungsgeschwindigkeit ab. Diese ist wiederum von der Zugänglichkeit des Geländes, der Jahreszeit, vereinbarten Fertigstellungsterminen und verschiedenen weiteren Faktoren abhängig. Weiterhin unterscheiden sich die Netzwerkstrukturen je nach betrachteter Hauptkomponente.

Die montierten Gondeln werden aus den Werken des Anlagenherstellers geliefert, wovon, mit Ausnahme von Vestas, die wenigsten Hersteller mehr als zwei Standorte in Europa betreiben. In den graphisch dargestellten Netzwerkbeispielen in *Abbildung 20* wird im Vergleich zu der Anzahl an Blatt- und Turmlieferanten deshalb von einem unveränderlichen Standort zur Gondelmontage ausgegangen.

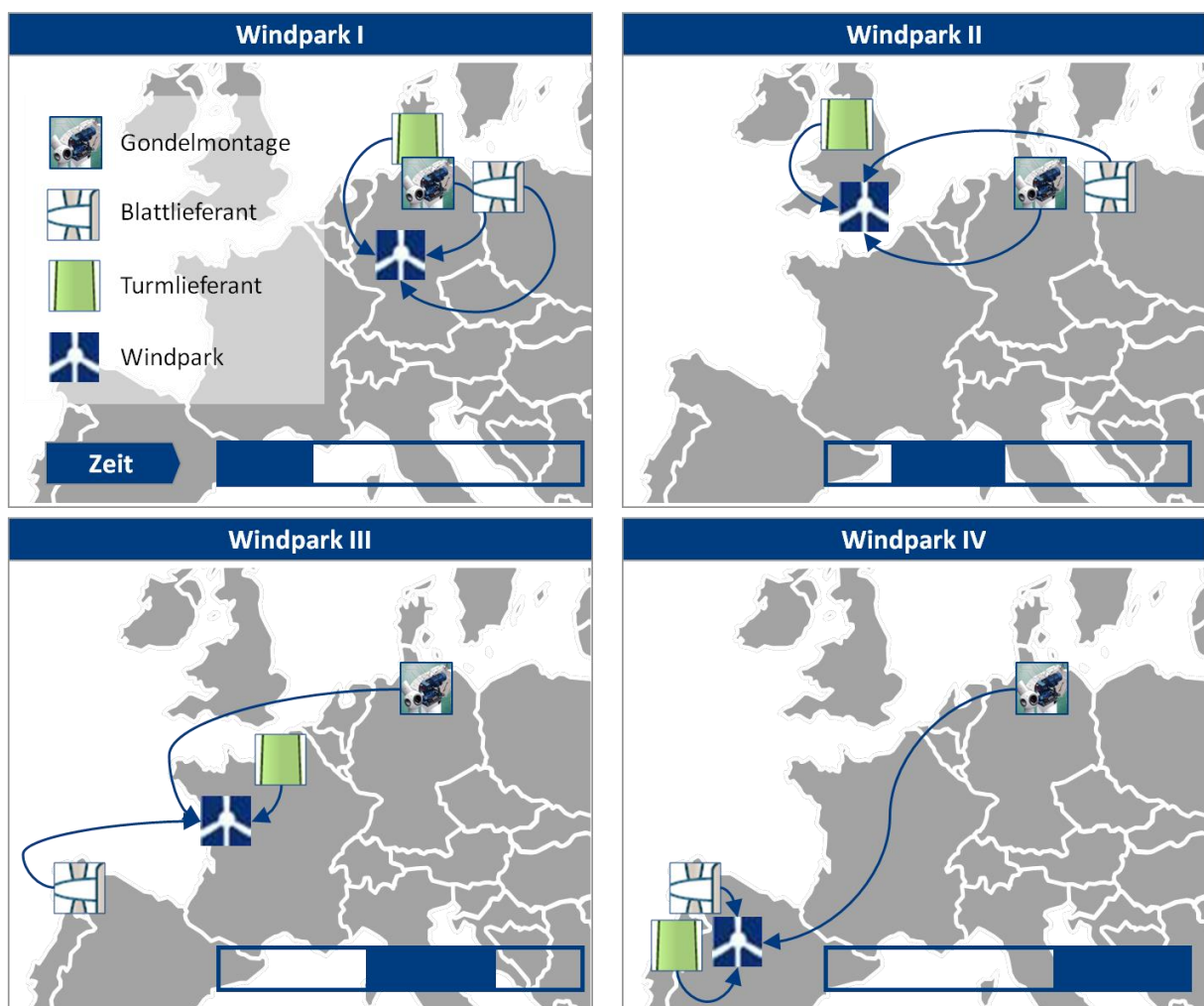


Abbildung 20: Verschiedene Netzwerkkonstellationen in der Windparkbelieferung

Quelle: Eigene Darstellung

Das Blatt wird als Kernkomponente häufig zumindest teilweise von den Herstellern selbst gefertigt. Zur Sicherung der Qualität der Komponenten wird zumeist nur eine überschaubare Anzahl an Lieferanten zur Fertigung freigegeben. Im graphischen

Beispiel wird dies daran verdeutlicht, dass zwei unterschiedliche Standorte eines internen oder externen Blattlieferanten vorliegen.

Wie im Abschnitt zuvor beschrieben ist der Turm keine Kernkomponente und stellt für Unternehmen der Schwerindustrie keine besondere technologische Herausforderung in der Fertigung dar. Dadurch ist die Markteintrittsschwelle verhältnismäßig gering und es herrscht ein reger Wettbewerb. In den Netzwerken zur Windparkbelieferung ist der Turm somit die lokalste Komponente. Dem wird in den graphischen Beispielen in *Abbildung 20* Rechnung getragen, indem in jedem der vier Windparkbelieferungskonstellationen ein anderer Turmlieferant ausgewählt wurde.

Die Netzwerke zur Windparkbelieferung in der Windenergiebranche sind zwar durch eine absatzseitige Dominanz in der Netzwerkkoordination durch den Anlagenhersteller gekennzeichnet, was eine typische Ausprägung für strategische Netzwerke ist. Sie entsprechen mit ihrer kurzen Dauer und großen Veränderlichkeit aber der maßgeblichen Eigenschaft von Projektnetzwerken. Deshalb wird das Windparkbelieferungsnetzwerk anhand des in Kapitel 2.2.8.1 *Netzwerk definierende Merkmale und ihre Ausprägungen* entwickelten morphologischen Merkmalsschemas nachfolgend genauer beschrieben.

Im Merkmal Produkt liegen die Ausprägungen des Netzwerks „Wind“ zumeist zwischen denen des strategischen und des Projektnetzwerks. Ausnahmen sind die Produktstruktur, an der sich der Maschinenbaucharakter der Windenergiebranche abzeichnet, sowie das Marktwachstum. Dieses ist aus europäischer Perspektive eingeordnet und würde in anderen Weltregionen durchaus andere Ergebnisse zur Folge haben, die in der Tendenz mit dem stärksten Wachstum in der Windenergiebranche voraussichtlich eine unveränderte Rangfolge zur Folge haben würden.

Dieses Bild setzt sich im Bereich der Zusammenarbeit fort. Die Ausnahme bildet hier das Attribut Beziehung, welches in den von kleineren Unternehmen geprägten Projektnetzwerken vertrauter und in den strategischen Netzwerken durch den kontinuierlichen Kontakt intensiver ausfällt als in den Netzwerken zur Windparkbelieferung. Abhängig von der Größe des Anlagenherstellers und vom Geschäftsvolumen mit dem einzelnen Lieferanten kann dieses in der Windenergiebranche mal intensiv vertraut sein, aber auch zu einer anfällig-formalen Beziehung kippen.

Merkmal	Attribut	Ausprägung				
Produkt	Produktstruktur / Produktkomplexität	geringtlg. Erzeugnisse		mehrtl. Erzeugnisse & einfache Struktur		mehrtl. Erzeugnisse & komplexe Struktur
	Produktspezifität / Individualisierung/ Umfang Erzeugnisspektrum	Erzeugnisse nach Kunden-spezifikation	Typisierte & kunden-spezifische Varianten	Kundenspezifizierte Standarderzeugnisse	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
	Produktionskonzept / Vorlaufzeiten	Engineer-to-Order	Make-to-Order	Assemble-to-Order	Make-to-Stock	Kontinuierlich / Batch Prozess
	Produktneuaufgabe	< 1M	1 - 6M	6M - 3J	3-9	> 9
	Marktwachstum	negativ	leicht negativ	konstant	leicht positiv	positiv
Zusammenarbeit	Dauer / Stabilität	einmalig	temporär	wiederkehrend temporär	saisonal	konstant / langfristig
	Beziehung / Kooperation	intensiv-vertraut		intensiv-formal		anfällig-formal
	Koordinationsform	persönliche Weisung	Selbstabstimmung	Pläne	Programme	Marktmechanismen
Netzwerk-/ Verbundstruktur	Substituierbarkeit / Kompetenz / IT-Integration	flexibel mit niedrigen Wechselkosten	flexibel mit verschiedenen hohen Wechselkosten	flexibel mit hohen Wechselkosten	eingeschränkt mit verschiedenen hohen Wechselkosten	eingeschränkt mit hohen Wechselkosten
	Dominanz / Führung / Koordination/ Machstruktur	beschaffungsseitig dominiert	eher beschaffungsseitig dominiert	heterarchisch	eher absatzseitig dominiert	absatzseitig dominiert
	Geographische Verteiltheit & Komplexität des Netzwerkes	regional	national	international	kontinental	global
	Unternehmensgröße	Kleine Unternehmen	KMU	Großer Mittelständler; Konzernsparte	Konzern	Konglomerat

Abbildung 21: Das Windparkbelieferungsnetzwerk im Vergleich zu den Ausprägungen des strategischen und des Projektnetzwerks

Quelle: Eigene Darstellung

In der Netzwerk- und Verbundstruktur gibt es je eine Übereinstimmung mit dem strategischen wie mit dem Projektnetzwerk. Während das Attribut der Substituierbarkeit durch das Multiple-Sourcing insbesondere bei der Komponente Turm ausgesprochen flexibel zu handhaben ist, sind die Wechselkosten im Bereich des Blatts höher. Eine ähnliche komponentenabhängige Unterscheidung muss beim Attribut Führung und Machtstruktur vorgenommen werden, was in Summe zu einer eingeschränkten absatzseitigen Dominanz führt. Der geographische Umfang der Windnetzwerke ist mit dem strategischer Netzwerke vergleichbar, während sich die Ausprägung in der Unternehmensgröße sinnbildlich für die gesamte Gegenüberstellung inmitten der beiden alternativen Positionen einordnet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Netzwerke zur Windparkbelieferung in der Windenergiebranche im Bereich der Attribute Produktstruktur, Substituierbarkeit von Lieferanten und insbesondere der variablen und kurzen Dauer den Eigenschaften von Projektnetzwerken entsprechen. Bei den Ausprägungen der Attribute Kooperation, Koordinationsform und Machtstruktur im Netzwerk besteht indes eine große Ähnlichkeit zu den strategischen Netzwerken. Dieser Mix an Eigenschaften, speziell für die Komponente Turm, bietet ideale Bedingungen für den erfolgreichen Einsatz des Total Landed Cost Ansatzes in der Minimierung der Gesamtkosten in der Supply Chain. Die konkreten Effekte werden im weiteren Verlauf im Rahmen einer Fallstudie untersucht.

4 Stand der Forschung zu ‚Total Cost‘ Modellen

Ziel dieses Kapitels ist es, den Stand der Forschung von ‚Total Cost‘ Modellen zu bestimmen und den Forschungsbedarf zu definieren. Dazu werden Forschungsarbeiten zum Thema analysiert und mit den beschriebenen Gegebenheiten und Herausforderungen in der Windenergiebranche verglichen.

4.1 Modelle zur Lieferantenauswahl

Um die Ziele einer wettbewerbsfähigen logistischen Leistung bei optimalen Kosten in der Supply Chain zu erreichen, ist es bei vergleichbaren Produkten mit verschiedenen Lieferoptionen notwendig, Verfahren zur Auswahl von geeigneten Lieferanten anzuwenden. Smytka und Clemens (1993, S. 42 ff.) unterscheiden drei grundsätzliche Vorgehensweisen zur Lieferantenauswahl: Go/No-Go-Entscheidungen, gewichtete Matrizen und kostenbasierte Methoden. Die Auswahl einer dieser Vorgehensweisen hängt davon ab, wie einfach oder akkurat das Modell sein soll und damit gleichzeitig, wie viel Aufwand in die Modellerstellung investiert werden soll und kann. Der Trade-off zwischen diesen Faktoren ist in der nachfolgenden Graphik dargestellt.

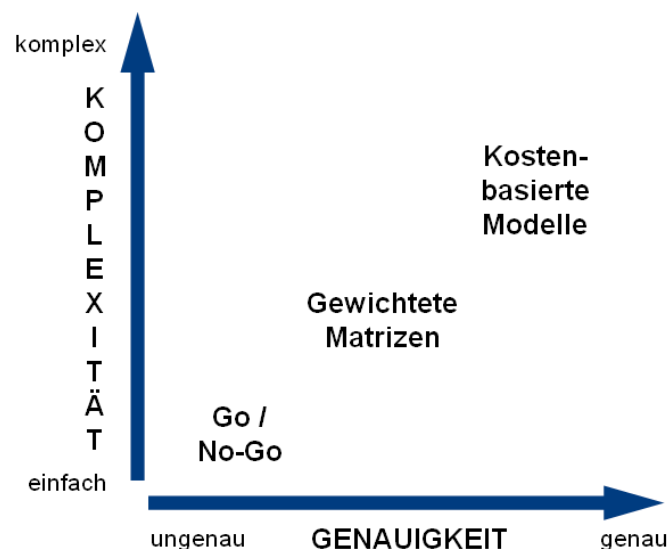


Abbildung 22: Einordnung von Modellen zur Lieferantenauswahl

Quelle: In Anlehnung an Smytka / Clemens 1993, S. 42

Morita (2007, S. 16 f.) beschreibt Go/No-Go-Entscheidungen als sehr einfache, aber wenig akkurate Modelle, die auf der reinen Anforderungserfüllung basieren, aber keine Entscheidungsunterstützung zur Auswahl bei Vorhandensein von alternativen An-

bietern bieten. Gewichtete Matrizen unterstützen dies, indem der Erfüllungsgrad gewichteter Kriterien je Lieferant bewertet wird. Kostenbasierte Methoden wiederum liefern die größte Genauigkeit in der Auswahl von Lieferanten, können aber in Abhängigkeit von ihrer Ausgestaltung zu nicht unerheblichen Aufwänden in der Datenerfassung und -auswertung führen. Daher wird bei der Entwicklung von Kostenmodellen in der Regel auf die Balance zwischen Aufwand und Nutzen, und somit gleichzeitig auf die mögliche Akzeptanz und Verbreitung in Unternehmen geachtet (vgl. Morita 2007, S. 17). Dieser Aspekt wird im Kapitel 2.2.4.3 *Aspekte und Kriterien zur Methoden- und Modellevaluierung* diskutiert.

4.2 Abgrenzung verschiedener kostenbasierter Modelle

Genauso wie in der Auswahl unterschiedlicher Modelle zur Lieferantenauswahl die Kriterien Genauigkeit und Komplexität abzuwiegen sind, gilt dies weitergehend auch bei der Entscheidung für kostenbasierte Modelle. Dabei ist der Preis für ein Gut oder eine Dienstleistung der offensichtliche Startpunkt (vgl. Trent / Roberts 2010, 64). Lehrbücher im Bereich Einkauf befassen sich spätestens seit 1928 mit der Notwendigkeit, Kostenbestandteile jenseits des initialen Einkaufspreises bei der Lieferantenauswahl zu berücksichtigen (vgl. Ellram / Siferd 1993, S. 163). In der vorrangig nordamerikanischen Literatur zum Thema finden sich Begriffe wie „Total Cost of Ownership“ (TCO), „Total Landed Cost“ (TLC) und „Life Cycle Costing“ (LCC). Diese Konzepte zielen darauf ab, in der Vorbereitung einer Einkaufsentscheidung, eine langfristige Perspektive einzunehmen und alle Kostenbestandteile zu identifizieren und zu bewerten, die im spezifischen Kontext entstehen (vgl. Ferrin / Plank 2002, S. 18). Es stellt sich die Frage, welche Kostenbestandteile es zu berücksichtigen gilt, um ein optimales Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen im Kontext der strategischen Projektnetzwerke in der Windenergieindustrie herzustellen. Laut Morita (2007, S. 17) gibt es in der Praxis eine Vielzahl verschiedener Ansätze zum Aufbau und Inhalt von Gesamtkostenmodellen, da die jeweilige Ausgestaltung vom spezifischen Anwendungsfall abhängt. Trent und Roberts (2010, S. 74) führen das sowohl auf die Breite der Anwendungsfälle, als auch auf die verschiedenen Ziele von Gesamtkostenmodellen zurück.

Weiterhin gilt, dass die verschiedenen Modelle in Abhängigkeit vom Anwendungsfall vermischt werden und Kalkulationsansätze für gleiche Kostenarten in verschiedenen Industrien unterschiedlich ausfallen können (vgl. Ruamsook / Russel / Thomchick

2007, S. 16ff.). Im weiteren Verlauf werden die vorab genannten Modelle mit ihren jeweils enthaltenen Kostenkategorien vorgestellt und mit dem Ziel verglichen, ein Modell für die Anwendung in dieser Arbeit zu bestimmen.

4.2.1 Total Cost of Ownership

Ellram und Siferd (1993, S. 163 f.) befassen sich in ihrer Forschung zu TCO Modellen insbesondere mit der Fragestellung, ob der Lieferant mit dem günstigsten Einkaufspreis eines Gutes oder einer Dienstleistung über dessen Lebenszyklus bzw. über die Dauer der Lieferbeziehung hinweg, zu den geringsten Kosten für das einkaufende Unternehmen führt. Sie (vgl. Ellram / Siferd 1993, S. 166) entwickeln zur Beantwortung dieser Fragestellung sechs Kostenkategorien: Qualität, Management, Lieferung, Service, Kommunikation und Preis, die jeweils fünf bis zehn Subkategorien bzw. Kostenelemente enthalten.

Ferrin und Plank (2002, S. 24 ff.) führen in ihrer Studie Expertengespräche mit ungefähr 150 Führungskräften aus der Industrie und erheben so eine Übersicht von 135 Kostentreibern, die sie in die 13 folgenden Kategorien aufteilen: Betriebskosten, Qualität, Logistik, Technologievorsprung, Lieferantenfähigkeit und -zuverlässigkeit, Wartung, Bestandskosten, Transaktionskosten, Lebenszykluskosten, Teilebasispreis, kundenbezogene Kosten, Opportunitätskosten und Sonstiges. Zusammenfassend kann das TCO Konzept nach Young et al. (2009, S. 322) wie folgt definiert werden:

„(...) Total Cost of Ownership is by design intended to encompass every conceivable cost during the period that an asset (...) is owned (...)”

Das Konzept fokussiert also auf die Folgekosten einer Zusammenarbeit mit Lieferanten, um die nach der Vergabeentscheidung potentiell anfallenden, aber nicht durch den Vergabepreis gedeckten Kosten, transparent zu machen, bzw. bereits in der Vergabeentscheidung zu antizipieren (vgl. Koch 2011, S. 10). Diese Breite führt zu der genannten großen Zahl an Kostentreibern und bringt entsprechende Herausforderungen bei der Datenverfügbarkeit und Modellbeherrschbarkeit bzw. Modellverständlichkeit mit sich (Ferrin / Plank 2002, S. 19 f.).

Ellram (1993, S. 7) gliedert TCO in drei Phasen entsprechend der Transaktionsreife und leistet damit einen wertvollen Beitrag, neben der Sicht auf die verschiedenen relevanten Kostenbestandteile, das Konzept an sich nachvollziehbar zu strukturieren:

- Pre-Transaktion: Identifikation eines Bedarfs und Recherche von möglichen Anbietern
- Transaktion: Kosten die von der ersten Bestellung bis hin zur Vereinnahmung des Gutes entstehen
- Post-Transaktion: Kosten, die entstehen, nachdem das Gut im Besitz eines Unternehmens bzw. seinen Kunden ist. Dieser Zeitraum beginnt mit dem Moment der Vereinnahmung und erstreckt sich über die anschließenden Jahre der Nutzung. Tibben-Lembke (1998, S. 55f.) schließen die Post-Transaktionsphase mit der Rückführung oder Entsorgung eines Gutes ab.

Die Unterscheidung in diese drei Phasen wird im Anschluss an die Vorstellung der verschiedenen Kostenmodelle bei der zusammenfassenden Diskussion zur Unterscheidung angewendet.

4.2.2 Total Landed Cost

Das Total Landed Cost Konzept ist strukturell schlanker aufgestellt als Total Cost of Ownership Modelle. Nach Mangan, Lalwani und Butcher (2010, S. 199) dient es dem Vergleich verschiedener Lieferanten bzw. verschiedener Lieferantenstandorte für den Einkauf von Materialien und umfasst dazu die Kategorien Materialeinkaufskosten und Logistikkosten. Neben Transport, Lagerung und Zöllen beinhalten die Logistikkosten bei Mangan, Lalwani und Butcher (2010, S. 199) auch Rückführungs- bzw. Entsorgungskosten, die nach dem Transaktionsphasenmodell von Ellram (1993, S. 7) der Post-Transaktionsphase zuzuordnen sind.

Trent und Roberts (2010, S. 67) verorten TLC-Modelle insbesondere im Umfeld von internationalen Lieferbeziehungen, was sie am Begriff „landed“ festmachen. In der Übersetzung kann das sowohl für angelandet (Seefracht) als auch gelandet (Luftfracht) stehen und betont somit einen internationalen Charakter. Gleichzeitig betonen Trent und Roberts (2010, S. 67), dass das Konzept beim Nullsetzen von Zöllen auch im inländischen Umfeld zur Anwendung kommen kann bzw. im Falle von Freihandelszonen. Neben Zöllen und Steuern nennen Trent und Roberts (2010, S. 67) die Kostenkategorien Akquisitionsplanung, Preis, Transportkosten, Qualitätsprüfung und Lagerkosten als Bestandteil der Total Landed Cost. Wie bei dem Großteil der Kostenelemente von Mangan, Lalwani und Butcher (2010) sind diese in der Transakti-

onsphase zu verorten, mit Ausnahme der Akquisitionsplanung, welche der Pre-Transaktionsphase, sowie der Wartung, welche der Post-Transaktionsphase zuzuordnen sind.

Johnson, Sawaya und Natarajarathinam (2013) entwickeln eine Methode zur umfassenden Modellierung internationaler Einkaufskosten. Damit forschen sie im Bereich der TLC, nennen den Begriff in ihrer Arbeit aber nicht explizit. Auf Basis von neun Forschungsarbeiten entwickeln sie ebenso viele Kostenkategorien: Herstellung, Bestand, Transport, Sondertransport, Finanzierung, Überwachung, Internationaler Handel, Sonstige / Reisen und Sicherheit. Die Besonderheit an dieser Kategorisierung ist, dass die Kosten des zu beziehenden Gutes nicht ausschließlich auf Basis seines Preises dargestellt werden, sondern mit Arbeits- und Materialkosten die Bestandteile zu dessen Herstellung berücksichtigt werden. Das erweitert die Perspektive von einer reinen Einkaufsfunktion hin zum Vergleich mit einer eigenen Herstellung und somit breiter angelegten Gesamtkostenanalysen, die nach Schuh (2006, S. 35 f.) darüber hinaus Leistungskriterien wie Qualität und Lieferzeit beinhalten. Nach Young et al. (2009, S. 322) wird das Total Landed Cost Konzept wie folgt definiert:

“(...) it is the intention of the (total) landed cost concept to embrace only those costs involved with sourcing items and ultimately putting them in the hands of the anticipated consumer or industrial end-user.”

Basierend auf der Arbeit von Ruamsook, Russel, Thomchick (2007) werden von Young et al. (2009, S. 328 ff.) die folgenden sechs Module entwickelt: Teilepreis, Transport, Bestände, Zölle, Gemeinkosten und Risiko, die alle Bestandteil der Transaktionsphase der TCO sind (Young et al. 2009, S. 322).

In der nachfolgenden Aufstellung werden die vorab genannten Arbeiten mit ihren jeweiligen Kostenbestandteilen vergleichend dargestellt und weitgehend den Kostenkategorien bzw. den Modulen von Young et al. (2009) zugeordnet.

Kategorie	Bestandteil	Mangan, Lalwani, Butcher 2010	Trent und Roberts 2010	Johnson, Sawaya, Natarajarathi nam 2013	Young et al 2009
Teilepreis	Preis	x	x	x	x
Teilepreis	Zahlungsmodalitäten		x	x	x
Teilepreis / Manufacturing	Labour costs		x	x	
Teilepreis / Manufacturing	Material costs			x	
Transport	Transport	x	x	x	x
Transport	Aufschläge (zB Benzin)	x	x	x	x
Transport	Versicherung		x	x	x
Transport	Verpackung	x	x	x	x
Transport	Handling		x		
Zölle	Zölle	x	x	x	x
Zölle	Steuern	x	x	x	x
Zölle	Gebühren	x	x	x	x
Bestände	Durchschnittsbestand		x	x	x
Bestände	Sicherheitsbestände	x		x	x
Bestände	Externe Bestände / Transit	x	x	x	x
Bestände	Lagerkosten	x	x	x	
Gemeinkosten	(Akquisitions-) Planung		x		
Gemeinkosten	Administration		x	x	x
Gemeinkosten	Beziehungsmanagement			x	x
Gemeinkosten	Lernkurveneffekte / Anlauf			x	x
Risiko	Sondertransportkosten		x	x	x
Risiko	Wartekosten	x	x		x
Risiko	Obsoletkosten	x	x		x
Risiko	Qualität	x	x		
Risiko	Beschädigung	x			x
Risiko	Gesundheit			x	x
Risiko	Umwelt				x
Risiko	Wechselkursschwankungen		x	x	
Risiko	Compliance (legal)			x	x
Risiko	Reputationsrisiken				x
Sonstiges	Wartung		x		
Sonstiges	Rückführung / Entsorgung	x			

Abbildung 23: TLC Kostenkategorien und -Bestandteile verschiedener Autoren

Quelle: Eigene Darstellung

Ferrin und Plank (2002) heben hervor, dass die verschiedenen Gesamtkostenmodelle nicht nur in ihrem gemeinsamen Ziel, die Effekte von Lieferantenauswahlentscheidungen zu bewerten, umfassende Ähnlichkeiten aufweisen, sondern auch in den berücksichtigten Kostenelementen. Dies gilt zum Beispiel für die Kategorie Gemeinkosten, in der insbesondere das Element der Administration häufig genannt wird. Gleichzeitig wird in der Arbeit von Young et al. (2009, S. 328) festgestellt, dass nur eine von

sechs untersuchten Firmen Gemeinkosten in ihrem TLC Modell berücksichtigt, und das auch nur in Ansätzen.

Es kann aber festgehalten werden, dass bei der Kategorisierung der verschiedenen Kostenelemente zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Autoren und ihren Modellen vorliegen. Besonders deutlich wird dies bei der Kategorie Risiko. Zwar wird ein Großteil der verschiedenen Risikokostenbestandteile mehrfach genannt, aber nur Young et al. (2009) definieren eine spezifische Risikokostenkategorie. Die häufigsten Nennungen erfahren dabei die in dem Bereich der Logistik bzw. Transport und Bestand, angesiedelten Risiken mit Sondertransportkosten, Wartekosten und Obsoletkosten. Laut Mangan, Lalwani und Butcher (2010, S. 70 f.) können auch die ähnlich gelagerten Auswirkungen aus Verlust, Beschädigung und Verspätung mit Hilfe dieses Konzepts als monetäre Größe dargestellt werden. Grundsätzlich ist es vorteilhaft, die berücksichtigten Kostenkategorien in Anlehnung an Positionen der Finanzbuchhaltung zu definieren, um eine gute Datenverfügbarkeit und einen erleichterten Zugang für neue Anwender sicherzustellen (vgl. Morita 2007, S. 18). So bewertet das Supply Chain Engineering des Automobilherstellers GM im Rahmen der Total Landed Cost Bewertung neben einem A-Preis (Teilepreis) und B-Preis (Logistikkosten mit Transport, Zoll und Bestand) auch das Risiko als C-Preis mit den Positionen Sondertransportkosten, Qualitäts- und Obsoletkosten (vgl. Webber 2011, S. 11).

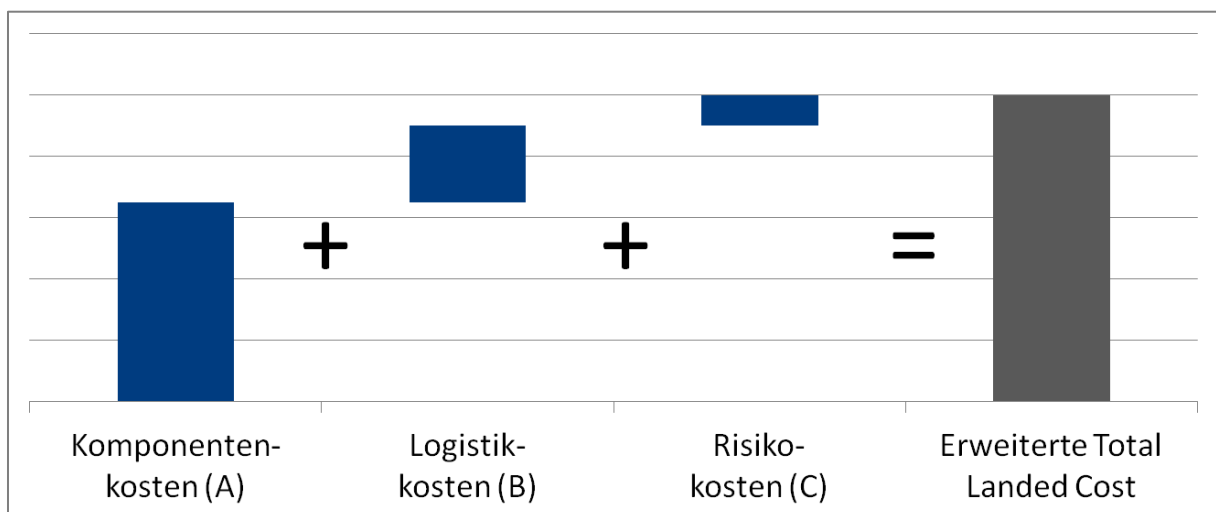


Abbildung 24: Erweiterte Total Landed Cost mit Komponenten-, Logistik- und Risikokosten

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Webber 2011, S. 11;

Mangan / Lalwani / Butcher 2010, S. 199; Young et al. 2009, S. 328

4.2.3 Life Cycle Costing

Jackson und Ostrom (1980, S. 8) definieren Life Cycle Costing (LCC) als:

Das Identifizieren, Quantifizieren und Evaluieren aller Kosten, die im Zusammenhang mit dem Besitz eines Produktes stehen.

Zusätzlich zum Anschaffungspreis enthalten Life Cycle Costing Modelle die Betriebskosten, Wartungskosten, Servicekosten, Instandsetzungskosten und Entsorgungskosten abzüglich des Wiederverkaufswertes (Jackson / Ostrom 1980, S. 8). Im Kontext des Transaktionsphasenmodells nach Ellram (1993, S. 7) sind die genannten Kostenarten Bestandteil der Post-Transaktionsphase. LCC Modelle finden hauptsächlich Verwendung bei der Bewertung von Investitionsgütern mit höherem Anschaffungswert und längerer Nutzungsdauer, da diese entsprechend höhere Instandhaltungs- und Wartungskosten aufweisen (vgl. Jackson / Ostrom 1980, S. 11 f.; Trent / Roberts 2010, S. 71). Geissdörfer (2009, S. 19) bestätigt das, fügt den Lebenszykluskosten auf Seiten des Betreibers jedoch die Kosten der Installation hinzu, welche zum Teil der Transaktionsphase zugeordnet werden können. Die Lebenszykluskosten des Herstellers werden in Form des Anschaffungspreises berücksichtigt (vgl. Geissdörfer 2009, S. 19). Diese Aspekte zusammenfassend lässt sich das Life Cycle Costing Modell somit in eine Investitionsphase, Nutzungsphase und Desinvestitionsphase einteilen (vgl. Zehbold 1996, S. 18-21). Ellram (1993, S. 6) weist darauf hin, dass die Kosten verbunden mit dem möglichen Versagen von Verbrauchsgütern, also Materialien oder Komponenten, auch wenn diese bereits im Endprodukt verbaut beim Kunden in Benutzung sind, Bestandteil einer Gesamtkostenanalyse sein sollten und führt mögliche Service- oder Instandsetzungskosten auf die Lieferanten des Herstellers zurück.

4.3 Zusammenfassung und Ableiten des bevorzugten Modells

Betrachtet man die Modelle TCO, TLC und LCC zusammenfassend entlang des Transaktionsphasenmodells nach Ellram (1993, S. 7) wird klar, dass TCO ein überspannendes Modell zur Lieferantenauswahl darstellt. TLC ist im Fokus der Transaktionsphase und LCC der Post-Transaktionsphase zuzuordnen. Die Pre-Transaktionsphase, mit den Aktivitäten der Bedarfsidentifikation und dem Recherchieren bzw. Qualifizieren möglicher Quellen oder Lieferanten, hat im Vergleich einen

weitaus qualitativeren Charakter als die nachfolgenden Phasen. Sie wird dementsprechend weniger anhand von Kostenmodellen unterstützt, denn durch „Go-/No-Go-Entscheidungen“ oder „gewichteten Matrizen“, wie sie in Abschnitt 4.1 Modelle zur Lieferantenauswahl vorgestellt werden.

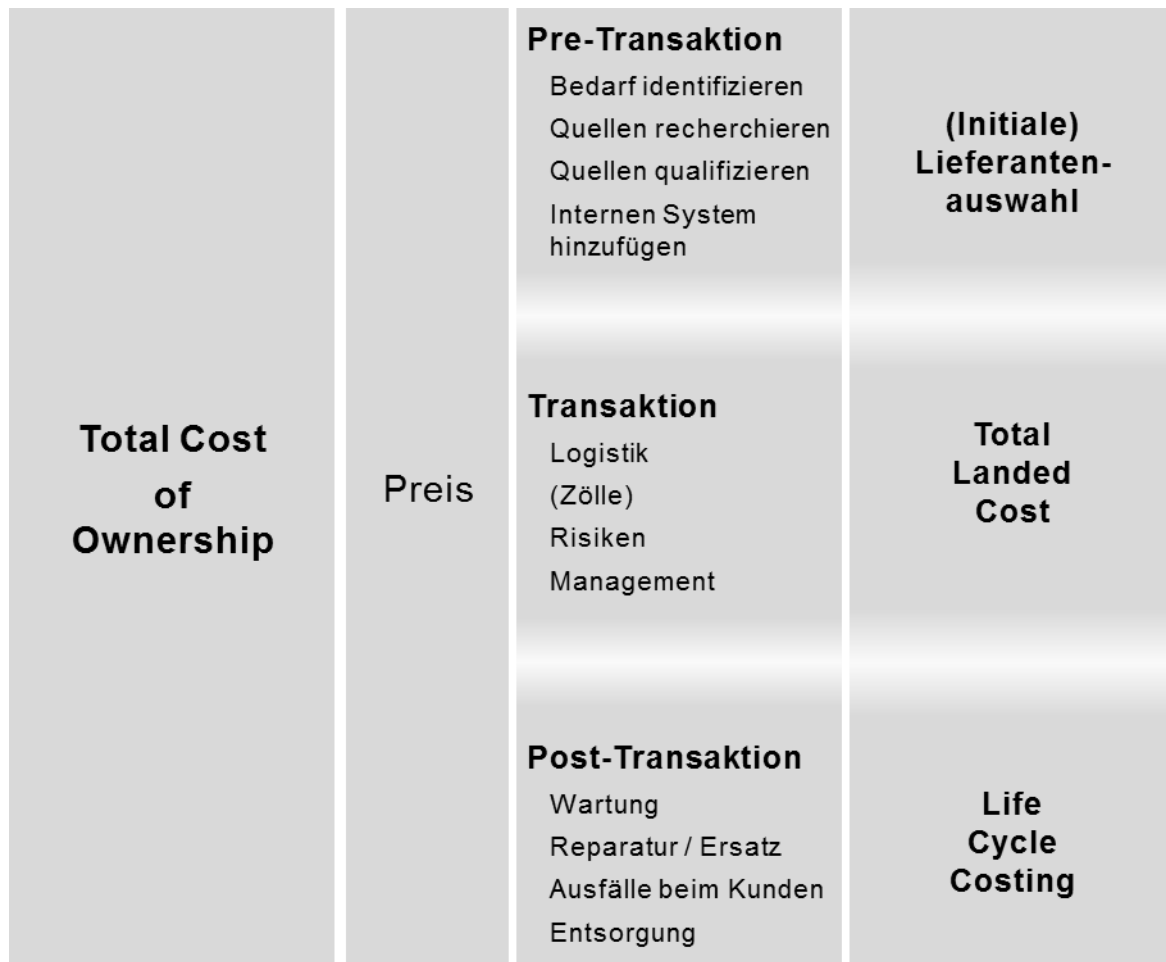


Abbildung 25: Lieferantenauswahlmodelle entlang der TCO Transaktionsphasen

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ellram 1993, S. 7

Das bindende Glied zwischen den verschiedenen Transaktionsphasen und Lieferantenauswahlmodellen ist der Preis für ein Gut oder eine Dienstleistung. Auch wurde in der Diskussion der einzelnen Modelle bereits erwähnt, dass weitere betrachtete Kostenelemente je nach Autor nicht immer eindeutig einzelnen Phasen oder Modellen zugeordnet werden. Die in *Abbildung 25: Lieferantenauswahlmodelle entlang der TCO Transaktionsphasen* vorgenommene Zuordnung zeigt daher bewusst „Grauzonen“ bzw. überblendende Bereiche zwischen den einzelnen Phasen und Modellen.

Neben einer gewissen Unschärfe in Bezug zu den betrachteten Kostenelementen gilt dies auch für die Anwendung der verschiedenen Modelle. Ellram und Siferd (1998)

haben im Rahmen ihrer Forschung zu TCO Modellen herausgefunden, dass diese neben der Anwendung im Bereich des Lieferantenmanagements und von kontinuierlichen Verbesserungsinitiativen insbesondere im Rahmen der Lieferantenauswahl eingesetzt werden. Wenngleich dies für TCO primär auf wichtige Einkaufsentscheidungen eingeschränkt wird (Ferrin / Plank 2002, S. 19), wie zum Beispiel die im Abschnitt zu Life Cycle Costing beschriebenen Investitionsgüter, kann auch das TLC Modell für die Vorbereitung von Lieferantenauswahlentscheidungen genutzt werden (vgl. Trent und Roberts 2010, S. 67). Wie im Abschnitt zu Total Landed Cost definiert wird, fokussiert das TLC Konzept jedoch auf die Kosten, die mit dem Einkauf von Gütern zusammenhängen und diese den entsprechenden Konsumenten oder industriellen Endkunden zur Verfügung zu stellen (vgl. Young et al. 2009, S. 322). Das ist im Falle der strategischen Projektnetzwerke in der Windenergiebranche eine besondere Herausforderung, da ein bestehendes Netzwerk aus geographisch verteilten Turmlieferanten als Quellen mit einem dynamischen Netzwerk von verschiedenen Windparks als Senken kosten- und leistungsoptimal zusammengebracht werden muss. Diese Situation entspricht der Transaktionsphase des TCO Modells, da es sich um bestehende Lieferanten handelt und keine den Lebenszyklus des Turms oder die gesamte Windenergieanlage betreffenden Kostenbestandteile relevant sind. Aus diesem Grund ist das TLC Konzept für die Anwendung im beschriebenen Umfeld besonders geeignet.

Das TCO Modell ist speziell in der Pre-Transaktionsphase mit dem in *Abschnitt 2.2.5 Supply Chain Management* beschriebenen Supply Chain Design vergleichbar, wo im Kontext der Windenergiebranche strukturiert geprüft werden kann, ob Lieferanten an anderen Standorten aufgrund sich verändernder geographischer Absatzmärkte notwendig werden bzw. strukturelle Kostenvorteile mit sich bringen können. Dies ist ein relevanter Aspekt, aber nicht Kernbestandteil dieser Arbeit.

Die Post-Transaktionsphase des TCO Modells, welche wie festgestellt weitgehend dem LCC Konzept entspricht, würde im Kontext der Windenergiebranche eher aus Sicht der Betreiber von Windenergieanlagen die Frage stellen, welcher Hersteller gewählt werden soll, um über die Jahre der Betriebsdauer der Anlagen eine maximale Betriebsbereitschaft zu erzielen. Denn Anlagen in Wartung oder Reparatur produzieren keinen Strom und damit keine Umsätze, sondern Kosten. Aus Sicht der Anlagenhersteller betrifft dies wiederum für den Anlagenbetrieb kritische Komponenten

wie zum Beispiel Getriebe oder Generatoren, da deren Ausfallwahrscheinlichkeit in der Praxis weitaus wahrscheinlicher ist als die des Turms. Das LCC Konzept kann für die weitere Betrachtung in dieser Arbeit demnach ausgeschlossen werden.

Ein weiterer Aspekt beim Vergleich des TCO mit dem TLC Modell liegt in der Komplexität und Datenverfügbarkeit. Während Ferrin und Plank (2002, S. 25) 135 Kostenbestandteile für das TCO Modell definieren, werden in dieser Arbeit 32 Kostenelemente für TLC dargestellt. Ellram und Siferd (1993) berichten, dass eben die Modellkomplexität und die oftmals nicht ausreichende Verfügbarkeit von Daten in den Informationssystemen der Unternehmen gegen die Entwicklung oder Anwendung von TCO Modellen sprechen (Ferrin / Plank 2002, S. 19 f.). Vor der gleichen Herausforderung stehen natürlich auch TLC Modelle, wenngleich Informationen bezüglich Teilepreis, Transport und Zöllen zumeist einfach verfügbar sind (vgl. Young et al. 2009, S. 330 ff.).

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass für den Zweck dieser Arbeit das TLC Konzept in Summe am besten geeignet ist. Das TCO Konzept geht in seiner theoretischen Struktur über die vorliegenden Anforderungen hinaus. Daher soll weitergehend zur Identifikation des Forschungsbedarfs der Fokus auf der Analyse von Fallstudien im Bereich TLC liegen. Da das TCO Konzept in der Praxis aber wie zuvor beschrieben in vergleichbaren Situationen Anwendung findet, wird auch eine Arbeit aus diesem Bereich untersucht.

4.4 Bestimmung der Anforderungskriterien

Zur Bestimmung des Forschungsbedarfs wird zunächst eine Zusammenfassung der Anforderungen dieser Arbeit benötigt. Im Anschluss daran können anhand der Gegenüberstellung von Anforderungen und aktuellem Erfüllungsgrad die Richtung und der Umfang des Forschungsbedarfs bestimmt werden. Die Kriterien, anhand derer die Gegenüberstellung erfolgen soll, leiten sich aus den in der Einleitung dieser Arbeit und dem vorhergehenden Kapitel zu den Produktionsnetzwerken in der Windenergiebranche genannten Gegebenheiten ab.

Die kurze Beständigkeit der Netzwerke in der Windenergiebranche und die Netzwerkstruktur mit multiplen möglichen Quellen und Senken sind als vordergründige Eigenschaften zuerst zu nennen. Das Versorgungsnetzwerk spannt sich mit der ersten Belieferung aus einer Auswahl an Quellen auf und endet bereits nach kurzer Frist

mit der Vereinnahmung der letzten Anlage an einem der verschiedenen Errichtungsstandorte.

In diesem Kontext liegt das zweite Kriterium der Logistikstandardisierung nahe, da übliche Maße beim Transport der Komponenten für die Windenergieanlagen deutlich überschritten werden, was den Einsatz spezialisierter Dienstleister mit entsprechendem Equipment erfordert (vgl. Kersten / Hohrath / Scholl 2010, S. 41 ff.). Hinzu kommen uneinheitliche Gesetzgebungen zu Großraum- und Schwertransporten in verschiedenen Nationalstaaten in Europa, was in Summe zu einer erschwerten planerischen Bewertung der Logistikkosten führt. Diese setzen sich aus Straßen- und Seetransport und oftmals mehrfachen Verladungen der Turmkomponenten zusammen. Darüber hinaus liegen die Windparkstandorte als Senken des Netzwerkes in teils unwegsamem Gelände, was die Bewertung der letzten Meile weiter erschwert.

Als drittes Kriterium folgt der Reifegrad des Risikomanagements. Daran werden in dieser Arbeit besondere Anforderungen gestellt. Gründe dafür sind neben den Implikationen aus der kurzen Netzwerkbeständigkeit und der geringen Logistikstandardisierung insbesondere die hohen Prozessanforderungen einer schnellen Projektrealisierung. Die Notwendigkeit dazu ergibt sich, wie in der Einleitung geschildert, aus der verschärften Wettbewerbssituation, in der sich die Windenergiebranche befindet. Darüber hinaus bedarf es, aus der komplexen und dynamischen Netzwerksituation heraus, validen Gesamtkostendaten, um die um Risikokosten erweiterten Total Landed Cost zu minimieren.

Abschließend werden die Anwendung einer mathematischen Optimierung, und der Kontext, in dem das geschieht, als Kriterium zur Gegenüberstellung gewählt. Wie im Abschnitt zur Netzwerkbeständigkeit beschrieben wird, handelt es sich um ein Netzwerk mit multiplen Quellen, die es mit multiplen Senken in kostenoptimaler Weise zu verbinden gilt. Zum Zeitpunkt dieser Zuordnung besteht aber oftmals noch keine abschließende Sicherheit, dass die Windparkprojekte tatsächlich zum geplanten Zeitpunkt errichtet werden können, oder ob überhaupt der Auftrag dafür final erfolgt. Vor diesem Hintergrund ist eine effiziente kontinuierliche Optimierung des vorliegenden Projektnetzwerks notwendig.

4.5 Analyse von Fallstudien im Bereich TLC und TCO

In der Untersuchung zum Stand der praktischen Forschung werden verschiedene Arbeiten insbesondere zum Thema Total Landed Cost vorgestellt und hinsichtlich der Anforderungskriterien analysiert, um davon ausgehend den weiteren Forschungsbedarf zu bestimmen.

Young et al. (2009) entwickeln ein Entscheidungsmodell zur Evaluierung der gesamten Beschaffungskosten für den Güterimport in die Vereinigten Staaten. Im Rahmen ihrer Arbeit sollten nach dem Beschluss der Mitgliedsunternehmen des „Import Processes Benchmarking Consortium“, einem Forschungsprojekt des Center for Supply Chain Research der Pennsylvania State University, die relevanten Kostentreiber des Importprozesses identifiziert werden, um daraus ein unterstützendes Tool für Beschaffungsentscheidungen zu entwickeln. Dazu wurde eine Methode entwickelt, bei der sechs Unternehmen über die Benutzung eines Landed Cost Modells zur Ermittlung der Beschaffungskosten und die Ausprägung des Modells befragt wurden. Die befragten Unternehmen repräsentieren einige der wichtigsten Importeure in die Vereinigten Staaten aus den Branchen Metall, Chemie, Pharma, Elektronik und Fahrzeughersteller.

Aus den Ergebnissen der Befragungen mit Vertretern der Unternehmen aus verschiedenen Unternehmensbereichen, wie Supply Chain Management oder Trade Compliance, definieren die Autoren sechs Module mit zugehörigen Kostentreibern. Ziel ist die Entwicklung eines möglichst allgemeingültigen TLC Modells das alle genannten Kostentreiber in Module kategorisiert. Weder wird das Verhalten der Module unter Veränderung der Kostentreiber mathematisch beschrieben, noch findet eine Optimierung der Module oder der Total Landed Cost statt.

Die repräsentierten Branchen Metall, Pharma und Chemie lassen auf langfristig stabile Netzwerke schließen, da es sich hauptsächlich um die Beschaffung von Rohstoffen handelt, die häufig über viele Jahre aus derselben Quelle bezogen und wenigen Produktionsstätten bzw. Senken zugeführt werden. Zudem beschaffen einige der befragten Unternehmen die Importgüter von Konzernunternehmen, was zusätzlich auf eine langfristige Lieferbeziehung schließen lässt. Die Branchen Fahrzeughersteller und insbesondere Elektronik stehen mehr für kurze Innovations- und Produktlebenszyklen und bilden eher mittel- bis kurzfristige Netzwerkbeständigkeit ab.

Da es sich in der Metall-, Pharma- und Chemiebranche wie bereits erwähnt hauptsächlich um Rohstofftransport handelt, wird hier von Schüttgütern oder Flüssigkeiten ausgegangen, die mit entsprechendem Equipment befördert werden und Sicherheitsregulierungen unterliegen können. Bei den anderen Branchen ist davon auszugehen, dass Einzelteile und Komponenten beschafft werden, die in standardisierten Behältern bzw. Containern transportiert werden können. Die Logistikstandardisierung ist im Vergleich zur Windenergiebranche weiterhin hoch, im Vergleich zum Standard-LKW per Straßentransport aber als komplexer einzustufen.

Das Modul Risiko wird ähnlich wie im nachfolgenden Modell von Feller (2008) als qualitativer Einflussfaktor betrachtet, während den anderen Modulen Kosten quantitativ zugeordnet werden. Young et al. (2009) integrieren das Modul in ihr TLC Modell, obwohl nur eines der befragten Unternehmen eine Risikobetrachtung durchführt. Das genannte Unternehmen ist ansässig in der Chemiebranche und verifiziert jede auf Basis der quantitativen Module getroffene Entscheidung mittels einer Go-/No-Go-Entscheidung des vermeintlich auftretenden Risikos. Die kostengünstigste Entscheidung kann also durch subjektive Einschätzung eines durch das Management des Unternehmens als hoch eingeschätzten Risikos widerrufen werden.

Abschließend wird das entwickelte TLC Modell von Vertretern der Unternehmensseite auf seine Praxistauglichkeit hin evaluiert. Während die Datenverfügbarkeit für die Module Preis, Transport und Zölle als hoch eingeschätzt wird, kehrt sich dieses Verhältnis für die Module Bestand, Gemeinkosten und Risiko ins Gegenteil um. In der Konsequenz bedeutet das für die meisten Unternehmen, diese Module nicht in das Entscheidungsmodell aufzunehmen, obwohl dem Einfluss der Kostentreiber zugestimmt wird.

Dem Aspekt der Risikobetrachtung widmet sich wie im Abschnitt zuvor erwähnt auch **Feller** (2008). Das grundsätzliche Ziel seiner Arbeit ist die strategische Bewertung und Auswahl insbesondere von Low-Cost-Country-Lieferanten. Feller (2008) entwickelt dazu ein Analyseinstrument, das aus einem Kostenmodell und einem Risikomodell besteht.

Das Kostenmodell ist vergleichsweise detailliert ausgestaltet, was vordergründig zu akkurateren Ergebnissen führt, sofern die entsprechenden Informationen gepflegt werden können. Auch das Risikomodell wurde ausgehend von einer umfassenden

Sammlung von Risiken und deren Einteilung in verschiedene Kategorien aufgebaut. Risiken werden als solche Elemente definiert, die Einfluss auf die Lieferantenauswahlentscheidung haben, aber nicht im Kostenmodell quantifiziert werden können. Um Risiken dennoch bewertbar und verschiedene Lieferanten vergleichbar zu machen, wird die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) mit leichten Anpassungen und unter Hinzufügen einer einheitlichen Skala angewendet. Ergebnis dieses Vorgehens ist eine laut Feller von subjektiven Einflüssen weitgehend gelöste sogenannte Risiko-Prioritätskennzahl (RPK) für jeden vorab definierten Risikofaktor. Risikokategorien mit größeren RPK haben einen stärkeren negativen Einfluss und werden für die folgenden Bereiche bewertet: Einkauf und Organisation, Finanzen und Entwicklung, Bestand und Qualität, sowie Logistik und Zölle. Die RPK je Kategorie und Lieferant kann dann einerseits transparent verglichen werden und andererseits kann der prozentuale Unterschied zwischen der kleinsten RPK im Vergleich und der des jeweiligen Lieferanten ermittelt werden. Die Integration des Kosten- und des Risikomodells erfolgt über die Multiplikation der Kosten, die in der jeweiligen Kategorie bei einem potentiellen Lieferanten anfallen, und der ermittelten prozentualen Differenz mit dem Resultat risikoadjustierter Gesamtkosten.

Als mögliche Erweiterung des entwickelten Modells nennt Feller (2008) die Anwendung linearer oder nicht-linearer Optimierungsalgorithmen. Anhand dieser wäre es möglich, unter Anwendung einer Zielfunktion, Entscheidungsvariablen und angemessenen Nebenbedingungen zu optimalen Ergebnissen zu kommen. Das wäre laut Feller insbesondere dann von Vorteil, wenn statt eines Single-, ein Dual- oder Multiple-Sourcing angestrebt wird und eine optimale Aufteilung auf die verschiedenen Lieferanten bewertet werden soll.

Im Modellaufbau, wie in der vorgeschlagenen Modellerweiterung, beinhaltet Fellers Ansatz damit alle benötigten Bausteine zur Lösung der vorliegenden Fragestellung, wenngleich deren Ausgestaltung vom angestrebten Zustand abweicht. Insbesondere der Detailgrad der Kosten- und Risikobewertung, sowie die Adjustierung der Gesamtkosten über Risikokennzahlen, werden im Sinne des Aufbaus und insbesondere der späteren Pflege und Anwendung kritisch beurteilt. Die Anwendung einer Optimierungslogik ist aufgrund der Dynamik von Netzwerken in der Windindustrie indes dringend anzuraten.

Die Besonderheit an der Arbeit von **Jearasatit** (2010) liegt in der Betrachtung der In- und Outbound-Perspektive bei der Kostenbewertung eines globalen Produktionsstandortes in der Elektronikindustrie. Das Kostenmodell konzentriert sich auf Material-, Produktions-, Transport-, Lager- und Bestandskosten sowie Steuern und Zölle, wobei die Transport- und Bestandskosten für die Belieferung und Distribution bzw. Roh- und Fertigmateriale entsprechend mehrstufig erhoben werden.

Neben der Wahl des optimalen Produktionsstandorts wird auch bewertet, welche Transportmodi zur Anwendung kommen sollen und insbesondere wann Luftfracht sinnvoll ist. Die Risikoanalyse konzentriert sich auf globale Parameter wie steigende Arbeits- und Transportkosten. Über eine Sensitivitätsanalyse werden die Grenzwerte dieser Kostenblöcke ermittelt, bis zu denen die Resultate der Total Landed Cost Bewertung Bestand haben. Jearasatit gibt zu bedenken, dass die Ergebnisse zur Bewertung einer Produktionsverlagerung insofern hinterfragt werden müssen, als dass keine Fixkosten im Modell enthalten sind und schwach ausgelastete Standorte zumindest in einer Übergangsphase überproportionale Stückkosten für die verbliebenen Produkte zu Folge haben können.

Obwohl die Elektronikbranche auf die schnellen Innovationszyklen mit kurzen Produktlaufzeiten antworten muss, handelt es sich um Netzwerke, die bei verhältnismäßig stabilen Lieferanten als Quellen und Produktionsstandorten als Senken über mehrere Modellzyklen hinweg gleichbleiben. Die Veränderlichkeit liegt hier demnach mehr an den Gütern, die zwischen den Lieferanten und Produktionsstandorten im Netzwerk fließen und weniger an einer Veränderung der Quellen oder Senken selbst.

An diesem Beispiel wird deutlich, wie weit zwei Themenstellungen unter Anwendung vergleichbarer Ansätze inhaltlich voneinander abweichen können. Angefangen bei der mehrstufigen Produktionsnetzwerkbetrachtung über das Volumen und die Wertdichte der betrachteten Artikel und die Folgen für die logistische Abwicklung bis hin zur Art und Ausgestaltung der Risikobetrachtung weichen die Gegebenheiten und Anforderungen im Vergleich zur Windenergiebranche deutlich voneinander ab.

Erhun und Tayur (2003) betrachten einen Zulieferer im Lebensmitteleinzelhandel und nutzen das Total Landed Cost Konzept nicht für die Auswahl von Lieferanten oder die optimierte Bestellung bei verschiedenen Lieferanten, sondern für die Optimierung der Bestellgrößen für je einen Lieferanten. Sie entwickeln ein Modell, die sogenannte Total Cost Solution (TCS), um die TLC funktionsübergreifend durch eine

lineare Optimierung in Abhängigkeit der Einkaufs-, Administrations-, Transport- und Bestandskosten zu minimieren. Im Fokus steht vor allem die effiziente Lösung des entstehenden Zielkonflikts zwischen den vier Kategorien.

Der Lebensmittelhandel ist geprägt durch hohen Wettbewerb, hohe Betriebskosten, geringe Margen und ein komplexes Netzwerk mit vielen Lieferanten. Die sechs Distributionszentren des Händlers dienen als Lager zwischen den Lieferanten und Kunden. Sie sind der Ausgangspunkt für die TLC Betrachtung. Die Netzwerkbeständigkeit kann bezogen auf einzelne Produktgruppen hoch sein, da verschiedene Nahrungsmittel- oder Getränkehersteller eine große Marktmacht besitzen, auf die ein einzelner Lebensmittelhändler womöglich wenig Einfluss nehmen kann. Bei Betrachtung des gesamten Produktsortiments ergibt sich eine größere Netzwerkdynamik mit einer gewissen Anzahl potentiell häufiger wechselnder kleinerer Lieferanten.

Die entwickelte Total Cost Solution erweitert die bestehende IT-Infrastruktur und basiert auf einer Unterteilung in drei zu lösende lineare Optimierungen: Das „coordinated replenishment problem“, das „stochastic inventory problem“ und den „event planner“. Schließlich erfolgt durch die Applikation eine Optimierung der Parameter Bestellmenge und Grundbestand auf Basis einer Periodenlänge von einem Tag.

Im „coordinated replenishment problem“ wird die Bestellmenge auf Grundlage des durchschnittlichen Bedarfs berechnet ohne die Bedarfsschwankungen zu berücksichtigen. Zuerst werden die Lagerhaltungskostensätze für drei unterschiedliche Lagerzonen, die in jedem Distributionszentrum existieren, bestimmt. Anschließend wird eine von drei möglichen Transportvarianten ausgewählt. Die Varianten beziehen sich auf die unterschiedliche Verantwortlichkeit, sind jedoch alle vollkommen standardisiert, weil vorausgesetzt wird, dass alle bestellten Bestandseinheiten zu einer entsprechend größeren Einheit wie zum Beispiel einer Palette zusammengefasst werden können und anschließend per LKW transportiert werden. Die gesamte Optimierung findet in den Grenzen der minimalen und maximalen Bestellmenge und unter Berücksichtigung der möglichen Rabattstufen und einer möglichen Konsolidierung abhängig von der Bestellmenge statt.

Im „stochastic inventory problem“ wird von der zuvor bestimmten optimalen Bestellmenge ausgegangen und die Grundbestände pro Bestandseinheit werden berechnet. Die Betrachtung der unterschiedlichen Laufzeit bzw. möglichen Verspätung

durch einen prozentualen Wert, der die Zuverlässigkeit des Lieferanten widerspiegelt, ist die einzige Risikokomponente, die im TLC Modell von Erhun und Tayur (2003) berücksichtigt wird und sich auf den Grundbestand auswirken kann, falls ein bestimmtes Produkt bzw. ein Lieferant anfällig für Verspätungen sind.

Das letzte Modul der Applikation ist der „event planner“, in dem temporäre Rabattaktionen oder Preiserhöhungen des Lieferanten eingegeben werden können, um die Bestellmenge eventuell auf kurzfristiger Basis zu verändern.

Die Arbeit von Erhun und Tayur (2003) bezieht sich also auf einen sehr eingeschränkten Anwendungsbereich der Total Landed Cost und ist stark auf den Aspekt der mathematischen Optimierung fokussiert.

Degraeve und Roodhooft (1996) entwickeln ein mehrdimensionales mathematisches Optimierungsmodell zur Lieferantenauswahl unter Minimierung der Total Cost of Ownership auf Basis der Prozesskostenrechnung und erläutern das entwickelte Modell in einer Fallstudie. Der prozesskostenorientierte Ansatz ist die Voraussetzung für eine exakte Zuweisung der Kosten und Aktivitäten zu Lieferanten, Produkten oder Einheiten und ermöglicht eine Quantifizierung der Einflussfaktoren als Grundlage für das angewandte TCO Konzept.

Die Fallstudie bezieht sich auf ein mittelständisches Druckereiunternehmen, das Papierrollen von seinen Lieferanten bezieht. Das untersuchte Netzwerk besteht aus drei Lieferanten bzw. Quellen und einem Bedarf von drei verschiedenen Papiersorten, die jeweils von allen Lieferanten an eine Senke geliefert werden können. Aufgrund der Branche mit einer Vielzahl an potentiellen Papierlieferanten und geringer technologischer Spezialisierung wird auf ein eher kurzfristig orientiertes, preisgetriebenes Netzwerk geschlossen. Diese Annahme wird gestützt durch die Aussage, dass eine rollierende Betrachtung und kontinuierliche Pflege der Stammdaten des Modells notwendig sind, da es sich um einen dynamischen Prozess mit schnell veränderlicher Datengrundlage handelt.

Der Transportmodus des Papiers wird nicht spezifisch erwähnt, es kann aber von Straßentransport mit normalem Equipment ohne spezielle Auflagen und bei hoher Logistikstandardisierung ausgegangen werden.

Die Mehrdimensionalität des mathematischen Modells umfasst die lineare Optimierung über mehrere Perioden unter Betrachtung verschiedener Lieferanten und Produkte. Auch eine kombinierte Lösung mit Bestellungen von mehreren Lieferanten kann zu einer optimalen Lösung bzw. minimalen Total Cost of Ownership führen.

Das Modell ist neben den Preisen für die verschiedenen Papiersorten in drei Ebenen gegliedert: Lieferanten-, Produkt- und Einheitenebene. Die Lieferantenebene enthält Kosten zu dessen Qualifizierung. Die Produktebene enthält Prozesskosten und Restriktionen rund um die Logistik und den Zahlungsverkehr. Die Kostenposition auf Einheitenebene beschreibt den prozentualen Ausschuss des jeweiligen Lieferanten. Die Kostenelemente der drei Ebenen sind damit der Transaktionsphase des TCO Konzepts zuzuordnen und lassen sich daher genauso mit dem Total Landed Cost Konzept beschreiben. So muss zum Beispiel keine initiale Lieferantenidentifikation erfolgen, da diese im Rahmen der Fallstudie feststehen. Bei regelmäßiger Integration neuer Lieferanten würden sich die Kosten vom kontinuierlichen Lieferantenmanagement der TLC hin zu Pre-Transaktionskosten der TCO verschieben. Das ist im Rahmen der Fallstudie aber nicht der Fall. Ebenfalls findet keine Bewertung von Post-Transaktionskosten bzw. dem Life Cycle Costing statt, da die Betrachtung mit dem Abschluss der Lieferung endet und keine Kosten beispielsweise bezüglich der Papierqualität erhoben werden.

Es wird eine Form der Risikobetrachtung in das Modell integriert. Auf der Produkt- und Einheitenebene wird ein quantitativer Faktor zur Zuverlässigkeit des Lieferanten abgebildet, der erhöhte Kosten bei der Planung und Rechnungslegung durch eine verspätete Lieferung berücksichtigt. Zusätzlich kann eine Sicherheitszeit über eine bestimmte Anzahl von Perioden festgelegt werden, um eine schlechte Lieferfähigkeit des Lieferanten auszugleichen.

4.6 Ableiten des Forschungsbedarfs

Nachdem der Stand der Forschung im vorhergehenden Abschnitt am Beispiel relevanter Arbeiten beschrieben wurde, wird nachfolgend der konkrete Forschungsbedarf im Vergleich zu den definierten Anforderungskriterien abgeleitet.

Das Branchenspektrum der untersuchten Arbeiten reicht von primär rohstoffverarbeitenden Branchen wie der Chemiebranche über Fahrzeughersteller mit Bauteilen und Komponenten bis hin zum Lebensmittelhandel mit einer Vielzahl verschiedener Fer-

tigwaren. Alle diese Branchen kennzeichnen teils sehr unterschiedlich komplexe oder dynamische **Netzwerke** hinsichtlich der Veränderlichkeit ihrer Knoten oder Flüsse. Im Vergleich zur Windenergiebranche liegt jedoch keine der untersuchten Arbeiten im Bereich von strategischen Projektnetzwerken, bei denen zwar nicht mit jeder einzelnen Belieferung, sehr wohl aber mit jedem einzelnen Windpark neue Netzwerkalternativen entstehen und bei der Auftragszuordnung bewertet werden müssen.

Die analysierten Arbeiten lassen sich grundsätzlich in drei Anwendungsfälle von Total Landed Cost Modellen unterscheiden. Zum einen handelt es sich um die strategische Lieferantenauswahlphase, bei der transaktionskostenbasierte Modelle zum Einsatz kommen. Das betrifft die Arbeiten von Young et al. (2009) und Feller (2008). Zum anderen kann die Identifikation eines kostenoptimalen Produktionsstandortes wie bei Jearasatit (2010) das Ziel sein. Und dann gibt es Situationen im taktisch-, operativen Rahmen, bei denen das Ziel die **Optimierung** der Bestellgrößen bei einem oder mehreren bestehenden Lieferanten ist. Das ist bei den Arbeiten von Erhun und Tayur (2003) sowie bei Degraeve und Roodhooft (1996) der Fall und kommt der Anforderung an eine optimierte Auftragszuordnung in dieser Arbeit recht nah. Der Unterschied zwischen der Anforderung und der Umsetzung in den analysierten Arbeiten besteht bei diesem Kriterium in der Netzwerkstruktur. Während bei Erhun und Tayur (2003) zwar ein komplexes Netzwerk vorliegt, erfolgt die Optimierung immer in der Eins-zu-Eins-Situation von Lieferant und Lager. Bei Degraeve und Roodhooft (1996) wird die Bestellgröße von 3 redundanten Quellen für eine Senke optimiert. Auch Feller (2008) erkennt, dass wenn statt eines Single-, ein Dual- oder Multiple-Sourcing angestrebt wird, eine optimale Aufteilung auf die verschiedenen Lieferanten anhand linearer oder nicht-linearer Optimierungsalgorithmen bewertet werden sollte. Im Bereich der Windenergiebranche liegen, wie bereits mehrfach erwähnt, Netzwerke mit multiplen Quellen und Senken vor, die es bei der Auftragszuordnung zu optimieren gilt. Eine mathematische Optimierung ist hier vergleichbar mit einer Automatisierung im Prozessablauf und spart in der Dynamik der Netzwerksituation wertvolle Zeit und Planungsressourcen. Und diese Dynamik liegt wie im Abschnitt zur Netzwerkbeständigkeit festgestellt bei keiner der vorliegenden Arbeiten vor.

Die **Logistik** der analysierten Arbeiten ist mehrheitlich in einem internationalen Umfeld angesiedelt und betrachtet somit mehrgliedrige globale Transportketten mit Straßen-, Hafenumschlag und See-, bzw. Luftfracht. Darüber hinaus werden nicht nur palettierbare Waren betrachtet, sondern auch Schüttgüter wie Erze oder

Öle, die Tankequipment erfordern. Trotz der Breite der vorgefundenen Logistikkonzepte liegt bei allen analysierten Arbeiten ein hoher Logistikstandardisierungsgrad vor. Damit kann die Bewertung der Logistikkosten anhand recht einheitlicher, entfernungs-, gewichts- und/oder volumenbasierter Tarife erfolgen. In diesem Bereich unterscheiden sich die Herausforderungen in der Windenergiebranche mit Groß- und Schwertransporten auf stetig wechselnden Routen in teils unwegsamem Gelände ohne Umschlagsinfrastruktur deutlich. Damit wird der Erfüllungsgrad der Anforderungen für die Logistikstandardisierung im Vergleich zu den anderen Kriterien am niedrigsten eingestuft.

Allen betrachteten Arbeiten ist gemein, dass das Thema **Risiko** im Rahmen der Total Landed Cost Bewertung als relevant erkannt und diskutiert wird. Jearasatit (2010) definiert Grenzwerte für die aus seiner Sicht vorrangigen Risiken steigender Arbeits- und Transportkosten, aber er integriert sie nicht in sein Modell. Ein höherer Reifegrad liegt bei Modellen vor, die prozentuale Faktoren zur Lieferantenzuverlässigkeit beinhalten und darauf basierend beispielsweise Administrations- oder Bestandskosten skalieren. Das Vorgehen zur Messung der Zuverlässigkeit und der damit verbundene Aufwand werden in den betrachteten Arbeiten jedoch nicht thematisiert. Feller (2008) widmet dem Thema Risiko ein eigenes Modell mit einer umfassenden Identifikation und Bewertung der Risiken für jeden Lieferanten. Indem er die Resultate der Total Landed Cost Bewertung anhand der ermittelten Risikokennzahlen skaliert, enthalten seine adjustierten Ergebnisse jedoch eine teils große undefinierte Abweichung von den ursprünglichen Kostenbewertungen. Das führt dazu, dass Feller (2008) seine eigenen Ergebnisse mit Bezug auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung abstrakter strategischer Fragestellungen bei der Lieferantenauswahl relativiert. Young et al. (2009) definieren in ihrem TLC Modell ein Risikomodul, das entsprechende Kostenbestandteile enthält. Deren quantitative Bewertung wird von den befragten Unternehmen jedoch kritisch beurteilt und nur ein untersuchtes Unternehmen betrachtet Risiken überhaupt per subjektiver Einschätzung des Managements. Mangan, Lalwani und Butcher (2010, S. 191) widersprechen dieser Einschätzung und sagen, dass quantitative Kennzahlen eine verlässlichere Grundlage für einen exakten Vergleich liefern, sofern sie auf reproduzierbaren Rohdaten basieren. Die hohen Anforderungen an ein Risikomanagement, das effiziente Prozesse und eine nachhaltige Risikokostenreduzierung gleichzeitig ermöglichen soll, werden in keiner der untersuchten Arbeiten erfüllt. Die Arbeit von Feller (2008) weist zwar einen hohen Reifegrad in der

Identifizierung und Bewertung von Risiken auf, ist dabei aber mit hohem Aufwand, komplexen Strukturen und einem von echten Kosten losgelösten Konzept verbunden. Die anderen Arbeiten liegen indes klar hinter diesem Reifegrad, bewerten Risiken rein subjektiv, qualitativ oder außerhalb des eigentlichen Modells. In diesem Bereich sollen daher verbesserte Ansätze, die in den analysierten Arbeiten zum Teil angeregt wurden, entwickelt werden.

Der Erfüllungsgrad der vorab dargestellten Anforderungen in den untersuchten Forschungsarbeiten ist entlang der definierten Kriterien in der nachfolgenden Graphik abgetragen. Die Einordnung je Kriterium wird qualitativ anhand einer Skala von 0-10 für jede Arbeit vorgenommen, wobei die Maximalausprägung jeweils die Anforderung beschreibt.

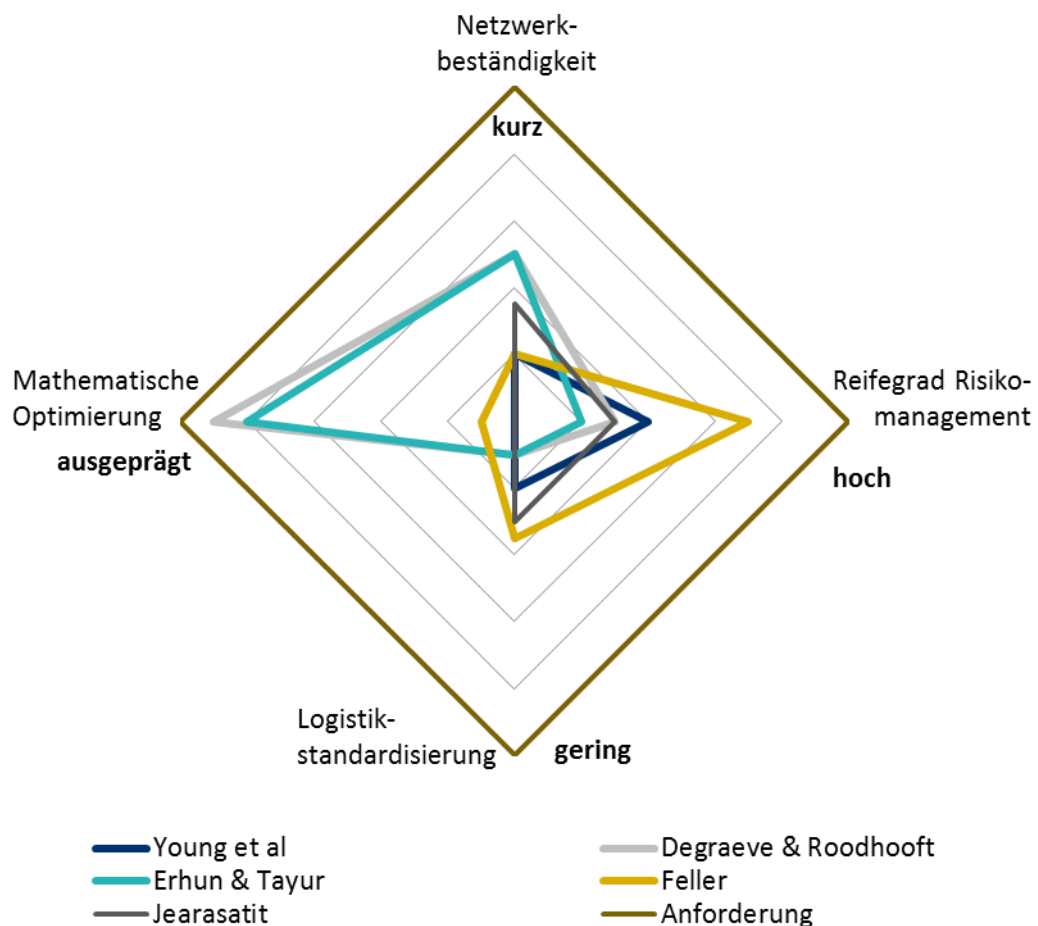


Abbildung 26: Matrix zum Forschungsbedarf aus Netzwerkbeständigkeit, Logistikstandardisierung, Reifegrad Risikomanagement und Mathematischer Optimierung

Quelle: Eigene Darstellung

Der Forschungsbedarf wird als Abstand zwischen den Seiten des Vierecks als Anforderung und der Umrandung der sich innerhalb des Vierecks formenden Fläche als Stand der Forschung graphisch sichtbar. Während das Kriterium der mathematischen Optimierung und der Reifegrad des Risikomanagements den definierten Anforderungen in verschiedenen Arbeiten zum Teil recht nahekommen, nimmt dies im Bereich der Netzwerkbeständigkeit ab. Beim Kriterium der Logistikstandardisierung werden die spezifischen Anforderungen dieser Arbeit nur ansatzweise erfüllt. Zusammenfassend wird somit ein mitunter deutlicher Abstand zwischen benötigter und vorgefundener Ausprägung der betrachteten Kriterien festgestellt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit zur *Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken*. Dem widmet sich das nächste Kapitel.

5 Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken

Gegenstand des nachfolgenden Kapitels ist die Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken. Die Methodik basiert auf zwei theoretischen Modellen „Total Landed Cost“ und „Supply Chain Management“, die im Rahmen dieser Arbeit vorab eingeführt wurden und deren Anwendung als Grundlage zur Entwicklung der Methodik im folgenden Abschnitt erläutert wird. Im Anschluss erfolgt die strukturierte Entwicklung und detaillierte Beschreibung der einzelnen Phasen und Bausteine der Methode. Die Schwerpunkte liegen dabei auf der Prognose der Risikokosten und dem Vorgehen zur Optimierung der Total Landed Cost im Hinblick auf die spezifischen Erfordernisse in der Windenergiebranche.

5.1 Methodische Grundlagen

Optimierung in Unternehmen hat in der Regel zwei Hauptkomponenten: Kosten und Leistung. Das **Total Landed Cost** Konzept fokussiert offensichtlich auf die Kostenkomponenten. Aber auch der Forderung nach einer Berücksichtigung von Risiken, und damit implizit einem Aspekt der Leistungskomponente, wird im erweiterten Rahmen dieses Konzeptes anhand der Berücksichtigung von Risikokosten entsprochen (vgl. Young et al. 2009, Feller 2008, Webber 2011).

Damit kann bereits ein umfassender, aber kein vollständiger Teil des Ziels dieser Arbeit erfüllt werden. Es fehlen die methodischen Grundlagen für die Optimierung der Auftragszuordnung. Darüber hinaus bedarf es eines übergreifenden Prozessmodells, um die Integration der Methode in die unterschiedlichen Planungs- und Verantwortungsebenen von Unternehmen zu ermöglichen. Damit sind die strategische Richtungsvorgabe, die taktische Planung sowie die operative Durchführung gemeint. Deshalb wird für diese Arbeit als zweite methodische Grundlage das **Supply Chain Management** mit den Ebenen Supply Chain Design, -Planning, und -Operations ausgewählt. Die Ebenen Supply Chain Design, -Planning und -Operations bilden die unterschiedlichen hierarchischen Verantwortungsebenen des Unternehmens ab. Das Supply Chain Monitoring ist eine Unterstützungsfunktion für jede Ebene und ist

Grundlage für die sich aus den Total Landed Cost ergebenden Datenanforderungen. Es setzt mit seiner Information über den aktuellen Netzwerkstatus Handlungsanreize für die verschiedenen Ebenen. Das Supply Chain Scheduling bildet die methodische Grundlage für die tatsächliche Optimierung der Auftragszuordnung in den strategischen Projektnetzwerken der Windenergiebranche.

Diese beiden methodischen Grundlagen berücksichtigend, die Total Landed Cost und das Supply Chain Management, erfolgt in den nächsten Abschnitten die Entwicklung der Methodik.

5.2 Entwicklung der Methodik

Basierend auf dem Methodenrahmen der Total Landed Cost soll die Bewertung der Bestandteile Komponenten-, Logistik- und Risikokosten den Ausgangspunkt der Methode bilden. Bewertung steht im Kontext dieser Methode für die Schaffung einer relationsunabhängigen Datenbasis, die es erlaubt, jedwede Konstellation aus Lieferanten- und Windparkstandort kostenseitig zu bewerten. Als unabdingbare Grundlage bildet die Bewertung der Kostenbestandteile damit die erste Phase der Methode.

Die darauffolgende Planungsphase ist dazu bestimmt, die notwendigen Voraussetzungen für die abschließende Optimierungsphase zu schaffen. Dazu zählen mit dem Supply Chain Design die Rahmenbedingungen der Quellen des Netzwerks aus Lage und Kapazität der Lieferanten. Das Supply Chain Planning fügt in einer kürzeren Fristigkeit die Senken mit den Bedarfen, der Lage und der Konfiguration potentieller Windparkprojekte hinzu. Dem somit vollständig aufgespannten Netzwerk können dann im Rahmen der Total Landed Cost Bewertung die Gesamtkosten für jede mögliche Lieferrelation hinzugefügt werden.

Somit ist nach Abschluss der Planungsphase die angestrebte Grundlage für die nun folgende Optimierung der Total Landed Cost anhand des Supply Chain Scheduling geschaffen. Dessen Zuordnungsergebnisse geben im Moment der Beauftragung eines Windparks konkrete Handlungsanweisungen an die Supply Chain Operations, wann und wo wie viele Türme in welcher Konfiguration zu bestellen sind. Darüber hinaus geben sie wertvollen Aufschluss über die Passgenauigkeit von strukturellen Kapazitäten und tatsächlichen Bedarfen im Netzwerk, die im Supply Chain Monitoring erfasst, ausgewertet und für die Anwendung im Supply Chain Design verwertbar gemacht werden. Außerdem werden im Supply Chain Monitoring die tatsächlichen

Logistik- und Risikokosten der jeweiligen Projektbelieferung erfasst und zur Aktualisierung der entsprechenden Bestandteile der Bewertungsphase verwendet.

Diese Zusammenhänge sind in der folgenden Abbildung graphisch dargestellt und werden in diesem Kapitel weitergehend beschrieben.

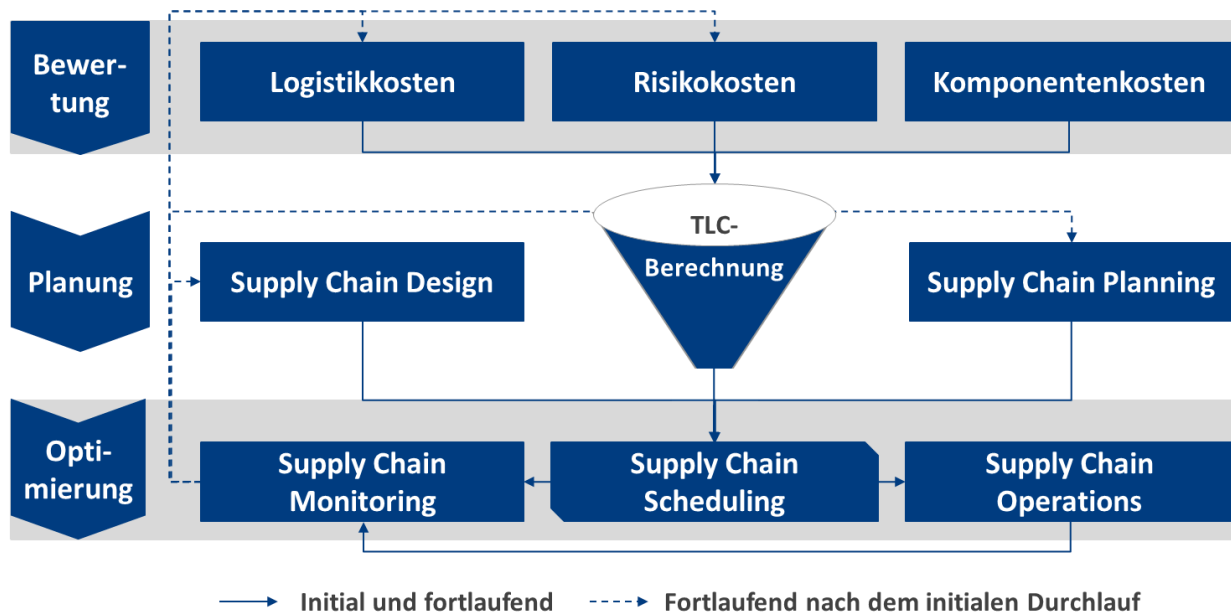


Abbildung 27: Methodischer Ansatz zur Gesamtkostenminimierung und Risikolimitierung

Quelle: Eigene Darstellung

5.2.1 TLC Bewertung

Die Idee der TLC Bewertung ist es, eine generische Datenbasis für die darauf folgende konkrete Bewertung der Total Landed Cost jeder möglichen Lieferanten-Projekt-Konstellation zu schaffen. Dazu ist es notwendig, Komponenten-, Logistik- und Risikokosten in einer Form bereitzustellen, die es erlaubt, die Determinanten Zeit und Ort bzw. Route für eine Bewertung flexibel hinzuzufügen. Jede sorgfältige Planung erfordert vollständige, konsistente und aktuelle Daten als Grundlage (vgl. Wiendahl 2008, S. 289). Diese *Datenqualität* für die drei genannten Kostenarten herzustellen, ist Inhalt der folgenden Abschnitte.

5.2.1.1 Komponentenkosten

Die Hauptkostenbestandteile bei der Herstellung von Großkomponenten, wie dem Turm einer Windenergieanlage, sind die Materialkosten und die Wertschöpfung. Diese beschreibt alle Faktoren die es bedarf, um aus der Vorleistung, welche in dominierender Form das Rohmaterial ist, die Gesamtleistung gefertigter Turmsegmente zu

erzielen. Dazu zählen als Kostenpositionen zum Beispiel Fabrikgebäude, Maschinen und Personal.

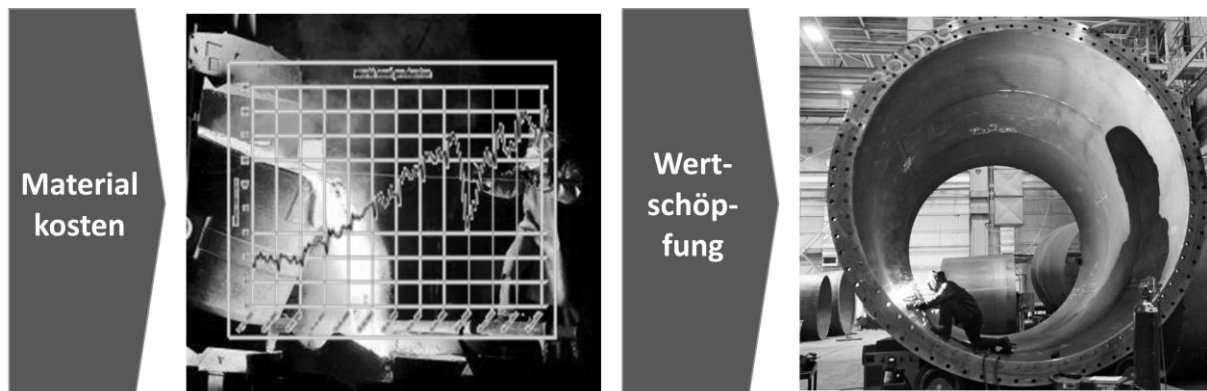


Abbildung 28: Hauptbestandteile der Komponentenkosten

Quelle: Eigene Darstellung

So wie Treibstoff erheblichen Einfluss auf die Kosten zur Erbringung einer Transportdienstleistung hat, hat das verbaute Material erheblichen Anteil an den Herstellkosten der Großkomponenten von Windenergieanlagen. Beide Kostentreiber unterliegen zudem teils erheblichen Marktbewegungen. Daher hat es sich im Transportgewerbe etabliert, die Transporttarife an einen allgemein anerkannten und transparenten Marktindex zu koppeln. Dieses Floater-Prinzip soll auch für die Bewertung der Höhe der Rohmaterialkosten angewendet werden. Zyklische Materialpreisunterscheide bei der Gesamtkostenbewertung können relativiert werden, indem für alle Lieferanten die gleiche Basis angesetzt wird. Dieses Vorgehen ermöglicht außerdem eine zeitdiskrete Anpassung der zukünftig anzunehmenden Einkaufskosten von Großkomponenten. Die Determinante Zeit wird damit hinreichend berücksichtigt. Im Unterschied zum Vorgehen beim Dieselfloater, bei dem auf Basis von Vergangenheitskursen Preisadjustierungen in der aktuellen Periode vorgenommen werden, soll hier mittels Prognosen das zukünftige Rohmaterialpreisniveau, beispielsweise im Quartalsabstand, rollierend für die Planung und Bewertung verbindlich festgelegt werden.

Um die Vorteile der lieferantenübergreifenden Harmonisierung von Materialpreisen und einer fundierten Kostenabschätzung nutzen zu können, ist es notwendig, dass die Lieferanten ihre Wertschöpfungskosten offenlegen. Dabei ist darauf zu achten, dass die angegebenen Kosten mit den schlussendlich abgerechneten übereinstimmen. Um das sicherzustellen, ist eine entsprechende vertragliche Vereinbarung notwendig.

5.2.1.2 Logistikkosten

Nach den Komponenten bildet die Logistik den nächsten großen Kostenblock der Total Landed Cost. Im Bereich von Standardtransporten sind Tarifmatrizen mit zweistelligen Postleitzahlengebieten für die Angabe von Quelle und Senke der Transportrelation mit Preisen nach Gewicht bzw. Volumen des Transportgutes die Regel. Der geringe Standardisierungsgrad der Schwertransportlogistik in der Windenergiebranche und die zum Teil sehr abgelegenen Errichtungsstandorte machen eine Anwendung solch pauschaler Kostensätze zumindest schwierig, häufig sogar unmöglich. Daher bedarf es einer Transportkostendatenbank zur Bewertung der Logistikkosten, in der alle realisierten Preise eines Projektes je Abschnitt in der Transportkette kontinuierlich und konsistent gepflegt werden.

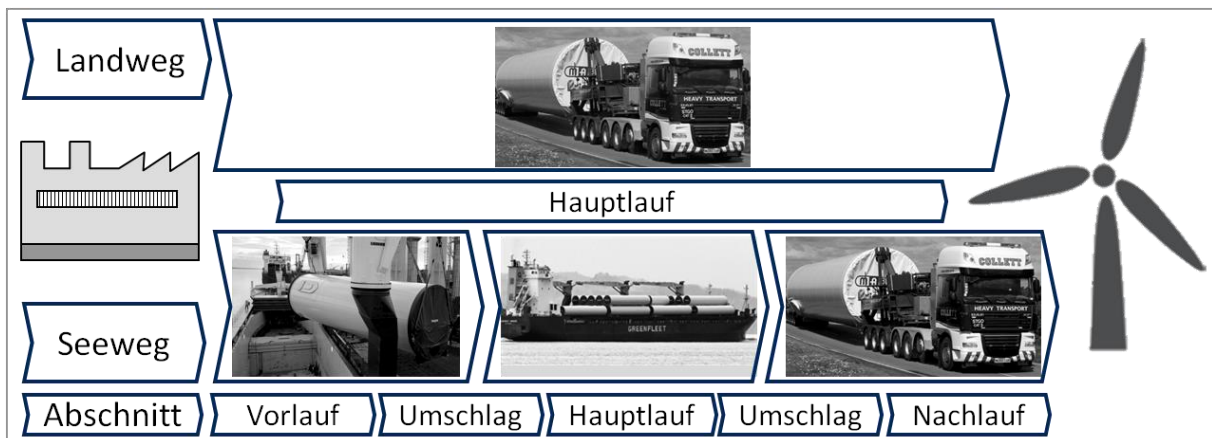


Abbildung 29: Art und Abschnitt der Schwertransportkette

Quelle: Eigene Darstellung

Die Abschnitte der Transportkette unterscheiden sich abhängig davon, ob der Transport multimodal auf dem Seeweg durchgeführt wird, oder ob er vollständig auf dem Landweg erfolgt. Der Seeweg besteht aus dem Vorlauf über die Straße, dem Umschlag im Abgangshafen, dem Hauptlauf per Schiff, dem Umschlag im Empfangshafen und dem abschließenden Nachlauf. Der Landweg hingegen besteht nur aus dem Hauptlauf auf der Straße. Das soll einen selten notwendig werdenden Austausch von Equipment aufgrund nationaler Gesetze nicht ausschließen, der einen Umschlagsvorgang erforderlich machen würde. Die Beladung beim Lieferanten liegt immer in dessen Hand und ist somit im Komponentenpreis enthalten. Die Entladung am Windparkstandort ist indes Bestandteil der Errichtungskosten, da hier kein lieferantenbedingter Unterschied vorliegt. Die beschriebenen Eigenarten nach Art und Abschnitt

der Schwertransportkette sind in *Abbildung 29: Art und Abschnitt der Schwertransportkette* graphisch zusammengefasst.

Nachdem die Abschnitte der Transportkette definiert sind, zu denen Kosteninformationen gesammelt werden müssen, ist weiterhin die Einheit festzulegen, in der die Kosten jeweils gepflegt werden sollen. Bei den Umschlagsvorgängen erfolgt die Leistungserbringung pro Turmsegment. Demnach sollten auch die Kosten entsprechend mitgeschrieben werden. Da sich sowohl die verschiedenen Segmente eines Turmtyps, als auch die gleichen Segmente verschiedener Turmtypen in ihren Abmessungen und Gewichten unterscheiden², können die Kosten besser auf der darüber liegenden Ebene des Turmtyps erfasst werden, um ausufernde Datenbankdimensionen zu vermeiden.

Der Vorlauf vom Lieferanten zum Hafen folgt in der Regel immer derselben Route. Ausnahmen wie bei dänischen Lieferanten, die für Lieferungen via Ost-, und Nordsee potentiell verschiedene Häfen nutzen, sollen hier vernachlässigt werden. Bei konstanter Distanz und eindeutiger Verknüpfung zum Lieferanten können die Kosten im Vorlauf entsprechend denen beim Umschlag gehandhabt werden.

Der Hauptlauf auf dem Seeweg ist der Schiffstransport. Vorausgesetzt der Windenergieanlagenhersteller hat keine eigene Flotte im Einsatz, setzt sich die Kostenstruktur aus der zeitorientierten Komponente für die Charterung von Schiff und Mannschaft sowie dem Bunker als entfernungs- und geschwindigkeitsabhängige Komponente zusammen. Von einer einheitlichen konstanten Geschwindigkeit für alle Schiffstransporte ausgehend, verhalten sich Zeit und Entfernung linear zueinander. Bei der Charterung ist ein Tag zumeist die kleinste Abrechnungseinheit. Daher muss eine Relation nicht zwingend im Detailgrad Versandhafen zu Empfangshafen erfasst werden, es reicht die Empfangsregion mit dem Durchmesser einer Tagesfahrt. Beispiele für die Dimension solch einer Region sind die Ost- und Westküste Englands inklusive der Anteile der Südküste und Schottland. Dieses Vorgehen vereinfacht einerseits die Datenerfassung und andererseits die darauf basierende Transportkostenbewertung für neue Projekte, die zwar in der gleichen Region, aber an stets wechselnden Häfen abgewickelt werden können.

² Weitergehende Informationen siehe Abschnitt 3.2 *Die Supply Chain in der Windenergiebranche*

Der Nachlauf des Seewegs ist in seiner Struktur das Äquivalent zum Hauptlauf beim Landtransport. Beide zeichnen sich durch projektabhängige Transportdistanzen aus, die beim reinen Landtransport zumeist länger ausfallen als beim Nachlauf vom nächstgelegenen Hafen. Die Kosten sind hier stark vom jeweiligen Land der Leistungserbringung mit seinen Kostenstrukturen und dem Umfang gesetzlicher Auflagen abhängig. Hauptkostentreiber ist hier das Spezialequipment. Zumeist ist ein degressiver Kostenverlauf mit steigender Distanz und Anzahl Anlagen aufgrund der dadurch reduzierten Rüstkosten und dem verminderten Auslastungsrisiko beim Dienstleister zu erkennen. Demnach müssen für eine valide Kostenplanung neben dem bezahlten Preis das Land der Errichtung sowie die Transportdistanz in der Datenbank hinterlegt werden.

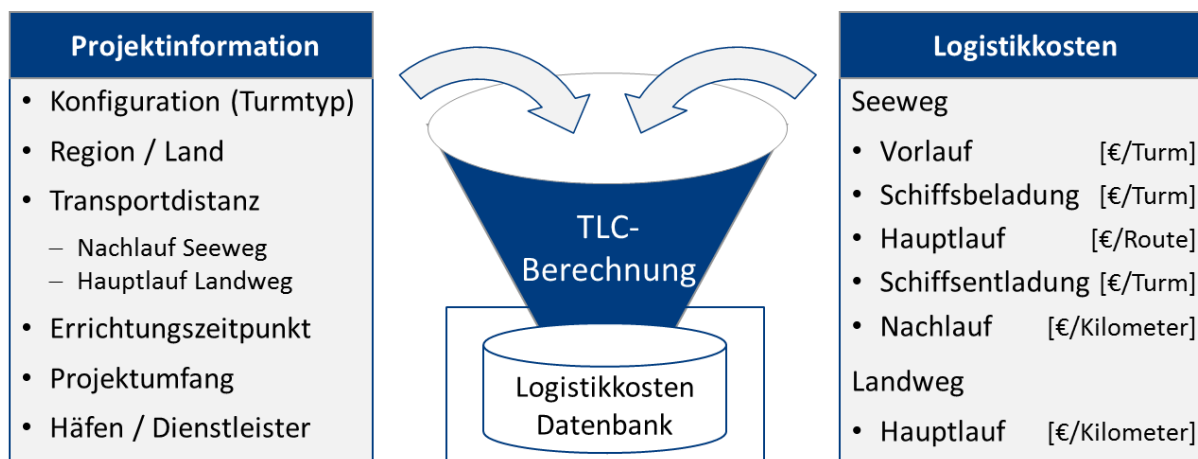


Abbildung 30: Bestandteile der Logistikkostendatenbank

Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassend bedarf es neben den reinen Kosten je Transportabschnitt also das Projekt charakterisierende Informationen wie dessen Anlagen- und insbesondere Turmkonfiguration, die Errichtungsregion und das -Land sowie die Distanz des Nachlaufs bzw. des landbasierten Hauptlaufs. Darüber hinaus sind der Projektumfang sowie die beteiligten Dienstleister relevant. Der Errichtungszeitpunkt wird insbesondere für die Eintaktung in die endlichen Kapazitäten der Lieferanten benötigt. Sofern eine Logistikkostendatenbank nach Abschluss eines jeden Projektes entsprechend gepflegt wird, bedarf es auch zur Berechnung neuer Projekte ausschließlich dieser fünf Informationsbausteine. Dadurch wird der Bewertungsaufwand in Grenzen gehalten, da die Berechnung nach Eingabe dieser wenigen Stammdaten automatisiert erfolgen kann.

Für weitergehende Analysen empfiehlt es sich darüber hinaus den Errichtungszeitpunkt, den Projektumfang mit der Anzahl installierter Anlagen sowie die genutzten Häfen und Dienstleister zu erfassen. Der Errichtungszeitpunkt sowie der Umfang eines Projektes können aufgrund von saisonal schwankender Kapazitätsauslastung bzw. Skaleneffekten Auswirkungen auf die Konditionen von Logistikdienstleistungen haben. Die Erfassung der jeweiligen Dienstleister wiederum erlaubt neben überregionalen Preisvergleichen auch die Erfassung derer Leistung und Qualität. Diese Kriterien können für die anschließende Risikokostenbewertung von Interesse sein. Eine abschließende Zusammenfassung zur Erhebung der Logistikkosten findet sich in der *Abbildung 30: Bestandteile der Logistikkostendatenbank*.

5.2.1.3 Risikokosten

Die Qualität und Zuverlässigkeit potentieller Lieferanten wird von verschiedenen Entscheidern sehr unterschiedlich, häufig nur auf singulären Ereignissen basierend, eingeschätzt. So steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Risiken irrational bewertet werden und es so zu potentiell falschen Zuordnungen im Sinne minimaler Risikokosten kommt. Hohe Risikokosten bedeuten gleichzeitig eine hohe Risikoexposition. Die Wahrscheinlichkeit für beides zu verringern, ist das Ziel dieses Methodenbestandteils. Dem Risikomanagementprozess aus Abschnitt 2.1.2.1 *Risikomanagementprozess* folgend, bedarf es zunächst der Identifikation möglicher Risiken und ihrer Quellen. Anschließend müssen die Risiken bewertet werden, um über die Integration der Risikokosten in die Total Landed Cost eine effiziente Steuerung der Risiken zu ermöglichen. Die Kontrolle erfolgt abschließend über eine Aktualisierung der Risikokostenprognose nach jeder erfolgten Belieferung. Die Ausgestaltung dieser Schritte des Risikomanagementprozesses wird in den folgenden Abschnitten entwickelt.

5.2.1.3.1 Risiken und Risikoquellen

Die Quellen von Risiken in der Lieferkette hin zu einem Windpark liegen, der Systematik von Christopher / Peck (2004) aus Kapitel 2.2.6 *Supply Chain Risiko* folgend, in den Bereichen Unternehmen, Supply Chain und Umfeld. Auf der Versorgungsseite sind Belieferungsfehler wie Zeitverzug oder mangelnde Produktqualität laut Müssigmann (2006, S. 216) die zentralen Risiken. Sie werden durch verschiedene Parteien verantwortet. Zu unterscheiden sind die Lieferanten auf Produktionsstandortebene, die Dienstleister für den Land- und Seetransport, für Umschlag und Lagerung, sowie der Anlagenhersteller selbst.

Dem Lieferanten als zentralem Entscheidungsgegenstand dieser Arbeit kommt als Risikoquelle die größte Bedeutung zu. Kapazitätsengpässe und Planungs-, Fertigungs- oder Qualitätsprobleme mit den Komponenten können direkt oder indirekt zu Verzögerungen führen. Einerseits ist dadurch die zeitgerechte Baustellenbelieferung gefährdet, andererseits kann ein technischer Qualitätsmangel erst während der Errichtung erkannt werden und diese verzögern. Beides führt dazu, dass verfügbares Personal und Equipment, wie LKW, Krane und Schiffe, Produktivitätsverluste erleiden und somit Verzugskosten verursachen. Darüber hinaus muss der Qualitätsmangel behoben werden, sofern er auf der Baustelle behoben werden kann. Andernfalls drohen weitere Kosten für Rücktransporte bis hin zur Verschrottung bei irreparablen Fehlern.

Landtransport

Mit der Auswahl eines Lieferanten wird auch der Ausgangspunkt einer Transportroute definiert. Ein dänischer Turmlieferant beispielsweise muss zur Belieferung eines Windparks an der Westküste Frankreichs auf dem Landweg neben Dänemark auch Deutschland, die Niederlande, Belgien und Frankreich durchqueren. Die nationalen Schwertransportbestimmungen enthalten dabei oftmals abweichende Richtlinien zur Ladungssicherung, zum Equipment, zur Nutzung unterschiedlicher Straßenkategorien wie Autobahn oder Landstraße, zu zulässigen Konvoi-Längen und tageszeitabhängigen Einschränkungen der Fahrerlaubnis. Hinzu kommen die Pflichten zur Begleitung der Transporte und Absicherung der Strecken, häufig durch die jeweiligen nationalen Behörden. Das Risiko von Verzögerungen steigt daher mit jeder zu passierenden Landesgrenze und kann nicht vollständig vom jeweiligen Transportdienstleister beeinflusst werden. Da eine Route durch ihre Ausgangs- und Zielstandorte definiert wird, der Windparkstandort jedoch unveränderlich ist, fallen solche routeninherenten Risiken in die Verantwortung der Lieferanten.

Seeweg - Vorlauf

Der Seeweg seinerseits erfordert zunächst den Vorlauf zum Hafen und den Umschlag auf ein Schiff, für den aufgrund des lokalen Bezugsraums oft nur ein eingeschränktes Spektrum an Dienstleistern zur Verfügung steht. Sofern dieser Transportabschnitt vertraglich vereinbart in der Hand des Lieferanten liegt, liegen auch etwaige Risikokosten - unabhängig vom tatsächlichen Verursacher - in dessen Verantwor-

tung. Ist hingegen der Anlagenhersteller Frachtzahler, haften die beauftragten Dienstleister für vermeidbare Risiken, während die Folgen höherer Gewalt als routeninhärente Risiken auf die Position des Lieferanten gebucht werden.

Seeweg - Seetransport

Das beladene Schiff mit Kurs französische Westküste muss nun sturmgefährdete Gebiete in der Nordsee und dem Atlantik passieren. Damit steigt das Risiko von Verspätungen, Transportschäden oder sogar dem Verlust von Komponenten. Die gleichen Risiken können jedoch auch witterungsunabhängig durch Mängel oder einen Engpass an Equipment, sowie unsachgemäße Beladung und Ladungssicherung eintreten. Dieser Fall liegt dann in der Verantwortung des Reeders. Für den eingangs beschriebenen Landtransport gilt dieselbe Systematik in Bezug auf den durchführenden Schwertransportdienstleister.

Seeweg - Nachlauf

Die Wahl des Zielhafens erfolgt fast ausschließlich in Hinblick auf eine möglichst kurze Distanz zum Windpark. Davon ausgehend ist dieser Routenabschnitt unabhängig von der Wahl des Lieferanten. Risikokosten bei diesem Transport liegen somit ursachenbezogen in der Verantwortung des Dienstleisters oder Anlagenherstellers und werden bei der Wahl des Lieferanten nicht berücksichtigt.

Die Risikoexposition in der Windparkbelieferung liegt, neben den Lieferanten und Dienstleistern, aufgrund seiner netzwerkkoordinierenden Funktion, insbesondere in der Verantwortung des Herstellers. Speziell die Disposition der Komponenten hin zur Baustelle und die entsprechende Beauftragung und Koordination der beteiligten Dienstleister birgt aufgrund eingeschränkter Routinen im Projektgeschäft ein erhöhtes Risikopotential. In Abhängigkeit vom Errichtungsfortschritt eines Windparks können sowohl vorgezogene als auch verspätete Abholungen oder die Zwischenlagerung von Komponenten erforderlich werden. Die dadurch verursachten Kosten sind indes unabhängig von der Entscheidung für einen spezifischen Lieferanten. Gleichwohl Lieferanten oder Dienstleister einen unterschiedlichen Grad an Flexibilität im Umgang mit Planabweichungen aufweisen können, dürfen Kosten, die daraus resultieren, nicht dem Belieferungsnetzwerk angelastet werden. Andernfalls werden ineffiziente Strukturen im Lieferantenauswahlprozess belohnt und in der Folge tendenziell teure Lieferanten und Dienstleister gewählt, die dauerhaft Überkapazitäten vorhalten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Risikokosten, die im Verantwortungsbereich der Lieferanten und deren Routengegebenheiten liegen, in die Total Landed Cost einfließen, während solche, die sich in der Verantwortung der Dienstleister und des Herstellers befinden, keine Berücksichtigung finden. Höhe und Regelmäßigkeit dieser Kosten geben vielmehr Aufschluss über Zuverlässigkeit und Qualität der jeweiligen Dienstleister, beziehungsweise der internen Prozesse des Herstellers. Eine grundsätzliche Unterscheidung, wann Risikokosten in die Total Landed Cost integriert oder von ihnen ausgeschlossen werden, wird in *Abbildung 31: Quellen von Risiken in der Windparkbelieferung und ihre Integration in die Total Landed Cost* dargestellt. Indem in der Methode auf die Quellen der Risiken fokussiert wird, wird als Risikomanagementstrategie ein ursachenbasierter Ansatz verfolgt, der vorrangig auf die Verminderung von Risiken abzielt. Steigen die prognostizierten Risikokosten eines Lieferanten indes so hoch, dass er nach der Gesamtkostenbewertung nicht mehr mit der Belieferung von Windparkprojekten beauftragt wird, kann das sogar als Risikovermeidung interpretiert werden.³

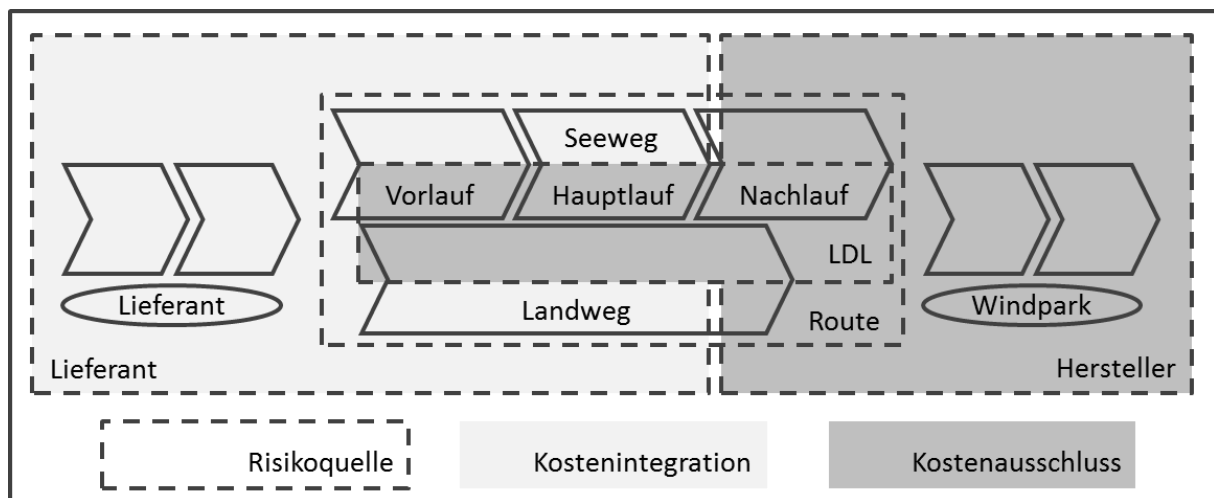


Abbildung 31: Quellen von Risiken in der Windparkbelieferung und ihre Integration in die Total Landed Cost

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Christopher / Peck 2004, S. 5

5.2.1.3.2 Prognose der Risikokosten

Basierend auf den Grundlagen des Kapitels 2.2.7.1 *Bewertung und Prognose von Risikokosten in der Supply Chain* wird in diesem Abschnitt ein Verfahren definiert,

³) Zum Vergleich der Risikomanagementstrategien siehe 2.1.2.2 *Strategien zur Risikosteuerung*

das dazu dient, die zuvor abgegrenzten Risikokosten zur Bewertung der Total Landed Cost zu prognostizieren.

Dazu müssen eingangs die Adressaten der Prognose festgelegt werden. In der Windenergiebranche sind das die operativen Einkäufer, welche die Fertigungsaufträge den jeweiligen Turmlieferanten auf Basis ihrer Total Landed Cost zuordnen. Außerdem hängen die Projektmanager, die die Errichtung der Windparks verantworten, von dieser Entscheidung ab, da hier festgelegt wird, mit welchem Partner sie Ihr Projekt zeit- und budgetgerecht zum Abschluss bringen müssen. Somit wird für die Prognose der Risikokosten ein transparentes und klar nachvollziehbares Instrument benötigt, um die Zustimmung des beteiligten Personenkreises sicherzustellen.

Untersucht man jeden Lieferanten einzeln auf seine Risikokosten in der Vergangenheit, wäre des Öfteren die Identifikation von Trendmodellen zu vermuten, beispielsweise nach dem Eintritt eines Risikoereignisses, wenn mit besonderem Engagement Risiken vermindert werden.

Mit Blick auf Saisonalitäten ist anzunehmen, dass im Winter geringere Risikokosten verursacht werden, weil witterungsbedingt auch die Installation von Windparks in dieser Jahreszeit weitgehend ruht. Das gibt jedoch kaum Aufschluss über die Zuverlässigkeit eines Lieferanten.

Da signifikante Risikokosten meist durch Unglücke oder größere Planungsfehler verursacht werden, könnte bei einem kleinen Sockel an Risikokosten der Verlauf als sporadisch interpretiert werden. Nun interessiert den Einkäufer und Projektmanager aber nur bedingt, wann die nächste Katastrophe eintritt, sondern welche allgemeine Risikoexposition bei einem Lieferanten vorliegt. Zumal zur Prognose katastrophaler Ereignisse die reine Messung der Zeitkomponente zwischen zwei Ereignissen nicht als geeignetes Mittel erscheint. Für darüber hinausgehende Prognoseverfahren würden aber, wie im Absatz zu Ausreißern erwähnt, wahrscheinlich sowohl die beschreibenden Einflussfaktoren als auch statistisch verwertbare Daten fehlen.

Aus diesen Gründen wird zusammenfassend von einem stationären Modell zur Abbildung der Risikokosten ausgegangen. Dabei gilt, dass Ausreißer nicht exakt prognostiziert werden sollen, sondern dass ein Lieferant eine schlechte Performance in seinem Risikomanagement über ein erhöhtes Risikokostenniveau letztlich in seiner Auftragslage zu spüren bekommen soll. Dadurch wird die Risikoexposition des foka-

len Unternehmens verringert und beim Lieferanten ein unmittelbarer Anreiz zur Verbesserung initiiert.

Ausgehend von der Annahme eines stationären Modells stehen als statistische Methoden den Ausführungen in Abschnitt 2.2.7.1 *Bewertung und Prognose von Risikokosten in der Supply Chain* folgend der gleitende Mittelwert bzw. die exponentielle Glättung 1. Ordnung zur Auswahl. Die folgende Graphik stellt beispielhaft den Verlauf der Risikokosten eines Lieferanten in der Belieferung verschiedener Windparks dar. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Belieferungen in der Regel mit geringen Risikokosten in Höhe von 2.500 Euro je Windenergieanlage (WEA), beispielsweise für in Rechnung gestellte Wartezeiten von Transportdienstleistern, von statten gehen. In Periode sechs und acht kommt es jedoch zu größeren Risikokosten. Diese können beispielsweise entstehen, wenn durch Qualitätsprobleme Nachrüstungen an den Türmen auf der Baustelle erforderlich werden oder aufgrund von Fertigungsproblemen ein bestelltes Schiff und im weiteren Verlauf bestelltes Kranequipment warten muss. Kosten in Höhe von 100.000 Euro je WEA können aufgrund des teuren Spezial equipments für Schwertransporte und Verladeoperationen und den zugehörigen Teams aus Fachkräften durchaus erreicht werden. Der beschriebene Istwert wird nun unter Anwendung des gleitenden Mittelwerts und der exponentiellen Glättung mit unterschiedlichen Glättungsparametern prognostiziert und die Ergebnisse verglichen.

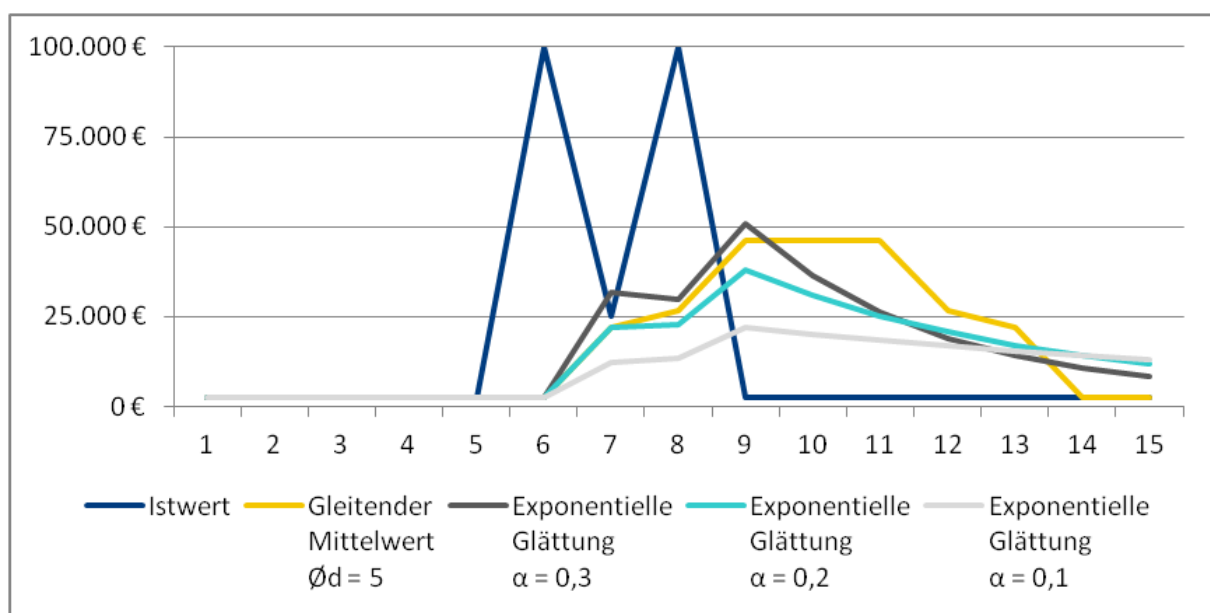


Abbildung 32: Verhalten der verschiedenen Prognoseverfahren nach Auftreten von Risikoereignissen

Quelle: Eigene Darstellung

Zunächst soll das Verfahren des gleitenden Mittelwerts beschrieben werden. Der Betrachtungsumfang wurde in der Graphik auf fünf Ereignisse festgelegt ($\varnothing_d = 5$). Damit soll sichergestellt werden, dass die Historie zur Prognose eines kleineren Lieferanten, mit einer Anzahl von beispielsweise nur fünf jährlichen Projektbelieferungen, nicht über ein Jahr hinausgeht. Eine längere Betrachtungsdauer würde zwar zufällige Schwankungen mit mehr üblichen Ausprägungen gewichten, gleichzeitig würden Ausreißer die Prognoseergebnisse unverhältnismäßig lange belasten. Um ein korrektes und vergleichbares Verhalten darzustellen, wurden die ersten fünf Ereignisse des Istwertes daher auf 2.500 Euro je WEA gesetzt.

Es fällt auf, dass der Prognosewert, der deutlichen Auslenkung des Istwertes beim Risikoereignis in Periode sechs zum Trotz, recht moderat ausfällt. Das Prognoseniveau steigt nach der folgenden Periode leicht weiter, um nach dem zweiten Risikoereignis auf knapp 50% der jeweils maximalen Risikokosten anzuwachsen. Da die beiden großen Risikoereignisse in den folgenden vier Perioden voll in die Durchschnittsbildung einfließen, bleibt das Prognoseergebnis in diesem Zeitraum unverändert hoch. Die Prognose fällt im weiteren Verlauf in zwei Stufen mit Abstand der Risikoereignisse wieder auf den Ausgangswert ab. Eine Stufigkeit im Verlauf mit der Ausbildung von Plateaus ist somit ein charakteristisches Merkmal des gleitenden Mittelwerts im Falle von Ausreißern in der Prognosebasis. Während der Plateauphase sinkt die Wahrscheinlichkeit einer Beauftragung des betroffenen Lieferanten damit ausgesprochen stark, um nach einer Stufe dann wieder deutlich zuzunehmen.

Da dieses Prognoseverhalten nur bedingt zufrieden stellt, wird das Verfahren der exponentiellen Glättung mit dem Faktor $\alpha = 0,3$ untersucht. Die Wahl dieses Startwertes folgt einer Empfehlung von Tempelmeier (2006, S. 48), wonach sich im Falle von Materialbedarfsprognosen Werte zwischen 0,1 und 0,3 als günstig erwiesen haben. Der Anstieg der Prognose nach dem ersten Risikoereignis fällt hier etwas steiler aus als zuvor und fällt danach direkt wieder leicht auf das Niveau des gleitenden Mittelwerts ab. Als Folge des zweiten Risikoereignisses steigt die Prognose mit vergleichbarer Steigung leicht über die Plateauhöhe, fällt aber auch hier bereits in der Folgeperiode wieder unter dieses Niveau. Erst in Periode 14, nachdem die prognostizierten Risikokosten bereits auf eine moderate Höhe von unter 10.000 Euro gefallen sind, liegt die Prognose der exponentiellen Glättung über dem Vergleichswert.

Dieses Verhalten ist im betrachteten Kontext positiv zu bewerten, da der Lieferant in der direkten Folge eines signifikanten Risikoereignisses durch einen deutlichen Aufpreis bestraft wird und eine weitere Zusammenarbeit nur dann erfolgt, wenn die Gesamtkostenposition die anfallende Risikoprämie überkompensiert. Andererseits sinkt der Risikoaufschlag mit jeder erfolgreichen Belieferung wieder stark ab, so dass sich auch Erfolge im Risikomanagement zügig in den Aufträgen widerspiegeln. Die absolute Höhe des Risikoaufschlages ist indes so hoch, dass ein Gesamtkostenvorteil, der sich speziell aus den Logistikkosten speist, nur in idealen Projektkonstellationen erreichbar scheint.

Um diesen Malus abzumildern, wird der Faktor der exponentiellen Glättung mit den Werten $\alpha = 0,2$ und $\alpha = 0,1$ variiert. Die Prognosekurve flacht dabei immer weiter ab, reagiert also immer weniger auf die Ausreißer. Die Schnittpunkte mit dem Verlauf von $\alpha = 0,3$ liegen dann zwischen den Perioden 11 und 12 bzw. 12 und 13, was im langsameren Abfallen der Funktionen begründet liegt.

Neben dem Prognoseverhalten wird mit der Prognosequalität analog zu den Ausführungen in Kapitel 2.2.7.1 *Bewertung und Prognose von Risikokosten in der Supply Chain* ein weiteres Entscheidungskriterium für die Wahl der empfohlenen Methode untersucht. Dazu dient zum einen der absolute Fehler je Periode, um die Prognosegenauigkeit im Verlauf zu interpretieren. Zum anderen wird die Kennzahl des mittleren absoluten Fehlers herangezogen, die dem Vorgehen zur Definition des gleitenden Mittelwerts folgend über 5 Perioden (MAD_5) ermittelt wird. Indem das aktuelle Periodenergebnis mit den Ergebnissen der vorhergehenden Perioden aufsummiert wird ($\text{Sum } MAD_5$), kann die Prognosequalität je Periode und in Summe über alle Prognosen bis zur aktuellen Periode verglichen werden. Beide Indikatoren sind je Methode und Faktor in der *Abbildung 33: Absolute und summierte gemittelte absolute Prognosefehler* dargestellt:

In der Betrachtung wird deutlich, dass größere Glättungsfaktoren bei dynamischen Risikokostenverläufen bessere Ergebnisse erzielen als kleinere, da ihre absoluten Fehlerwerte aufgrund ihrer höheren Reagibilität dann geringer ausfallen. Die absoluten Fehlerwerte sind dabei auf der Primärachse abgetragen. Die Methode des gleitenden Mittelwerts liegt hier im Mittelwert der Prognosen. Nach den Auslenkungen der Istwerte kommt ab Periode neun hingegen der Vorteil einer moderaten Prognoseanpassung kleiner Glättungsfaktoren durch die geringere Abbildung der zufälligen

Komponente zum Tragen. Zwischen Periode neun und zwölf sind die größten Differenzen der Prognosen zu erkennen. Gleichzeitig beginnt hier die Aufspreizung der summierten mittleren Abweichung, deren Werte auf der Sekundärachse abgetragen sind. Die im Vergleich höchsten summierten mittleren Fehlerwerte liegen in Periode 15 beim gleitenden Mittelwert vor, was speziell durch die schwache Reagibilität ab Periode neun verursacht wird.

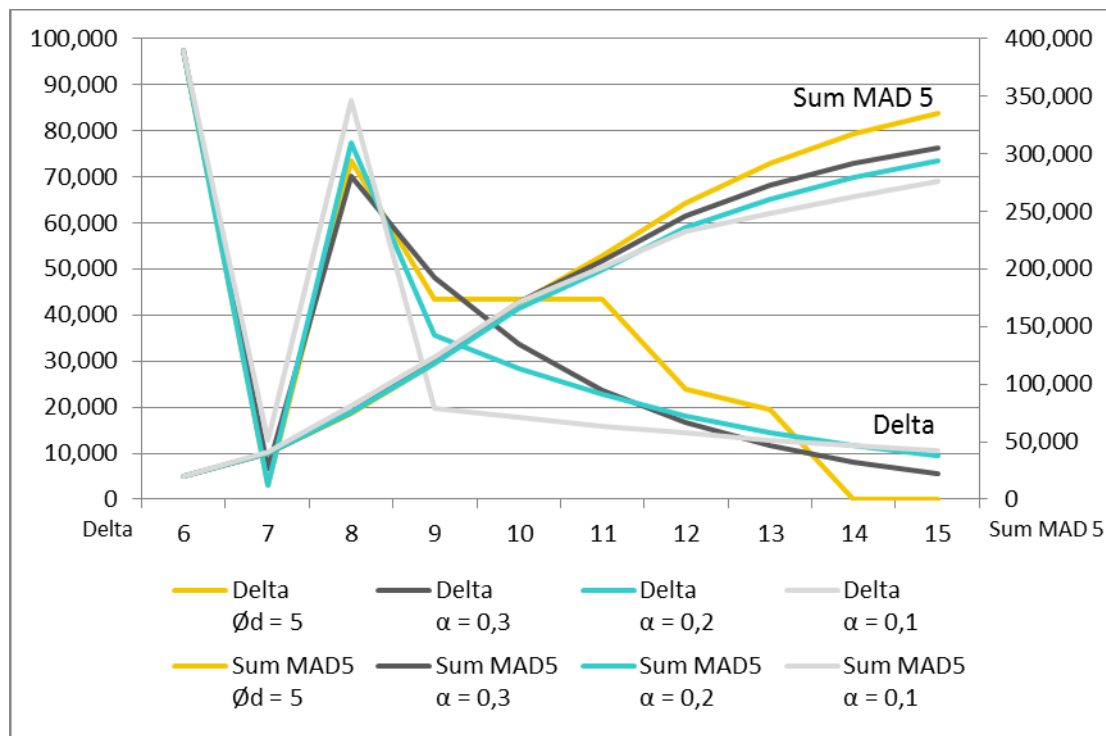


Abbildung 33: Absolute und summierte gemittelte absolute Prognosefehler
Quelle: Eigene Darstellung

Die Untersuchung der Prognosequalität legt somit nahe, dass die exponentielle Glättung für die Prognose der Risikokosten im Vergleich zum gleitenden Mittelwert das geeignetere Verfahren ist. Es ist jedoch noch offen, mit welchem Faktor die exponentielle Glättung gewählt werden soll. Die Variante mit $\alpha = 0,1$ hat zwar die geringste Fehlersumme in Periode 15, weist aber in den Perioden sieben und acht, sowie 14 und 15 die größten absoluten Abweichungen auf. Nachdem der Glättungsfaktor $\alpha = 0,3$ aufgrund seiner hohen Prognosewerte nach den großen Risikoereignissen variiert wurde, wird im Rahmen dieser Arbeit als Kompromiss der Glättungsfaktor $\alpha = 0,2$ aufgrund seiner geringsten absoluten Prognoseschwächen angewendet.

Die Prognose der Risikokosten über einen Zeitreihenansatz und die Anwendung des statistischen Instruments der exponentiellen Glättung mit dem gewählten Glättungs-

faktor hat neben dem eben diskutierten bevorzugten Verhalten in Bezug auf seine Prognoseeigenschaften weitere praktische Vorteile:

Es ist in seiner Ausgestaltung fair gegenüber den Lieferanten, da insbesondere einmalige gravierende Risikoereignisse zwar spürbar in die Risikobewertung, aber nur in abgemilderter Form und damit nicht in einem Automatismus zu einem Lieferstopp führen. Es ist konzeptionell fokussiert auf solche Risikoereignisse, die im unmittelbaren Einflussbereich des Lieferanten liegen oder mit der unumstößlich mit ihm verbundenen geographischen Situation zusammenhängen. Indem es sich um einen ausgesprochen transparenten und verhältnismäßig leicht nachvollziehbaren Ansatz handelt, wird die Akzeptanz bei den Anwendern gestärkt. Nicht zuletzt ist das Vorgehen trotz seiner praktikablen Ausgestaltung als hinreichend genau zu bewerten, da auch komplexere statistische Instrumente und umfassendere Risikomanagementprozesse in ihrer Form einmalige Risikogroßereignisse nicht werden vorhersehen können.

5.2.2 TLC Planung

Das grundsätzliche Ziel der Planungsphase ist es, die notwendigen Voraussetzungen für die Optimierung und damit Minimierung der Total Landed Cost entlang eines schlanken und klaren Prozesses zu schaffen. Dazu bedarf es zunächst des Designs der Quellen des Produktionsnetzwerks mit den Standorten und Kapazitäten der Lieferanten. Im Anschluss daran und in einer kürzeren Fristigkeit werden die Senken mit den Bedarfen, der Lage und Konfiguration potentieller Windparkprojekte belegt. Fügt man nun die Kostendaten aus der Bewertungsphase hinzu, kann eine vollständige Kostenberechnung aller möglichen Lieferanten-Projekt-Konstellationen erfolgen. Somit ist es möglich, unter Durchführung der Bestandteile des Supply Chain Design, des Supply Chain Planning und der TLC Berechnung, die angestrebte Grundlage für die anschließende Optimierung der Total Landed Cost zu schaffen. In den folgenden Abschnitten wird das Vorgehen der einzelnen Bestandteile der Planungsphase detailliert und konkretisiert.

5.2.2.1 Supply Chain Design

Wie in Kapitel 2.2.5 *Supply Chain Management* beschrieben erfolgt im Supply Chain Design die Gestaltung des Wertschöpfungsnetzwerks mit dem Ziel möglichst hoher logistischer Leistung bei geringen Kosten (vgl. Wolff / Groß 2008, S. 123). Aufgrund

der spezifischen Eigenarten der Netzwerke⁴ in der Windenergiebranche, mit ihren zum Zeitpunkt der Designphase unbekanntem Errichtungsstandorten, ist die Entwicklung eines adaptierten Vorgehens notwendig. Die grundsätzliche Struktur orientiert sich an den von Schuh (2006, S. 31 f.) definierten Netzwerkaufgaben, mit der Anwendung des unter 2.2.3 *Produktionsplanung und -steuerung* vorgestellten Vorgehens auf interorganisationale Produktionsnetzwerke anstelle lokaler Produktionsstätten.

Ausgangspunkt ist demnach die Programmplanung mit der Entscheidung, was produziert werden soll. Im Kontext der Windenergiebranche bedeutet dies, welche Anlagentypen in welcher Konfiguration von einem Hersteller angeboten werden. Eine wichtige Grundlage für diese Entscheidung und alle weiteren Planungsaktivitäten ist der vom Vertrieb verantwortete Absatzplan. Der zeitliche Vorlauf dafür beträgt bei einer Planungsperiode von einem Kalenderjahr ungefähr zwei Jahre. Art und Menge des Bedarfs an Windenergieanlagen werden aus einer Kombination aus aktuellen eigenen Kundenaufträgen je nationalem oder regionalem Markt und allgemeinen Absatzprognosen aus Marktentwicklungsdaten generiert. Aus dem Programmplan lässt sich nun eine Material- und Mengenplanung ableiten. Da eine Windenergieanlage jeweils mit einem Turm errichtet wird, ist das eine einfache Rechnung. In der im weiteren Verlauf folgenden *Abbildung 34* sind beispielhaft die absoluten Bedarfsprognosen verschiedener Marktregionen mit vergleichbaren logistischen Anforderungsprofilen, wie „DeNI“ (Deutschland und Niederlande) oder Iberia (Spanien und Portugal), für das aktuelle und zwei darauffolgende Jahre dargestellt.

Auf Basis dieser Analysen können Marktentwicklungen frühzeitig erkannt und die unternehmerischen Anstrengungen daran ausgerichtet werden. Bezogen auf das Supply Chain Design können die Verfügbarkeit und die Kapazität von Lieferanten in oder über die definierten Regionen hinaus überprüft werden. Denn der einfachste Weg zu hoher logistischer Leistung bei geringen Kosten ist die Verkürzung der Transportdistanzen zwischen den Quellen und Senken im Netzwerk. Der zeitliche Vorlauf dieser Planung erlaubt es nicht nur bestehende Kapazitäten zu verändern, sondern auch neue Lieferanten zu identifizieren und zu auditieren, um neue oder

⁴) Vgl. hierzu Kapitel 2.2.8 *Merkmale zur Kategorisierung von Produktionsnetzwerken* sowie 3.3 *Produktionsnetzwerke in der Windenergiebranche*.

gewachsene Märkte zu bedienen. Umgekehrt gilt das gleiche für schrumpfende Märkte.

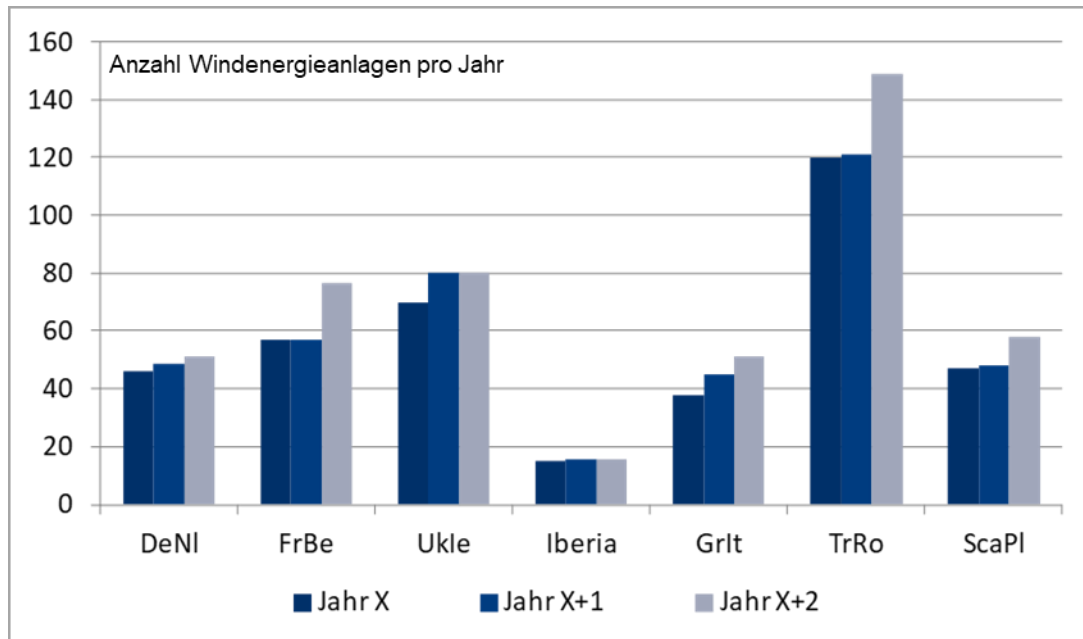


Abbildung 34: Bedarfsprognosen je Absatzregion als Kombination aus eigener Marktperformance und allgemeiner Markterwartung

Quelle: Eigene Darstellung

Wie in Abschnitt 3.2 *Die Supply Chain in der Windenergiebranche* beschrieben, wird in der Windenergiebranche in Europa beim Einkauf der Türme zumeist der Multiple-Sourcing-Ansatz verfolgt. Das heißt, dass mehrere regional verteilte Lieferanten zur Belieferung der Windparkprojekte vorgehalten werden. Welcher Lieferant idealerweise welche Region abdeckt, kann entlang eines Konzeptes von Kernbelieferungszonen zugeschnitten werden. Dabei wird der Belieferungsradius um den Standort eines Lieferanten solange ausgedehnt, bis einer der anderen Lieferanten günstigere Logistikkosten in dieses Gebiet aufweist. Verbunden mit den Werten aus der Absatzplanung können daraus Sollkapazitäten je Lieferant abgeleitet werden. Idealerweise werden die Regionen der Absatzplanung im Kontext der Lieferantenstandorte zugeschnitten. Alternativ müssen sie vom strategischen Einkauf harmonisiert, also in die entsprechenden Gebiete transferiert werden. Da weder die regionale Aufteilung der Belieferung noch die konkrete geographische Lage der potentiellen Projekte vorab exakt bewertet und definiert werden kann, sollte eine gewisse Toleranz bei der Kapazitätsdefinition enthalten sein.

Im nächsten Schritt müssen diese Sollkapazitäten mit den verfügbaren Kapazitäten der Lieferanten abgestimmt werden. Dabei kann sowohl eine Erhöhung der ange-dachten Kapazität zur Erzielung besserer Einkaufspreise, als auch eine Verringerung, beispielsweise aufgrund veränderter geographischer Kapazitätsbedarfe, die Folge sein. Die beschriebene Kapazitätstoleranz bietet dabei in beide Richtungen Vorteile: Als minimale Abnahmeverpflichtung dient sie zur Auftragssicherung des Lieferanten. Als obere Kapazitätsdeckelung kann beispielsweise das vereinbarte Qualitätsniveau durch Vermeidung von Kapazitätsengpässen abgesichert werden. Oder der Lieferant nutzt die vereinbarte freie Kapazität zur Bedienung alternativen Geschäfts und somit zur Reduzierung seines Klumpenrisikos. Darüber hinaus sind diese Schranken wichtige Restriktionen bei der späteren Optimierung der Total Landed Cost. Darauf soll aber erst im Kapitel 5.2.3 *TLC Optimierung* näher eingegangen werden.

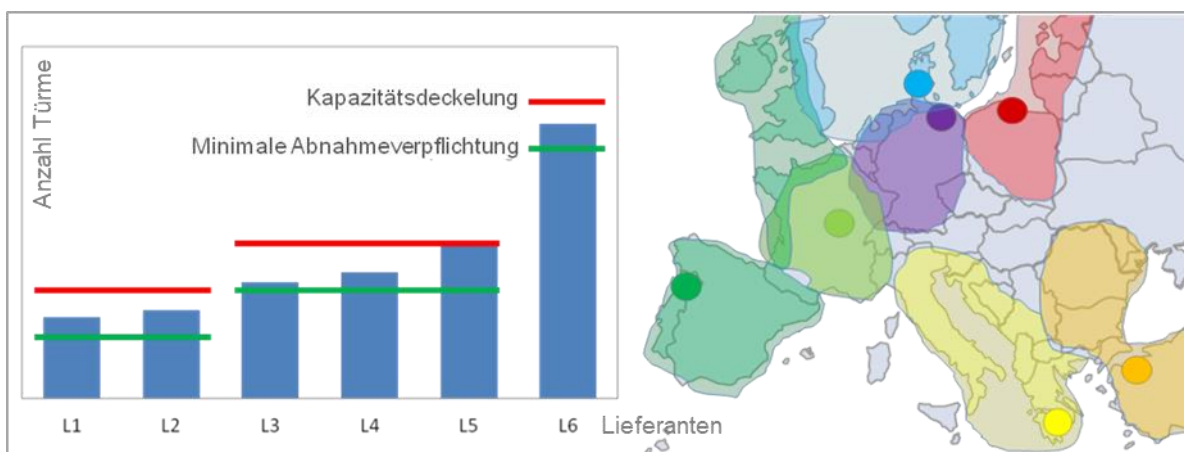


Abbildung 35: Kernbelieferungszonen zur Kontingentierung der Lieferanten als Bestandteile des Supply Chain Design

Quelle: Eigene Darstellung

Die so definierten Kontingente pro Kalenderjahr werden häufig anhand von Rahmenverträgen zwischen Lieferanten und Anlagenherstellern vereinbart, was, wie in Abschnitt 2.2.7.2 *Beispielhafte Maßnahmen zur Steuerung von Supply Chain Risiken* beschrieben, nach Nagali et al. (2008) ein Element des Supply Chain Risikomanagements darstellt. Innerhalb dieser Vereinbarung kann dann definiert werden, dass der Anlagenhersteller zunächst unverbindliche Lieferabrufe als Kapazitätsvorschau senden und mit einem definierten minimalen Vorlauf vor dem tatsächlichen Lieferbedarfszeitpunkt, der sogenannten Frozen-Zone, den konkreten Auftrag bestellen muss (vgl. Wiendahl 2010, S. 272; Schuh 2006, S. 39). Dieses Vorgehen erleichtert nicht

nur die Kapazitätsplanung des Lieferanten, sondern erhöht auch die Wahrscheinlichkeit seiner Lieferfähigkeit zum Bedarfszeitpunkt. Dauer und Inhalte der jeweiligen Planungsphase werden im folgenden Abschnitt zum *Supply Chain Planning* behandelt.

5.2.2.2 Supply Chain Planning

Nachdem die Netzwerkstruktur im Rahmen des Supply Chain Design definiert wurde, gilt es nun, die genannten Leistungsanforderungen mit der notwendigen Flexibilität auf eine dynamische Umwelt zu erfüllen. Dazu dient das *Supply Chain Planning* auf der taktisch planenden Ebene. Kerninhalt dieser Phase ist es, entlang einer Entscheidungssystematik solche Projekte aus der mittelfristigen Absatzplanung zu extrahieren, für die im Anschluss eine *TLC Bewertung* und *TLC Optimierung* erfolgen soll.

Im Projektgeschäft existiert im Vertrieb eine breite Spanne an verschiedenen Akquistatus, die von bloßen Informationsanfragen über Ausschreibungen bis hin zu fortgeschrittenen Verhandlungen über die konkreten Rahmenbedingungen zur Errichtung, Wartung und dem Betrieb eines Windparks reichen. Die zentrale Herausforderung im Supply Chain Planning besteht darin, solche Projekte für eine Realisierungsplanung auszuwählen, die am Ende auch stattfinden. Eine falsche Einschätzung führt hier zu einer Reihe negativer Folgen. Zunächst ist Blindleistung zur TLC Bewertung und TLC Optimierung die Folge. Weiterhin führen diese Anstrengungen zu potentiell suboptimalen Auftragszuordnungen, wenn Kapazitäten zu Projekten zugeordnet werden, die dann nicht abgefragt werden. Und schließlich besteht das Risiko in Verzug zum geforderten Errichtungstermin von akquirierten Projekten zu geraten, die nicht rechtzeitig geplant wurden. Aufgrund der großen Unsicherheiten bei gleichzeitig hoher unternehmerischer Relevanz soll diese Entscheidung, analog zu der Beschreibung von Wiendahl (2010, S. 274) in Abschnitt 2.2.3 *Produktionsplanung und -steuerung*, einer klaren Systematik folgend, durch ein Gremium bestehend aus Vertrieb, Supply Chain Management, Produktion und der Geschäftsführung, rollierend getroffen werden. Aufgrund der vergleichsweise hohen Dynamik bei den Vertriebsaktivitäten in der Windenergiebranche empfiehlt sich ein monatlicher Rhythmus für die Tagung dieses Gremiums. Die Entscheidungssystematik sollte beispielsweise Kennzahlen zum Reifegrad der Vertriebsaktivität, Kundenbeziehung und -relevanz sowie der technischen oder geopolitischen Ausprägung des Projektes und seines Standort-

tes enthalten, um zusammenfassend eine Realisierungswahrscheinlichkeit abzubilden. Im Zweifel kann die Antwort darauf auch lauten, kein Angebot für eine Projektanfrage abzugeben.

Die konkrete Ausgestaltung dieser Kriterien soll indes nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, da sich damit ein gesamtes Forschungsfeld im Bereich des Kundenbeziehungsmanagements eröffnet. Anders verhält es sich mit dem Zeitraum, für den die erwarteten Projektaktivitäten entschieden werden sollen, weil dies direkten Einfluss auf den Aufbau und die Ergebnisse der TLC Optimierung hat. Wie im Abschnitt zum *Supply Chain Design* im Rahmen der Lieferantenkontingentierung bereits skizziert wurde, bedarf es einer gewissen Durchlaufzeit zur Auftragsbearbeitung, Fertigung und Lieferung zwischen der Bestellung und dem gewünschten Lieferzeitpunkt. Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Zeit, auf Basis von Erfahrungswerten, mit vier Monaten festgelegt. Der Zeitraum wiederum, für den das Supply Chain Scheduling, also die Optimierung der Zuordnung von Kapazitäten und Bedarfen im Netzwerk, durchgeführt werden soll, soll zwölf Monate betragen. Daraus folgt, dass das Supply Chain Planning eine Dauer von 16 Monaten in die Zukunft abdecken muss. Eine Aktualisierung der für diesen Zeitraum fixierten Optimierungsergebnisse sollte in monatlicher Frequenz erfolgen.

Es gibt verschiedene Gründe, die für eine derartige rollierende Planung sprechen. Zum einen kann die Lieferantenkommunikation nicht in fixen Kalenderjahren erfolgen, ohne dass die Kapazitätsplanung der Lieferanten darunter leidet. Auch die Projektplanung des Anlagenherstellers würde in Mitleidenschaft gezogen, weil der Lieferant keine Rückmeldung über seine Planlieferzeiten, also die Lieferzeit im Kontext seiner eigenen Auslastung mit alternativen Kundenaufträgen, geben kann. Diese sind aber notwendig, um das Preisniveau zu halten und den Fortbestand des Lieferanten selbst sicher zu stellen. Eine eigene Projektplanung ohne Lieferantenrückmeldung würde damit auch ein hohes Risiko für eine zeitgerechte Projektrealisierung bedeuten. Eine höhere Aktualisierungsfrequenz wäre operativ kaum umsetzbar, während eine geringere Frequenz Veränderungen womöglich zu spät adaptiert.

Diese rollierende Planung muss auch im Kontext der kalenderjährlich fixierten Lieferantenkontingente funktionieren. Dazu soll eine Mischkalkulation des jeweiligen Kontingents zum Anteil der Überdeckung des entsprechenden Kalenderjahres erfolgen. Diese wird so ausgestaltet, dass das minimale und maximale Kontingent der Jahre

X+1 und X+2 durch die zwölf Monate der Scheduling-Periode geteilt werden und mit zwölf Monaten minus dem Monat des Jahres X+1, bzw. null Monate plus dem Monat des Jahres X+2 multipliziert werden. Das Supply Chain Design mit den Kontingenten der jeweiligen Lieferanten für das Jahr X+2 muss demnach in Jahr X bis spätestens Ende September (Null minus 4 Monate) abgeschlossen sein, da das rollierende Supply Chain Planning ab Oktober des Jahres X elf Monate des Jahres X+1 und den ersten Monat des Jahres X+2 beinhalten muss. Die entsprechenden Perioden und die Bewertungssystematik zu den Kontingenten werden in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt:

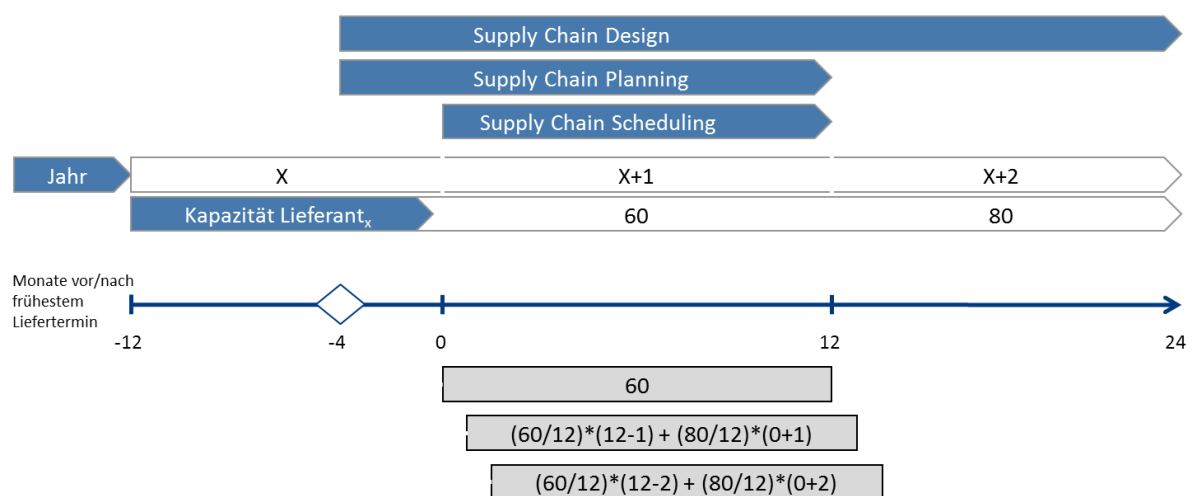


Abbildung 36: Rollierender Planungshorizont des Supply Chain Planning

Quelle: Eigene Darstellung

Sobald ein Windpark vom Kunden beauftragt ist, werden die Türme durch die ausführenden Organe der Organisation beim entsprechenden Lieferanten bestellt und sowohl der Bedarf als auch die Kapazität werden um die Planwerte reduziert. Dabei kann nicht einfach nur die Gesamtkapazität gekürzt werden, es muss aus dem im weiteren Verlauf vorgestellten mathematischen Modell auch der belegte Fertigungszeitraum entfernt werden, um die doppelte Belegung von Kapazitäten zu vermeiden. Diese Systematik wird im Abschnitt zur TLC Optimierung genauer erläutert. Als Grundlage dafür dient die nun folgende TLC Berechnung.

5.2.2.3 TLC Berechnung

Nachdem Instrumente konzipiert wurden, um die benötigten Daten zur Bewertung verschiedener Belieferungsvarianten zu generieren und bedarfsgerecht abzurufen, muss das Vorgehen zur Berechnung entwickelt werden. Um Planungsaufwände zu

minimieren soll der Bewertungsprozess möglichst effizient gestaltet werden. Das kann erreicht werden, indem wenige projekt- und zuordnungsspezifische Informationen analog zu den Eingabedaten in der Transportkostendatenbank angegeben werden und die eigentliche Kostenbewertung automatisiert erfolgt. Die relevanten Projektparameter sind die technische Konfiguration, die Errichtungsregion und der Errichtungszeitpunkt. Hinzu kommen Zuordnungsinformationen mit dem geplanten Transportmodus sowie der bewerteten Nachlauf- bzw. Hauptlaufdistanz für jeden Turmlieferanten, der die gewählte Turmkonfiguration in seinem Produktportfolio vorhält.

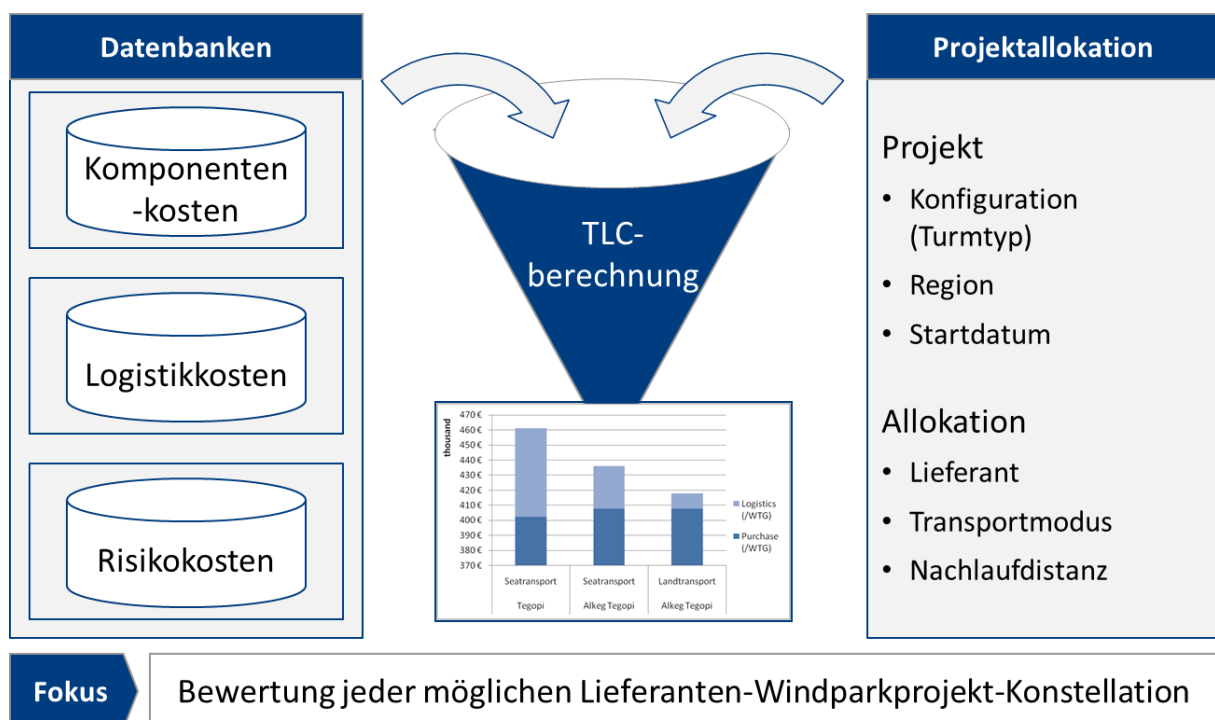


Abbildung 37: Systematik zur A-, B- und C-Preis Bewertung eines Projektes

Quelle: Eigene Darstellung

Auf Basis dieser Informationen kann eine Datenbankabfrage angestoßen werden. Die prognostizierten Kosten je Transportabschnitt für die ähnlichste anzunehmende historische Transportroute werden genauso ermittelt wie die Risikokosten. Über das Errichtungsquartal werden die prognostizierten Einkaufskosten der Türme ermittelt. Das Resultat ist die effiziente und zuverlässige Berechnung der A-, B- und C-Preise für jede Belieferungsvariante. Um eine Qualitätsprüfung zu ermöglichen und den jeweiligen Stakeholdern Einblick in die Ergebnisse und damit die Grundlage für die anschließende Optimierung zu gewähren, ist es ratsam, die Berechnungsergebnisse in einem einfach zu verstehenden Format darzustellen. *Abbildung 37* fasst die Inhalte

der TLC Berechnung zusammen und stellt eine beispielhafte Visualisierung der Bewertungsergebnisse dar.

5.2.3 TLC Optimierung

Das Ergebnis der TLC Bewertung ist ein vollständig aufgespanntes Netzwerkmodell mit allen technisch möglichen Verbindungen zwischen Lieferanten und Projekten. Ziel der TLC Optimierung ist es nun, unter Berücksichtigung von Restriktionen, die Zuordnung von Lieferanten zu Projekten mit den minimalen Gesamtkosten zu ermitteln. Dazu bedarf es eines Optimierungsverfahrens, das diese komplexe Planungsaufgabe mit ihrer Vielzahl möglicher Zuordnungsvarianten zwischen Quellen und Senken beherrscht und optimale Ergebnisse erzielt. Abhängig vom Preisniveau, der geographischen Lage sowie der Zuverlässigkeit eines Lieferanten kann es bei singulärer Betrachtung verschiedener Projekte nämlich zu einseitigen Auftragsverteilungen und damit zu Kapazitätsengpässen kommen. Daher kann nicht ein einzelnes Projekt unabhängig von allen anderen Projekten bewertet werden, es muss synchron im Gesamtkontext geschehen. Damit entspricht das geschilderte Problem, die zeitliche Zuordnung von Aktivitäten zu limitierten Ressourcen unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen und der Erfüllung von bestimmten Zielen über Unternehmensgrenzen hinweg, der Definition des in Abschnitt 2.2.4.1 *Ablaufplanung und Supply Chain Scheduling* eingeführten Begriffs des Supply Chain Scheduling (vgl. Sauer 2002, S. 3, S. 13; Herrmann 2010, S. 103). Als Optimierungsverfahren wird daher nachfolgend beispielhaft ein mathematisches Modell zur optimalen Zuordnung von Turmlieferanten zu Windparks als quantitatives Verfahren des Operations Research entwickelt.

5.2.3.1 Supply Chain Scheduling

Ausgehend von den Ausführungen in Kapitel 2.2.4.2 *Quantitative Methoden des Operations Research* wird in diesem Abschnitt zunächst ein Modell formuliert, das die Realität so einfach wie möglich und so präzise wie nötig abbildet. Dazu werden die Parameter und Restriktionen beschrieben, die das Netzwerk charakterisieren. Außerdem wird dargelegt, welche Anforderungen innerhalb des Optimierungsmodells gelöst, und welche außerhalb als Vorarbeit zum Aufbau des Modells definiert werden sollen.

Die Turmlieferanten $L = \{1, \dots, L'\}$ bilden die steten Quellen des Netzwerks. Nicht jeder Lieferant kann jeden Turmtyp fertigen. Insbesondere neue Lieferanten fertigen zur

Qualitätssicherung zunächst nur einen oder wenige Derivate eines Turmtyps. Dieser Umstand soll jedoch nicht in der Optimierung selbst, sondern im Modellaufbau so berücksichtigt werden, dass schlicht keine Projektbelieferungskosten (Total Landed Cost) $c_{lw} \in \mathbb{R}_+$ zu solchen Windparks bewertet werden, deren Anlagen aus nicht im Portfolio befindlichen Turmtypen bestehen. Damit sind diese Relationen nicht Teil des Lösungsraums.

Aus unterschiedlichsten Gründen kann es dazu kommen, dass eine Bestellung von Türmen getätigt wurde, obwohl für den Windpark, für den sie bestimmt sind, keine Bestellung vorliegt. Sollte es zu keiner Beauftragung mehr kommen, werden die Türme zunächst zu virtuellen und mit dem Auslieferungsdatum zu realen Beständen. Handelt es sich bei dem Turmtyp um eine regelmäßig nachgefragte Variante, so kann der Bestand als freie Kapazität des Lieferanten für die Optimierung modelliert werden. Im Falle von Beständen ausgelaufener Turmvarianten oder sehr seltener Varianten besteht im Vergleich ein hohes Risiko, diese nicht mehr am Markt platzieren zu können. Auch im Hinblick auf den Modellierungsaufwand und die Laufzeit der angestrebten Optimierung sollen solche Bestände deshalb außerhalb des Optimierungsmodells dem nächstmöglichen Projekt mit dem entsprechenden Turmtyp zugeordnet werden.

Wie im Abschnitt zur Kontingentierung dargestellt, müssen einerseits zur Sicherung eines Mindestumsatzes für den Lieferanten $k_{\min l} \in \mathbb{Z}_+$ und andererseits zur Sicherung einer maximalen Verfügbarkeit für den Hersteller $k_{\max l} \in \mathbb{Z}_+$ Kontingente mit einer unteren und oberen Schranke berücksichtigt werden. Die unsteten Senken des Netzwerks sind die jeweiligen Windparks $W = \{1, \dots, W'\}$, deren Errichtung im Rahmen der rollierenden Planung in einem festen Zeitraster $Z = \{-4, \dots, 12\}$ abgebildet, dessen Ausgestaltung im Abschnitt zum *Supply Chain Planning* begründet wird.

Der Bedarf eines Windparks $d_w \in \mathbb{Z}_+$, der vollständig erfüllt werden muss, kann von den jeweils möglichen Lieferanten in einer Frist von bis zu vier Monaten vor Beginn und bei großen, sich über mehrere Monate erstreckenden Projekten, noch in die Errichtungsphase hinein mit der maximalen monatlichen Produktionsrate eines spezifischen Lieferanten $p_{lz} \in \mathbb{Z}_+$ bedient werden. Da Projekte zum Teil unter der Standardvorlaufzeit von vier Monaten beauftragt oder überhaupt erst ausgeschrieben werden und aufgrund der von Projektart, -ort, und -umfang abhängigen Errichtungszeitplanung, wird die zulässige Dauer zur Turmproduktion manuell modelliert, statt einer

starreren automatisierten Systematik zu folgen. Das geschieht, indem abhängig vom Errichtungszeitplan die möglichen Monate zur Fertigung und Lieferung der Komponenten innerhalb der Nebenbedingung der Produktionsrate definiert werden. Ein Beispiel dazu findet sich im Anhang 9.2.2 *Datenstruktur des Optimierungsmodells* in *Abbildung 56: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (1/3)* unter „Parameter“ in Spalte Zeitpunkt (Monat).

Sind aus einer früheren Optimierung Turmbestellungen entstanden, die für den aktuell in der Planung befindlichen Zeitraum Kapazitäten bei Lieferanten verbrauchen, muss dies an der gleichen Stelle wie vorab beschrieben im mathematischen Modell integriert werden. Das geschieht in der Form, dass kapazitiv belegte Monate nicht modelliert werden und damit nicht Bestandteil des möglichen Lösungsraums sind.

Jeder Windpark darf, aus Komplexitäts- und Qualitätsgründen, nur von einem Lieferanten beliefert werden. Um diese Bedingung zu erfüllen, bedarf es modellseitig der binären Hilfs-Entscheidungsvariable $y_{lw} \in \{0, 1\}$ und der Zahl M , die mindestens so groß sein muss wie die maximale Anzahl an Anlagen eines Windparkprojektes.

Lagerkapazitäten bei verfrühter Fertigstellung oder Lieferung werden im Modell nicht berücksichtigt, da in der Regel der Eigentums- und Gefahrenübergang zu einem vorab definierten Stichtag erfolgt. Kosten durch verspätete Lieferungen werden über einen erhöhten Risikokostenbestandteil berücksichtigt und gestalten die Wahl eines Lieferanten entsprechend unwahrscheinlicher. Modellseitig werden jedoch keine zusätzlichen Strafkosten erhoben, da bei der Zuordnung aufgrund der hinterlegten Vorlaufzeiten von einer termingerechten Belieferung ausgegangen wird, beziehungsweise dieses Risiko bei der Modellierung und dem dann möglichen Vertragsabschluss bewusst in Kauf genommen wird.

Das Ziel des Modells liegt in der Minimierung der Gesamtkosten bei der Zuordnung von Lieferanten zu Windparks. Dazu bedarf es der Entscheidungsvariable $x_{lWz} \in \mathbb{Z}_+$, die zu jedem Zeitpunkt die für jede im Lösungsraum befindliche Lieferant-Windpark-Zuordnung optimale Lösung der durch einen Lieferanten zu produzierenden Menge an Türmen darstellt. Dies geschieht unter Berücksichtigung der vorab genannten Nebenbedingungen.

Im Folgenden werden die vorab beschriebenen Zusammenhänge in der mathematischen Formulierung einer ganzzahlig linearen und kombinatorischen Optimierung aufgebaut:

Parameter

Lieferanten: $L = \{1, \dots, L\}$

Windparks: $W = \{1, \dots, W\}$

Zeitraster: $Z = \{-4, \dots, 12\}$.

$d_w \in \mathbb{Z}_+$ Bedarf eines Windparks $w \in W$ als Element der nichtnegativen ganzen Zahlen

$k_{\min l} \in \mathbb{Z}_+$ minimale Abnahmemenge beim Lieferanten $l \in L$ als Element der nichtnegativen ganzen Zahlen

$k_{\max l} \in \mathbb{Z}_+$ maximale Kapazität des Lieferanten $l \in L$ als Element der nichtnegativen ganzen Zahlen

$p_{lz} \in \mathbb{Z}_+$ Produktionsrate des Lieferanten $l \in L$ zum Zeitpunkt $z \in Z$ als Element der nichtnegativen ganzen Zahlen

$c_{lw} \in \mathbb{R}_+$ Total Landed Cost für die Relation Lieferant $l \in L$ zu Windpark $w \in W$ als Element der nichtnegativen reellen Zahlen

M hinreichend große Zahl M (maximale Anzahl Anlagen je Windpark)

Entscheidungsvariablen

$x_{lwz} \in \mathbb{Z}_+$ Menge der Türme, die ein Lieferant für einen Windpark in einer Zeiteinheit (Monat) produziert als Element der nichtnegativen ganzen Zahlen

Hilfs-Entscheidungsvariablen

$y_{lw} \in \{0, 1\}$ $\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ wenn ein Lieferant einem Windpark zugeordnet ist} \\ 0, \text{ sonst} \end{array} \right.$

Formulierung des Modells

Zielfunktion

Minimiere die Kosten für die Zuordnung aller Lieferanten zu Windparks

$$\min \sum_{l \in L} \sum_{w \in W} c_{lw} \sum_{z \in Z} x_{lwz}$$

Nebenbedingungen

Alle Bedarfe müssen erfüllt werden (triviale Lösung nicht zulässig)

$$\sum_{l \in L} \sum_{z \in Z} x_{lwz} = d_w$$
$$\forall w \in W$$

Die minimale Abnahmemenge per Rahmenvertrag mit einem Lieferanten darf nicht unterschritten werden.

$$\sum_{w \in W} \sum_{z \in Z} x_{lwz} \geq k_{\min l}$$
$$\forall l \in L$$

Die Maximalkapazität per Rahmenvertrag mit einem Lieferanten darf nicht überschritten werden.

$$\sum_{w \in W} \sum_{z \in Z} x_{lwz} \leq k_{\max l}$$
$$\forall l \in L$$

Die Produktionsrate kann nicht überschritten werden.

$$\sum_{w \in W} x_{lwz} \leq p_{lz}$$
$$\forall l \in L, \forall z \in Z$$

Ein Windpark darf nur von einem Lieferanten beliefert werden.

$$\sum_{l \in L} y_{lw} = 1$$

$$\forall w \in W$$

$$\sum_{z \in Z} x_{l wz} - y_{lw} M \leq 0$$

$$\forall l \in L, \forall w \in W$$

Das mathematische Modell kann in Microsoft Excel aufgebaut werden und wird in Anhang 9.2 *Das mathematische Supply Chain Scheduling Modell* abgebildet. Die Optimierung erfolgt mithilfe des sogenannten OpenSolver, welcher als Freeware per Excel Add-in integriert werden kann. Die angewendeten Einstellungen sind im Anhang 9.2.1 *Optimierungsmodell im OpenSolver in Abbildung 55: Optimierungsmodell im OpenSolver zur Anwendung in Microsoft Excel* dargestellt.

5.2.3.2 Supply Chain Operations und Supply Chain Monitoring

Das Ergebnis der Optimierung ist neben der Gesamtkostenminimierung die zeitliche Zuordnung von Turmbestellungen für verschiedene Windparkprojekte an die Turmlieferanten. Sobald die Beauftragung eines Windparkprojektes erfolgt ist, erwächst daraus eine eindeutige Handlungsanweisung für die Supply Chain Operations.

Die in *Abbildung 38: Ausgabe des Optimierungsergebnisses als Formalisierung des Supply Chain Scheduling und Handlungsanweisung für die Supply Chain Operations* dargestellte Matrix beinhaltet dazu im Wesentlichen die Konkretisierung der Ergebnisse je Lieferant und zugeordnetem Windpark. Zur einfachen logischen Überprüfung kann auch die jeweilige Errichtungsregion angegeben werden. Die zeitliche Zuordnung mit der zu fertigenden Anzahl an Türmen pro Periode wird über die horizontale Zeitleiste mit den Zellen in Verbindung zur jeweiligen Lieferanten-Projekt-Kombination hergestellt. Dadurch kann sowohl die Einhaltung der maximalen Produktionsrate je Periode nachvollzogen werden als auch die Restriktion des Single-Sourcing je Windpark. Bei Lieferant L₁, der im Beispiel die Projekte P₁ bis P₅ bedient, sind das maximal 8 Türme pro Monat. Als weitere logische Prüfung im Abgleich zum beauftragten Umfang des jeweiligen Windparks wird zudem die Summe an Türmen über die Fertigungsperioden ausgewiesen.

Lieferant	Windpark	Region	Monat												# Türme
			-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	...	12	
L ₁	P ₁	R ₁				8	5								13
L ₁	P ₂	R ₁						4	8						12
L ₁	P ₃	R ₁								8	8				16
L ₁	P ₄	R ₂	8	2											10
L ₁	P ₅	R ₂			6										6
L ₂	P ₆	R ₂	5												5
L ₂	P ₇	R ₃				6									6

Abbildung 38: Ausgabe des Optimierungsergebnisses als Formalisierung des Supply Chain Scheduling und Handlungsanweisung für die Supply Chain Operations

Quelle: Eigene Darstellung⁵

Indem die Summe an bestellten oder zugeordneten Türmen pro Supply Chain Scheduling Periode von zwölf Monaten gezogen wird⁶, kann außerdem die Ist-Auslastung der Lieferanten bewertet werden. Diese kann dann mit den Kontingenten der jeweiligen Lieferanten verglichen werden. Fügt man die Information der zugeordneten Projektregionen hinzu bzw. die konkrete geographische Lage der Projekte je Lieferant, kann zudem ein visueller Abgleich von Kernbelieferungszonen und tatsächlich belieferteter Region erfolgen. Beide Analysen liefern als Instrumente des Supply Chain Monitoring⁷ wertvolle Hinweise für Handlungsbedarfe im Supply Chain Design. So ist eine drohende oder akute Über- oder Unterauslastung Handlungsindiz für die Anpassung der Kontingentierung des Lieferantenportfolios.

In der *Abbildung 39: Ist-Auslastung mit Ist-Regionen vs. Auslastung bei Zuordnung per Soll-Regionen* ist die kalkulierte Ist-Auslastung der Lieferanten nach der Optimierung mit der entsprechenden geographischen Abdeckung zu sehen. Darin sind die Nebenbedingungen aus minimaler und maximaler Abnahmemenge eingehalten. Wird jedoch die Summe der Türme über die Kernbelieferungszonen (das entspricht im Rahmen dieser Arbeit der Region, in der ein Lieferant im Vergleich zu allen anderen Lieferanten minimale Logistikkosten verursacht) als Soll-Belieferungsregionen der Lieferanten gezogen, zeigt sich im Beispiel ein anderes Bild. Lieferant L₇ ist überlastet, während diese Umfänge im Auftragsvolumen von Lieferant L₁ fehlen. Darüber

⁵ Vgl. Optimierungsergebnisse der Szenarien im Anhang 9.3 Aufbereitete Ergebnismatrizen der Optimierungsszenarien

⁶ Vgl. hierzu Kapitel 5.2.2.2 *Supply Chain Planning*

⁷ Vgl. hierzu Kapitel 2.2.5 *Supply Chain Management*

hinaus ist beim Lieferanten L4 eine drohende Überauslastung zu erkennen, während L5 im Verhältnis zu seiner Maximalkapazität nur wenige Aufträge bearbeitet. Das sind neben der langfristigen Absatzplanung klare Indikationen für das Supply Chain Design, die vereinbarten Kapazitäten mit den Lieferanten anzupassen.

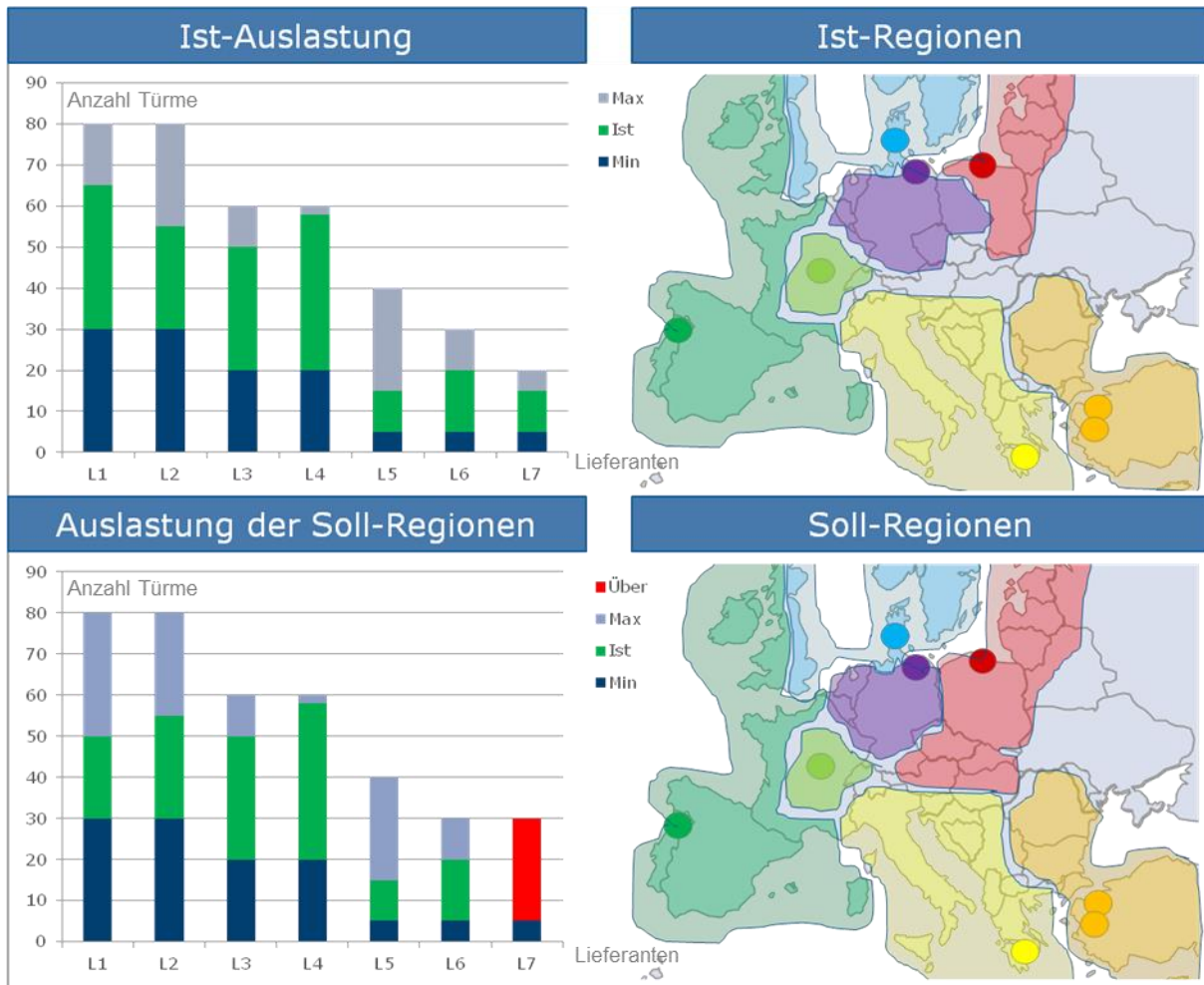


Abbildung 39: Ist-Auslastung mit Ist-Regionen vs. Auslastung bei Zuordnung per Soll-Regionen

Quelle: Eigene Darstellung

6 Evaluierung der Methode anhand einer Fallstudie in der Windenergiebranche

In den nachfolgenden Abschnitten des sechsten Kapitels wird zunächst die Ist-Situation in einem Unternehmen der Windenergiebranche beschrieben, welche im weiteren Verlauf als Fallstudie für die Evaluierung der Methode dienen soll. Im Rahmen eines Beratungsprojektes bei einem Windenergieanlagenhersteller wurden dazu die Kosten zur Windparkbelieferung über den Zeitraum von einem Jahr erhoben. Darauf aufbauend werden die einzelnen Kostenbestandteile der Total Landed Cost bewertet, mit den real vorgefundenen Kosten verglichen und das Optimierungsmodell damit formal validiert. Dies dient als Datenbasis für die Optimierung verschiedener Szenarien, die auf den unterschiedlichen Bestandteilen der entwickelten Methode basieren. Es folgt eine Zusammenfassung und Interpretation der Optimierungsergebnisse sowie die separate Bewertung und Validierung der Risikokosten. Im nächsten Schritt wird die Verallgemeinerbarkeit der Methode diskutiert, bevor das Kapitel mit der Evaluierung der gesamten Methode und der einzelnen enthaltenen Modelle anhand der in Abschnitt 2.2.4.3 *Aspekte und Kriterien zur Methoden- und Modellevaluierung* aufgestellten Bewertungsaspekte und -kriterien schließt.

6.1 Ist-Situation

Die Ist-Situation beschreibt einen umfassenden Ausschnitt der Windparkprojekte eines europäischen Windenergieanlagenherstellers über den Zeitraum von einem Jahr. Die Errichtung einzelner Windparks kann dabei um wenige Monate über diesen Zeitraum hinaus durchgeführt worden sein. Entscheidend bei der Projektauswahl war, neben der Verfügbarkeit von Kostendaten, dass die Errichtung des Windparks und damit die Projektbelieferung innerhalb des definierten Zeitraums stattgefunden hat. Die Auswahl, der in der Ist-Situation enthaltenen Projekte, entspricht somit zum Teil dem in Abschnitt 5.2.2.2 *Supply Chain Planning* beschriebenen Vorgehen. Mit der Auswahl von Projekten, die in der Planung berücksichtigt werden sollen, ohne dass eine Beauftragung vorliegt, entfällt in der Ausgestaltung dieser Fallstudie jedoch die kritische Herausforderung, die diesem Abschnitt der Methode in der realen Anwendung anhaftet.

Die so ausgewählte Stichprobe umfasst in Summe 34 Projekte mit einem Umfang von 248 Anlagen, die von 5 aktiven Turmlieferanten bedient werden. Die Spannweite des jeweiligen Projektumfangs liegt bei 1 bis 36 Anlagen mit Turmhöhen von 60 bis 100 Meter. Die Lage der Projekte und Turmlieferanten in elf europäischen Ländern sowie ihre jeweilige Zuordnung sind auf der Karte in *Abbildung 40: Ist-Situation* dargestellt.

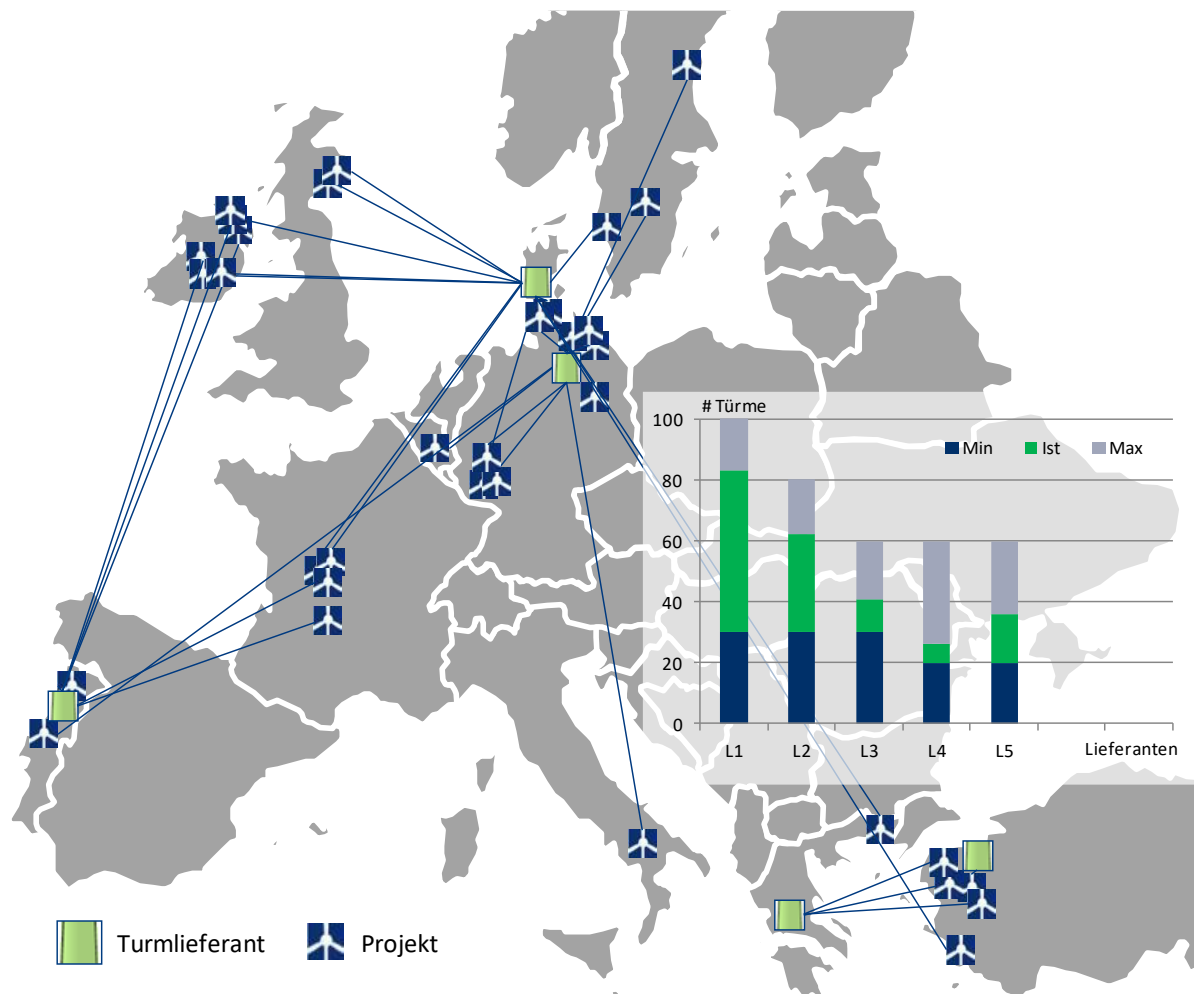


Abbildung 40: Ist-Situation
Quelle: Eigene Darstellung

Aus der Übersicht geht hervor, dass, aufgrund der Lage der Lieferanten und ihrer Zuordnung zu den Projekten, ein umfassender Anteil der Belieferungen über den Seeweg abgewickelt werden muss. Dieser impliziert aufgrund seiner Mehrgliedrigkeit im Vergleich zum eingliedrigem Landweg ein höheres Kostenniveau. Besonders augenscheinlich ist zudem die Belieferung südeuropäischer Projekte in Portugal, Italien, Griechenland und der Türkei aus Nordeuropa heraus. Obwohl ein Lieferant in der Türkei ansässig ist, wurden dort vier von fünf Projekten nicht lokal unter Vermeidung

des Seewegs eingekauft. Dabei wurde in drei Fällen aber zumindest der kürzest mögliche Seeweg gewählt. Die Aufteilung von Großbritannien, Irland und Frankreich auf den portugiesischen und dänischen Lieferanten, sowie die Belieferung der Projekte in Deutschland durch den deutschen Lieferanten wurde beim Blick auf die Karte augenscheinlich weitgehend sinnvoll gewählt.

Aus der Zuteilung der Projekte auf die Turmlieferanten kann für eine anschließende Optimierung eine Startvorgabe für die Kapazitätsschranken aus minimaler Abnahmeverpflichtung und maximaler Kapazitätsszusage definiert werden. Die geographische Verortung der Lieferanten entspricht der nachfolgenden Zuteilung:

- L₁ = Dänemark
- L₂ = Griechenland
- L₃ = Deutschland
- L₄ = Portugal
- L₅ = Türkei

Die Kapazitätsdarstellung in *Abbildung 40* zeigt in dunkelblau die gewählte minimale Abnahmeverpflichtung, in grün die abgenommene Anzahl an Türmen und in hellblau die Kapazitätsobergrenze je Lieferant. Da in der Ist-Situation keine Pönale für eine zu geringe Abnahmemenge vorlag, wurden auch bei großem Ist-Absatz möglichst geringe und für alle Lieferanten vergleichbare Mindestabnahmemengen gewählt. Die beiden großen Lieferanten L₁ und L₂ wurden bei der Kapazitätsobergrenze jeweils mit einem Puffer von ungefähr 20 Türmen im Vergleich zum Ist-Absatz versehen, während die kleineren konstant mit einer Kapazität von maximal 60 Türmen pro Jahr definiert wurden, um im Rahmen des aktuellen Geschäftsumfangs zu bleiben. Die maximale Produktionsrate pro Monat wurde für alle Lieferanten gleichmäßig auf 8 Anlagen festgelegt. Die Kapazitätsdefinition der Lieferanten ist ein Aspekt des in Abschnitt 5.2.2.1 *Supply Chain Design* beschriebenen Vorgehens. Ein anderer ist die Auswahl und geographische Verortung der Lieferanten. Diesem Aspekt wird in der späteren Ausgestaltung der Optimierungsszenarien Rechnung getragen.

6.2 Modellaufbau und formale Validierung

In den nachfolgenden Abschnitten soll das Optimierungsmodell aufgebaut und formal validiert, das heißt in Bezug auf seine zugrundeliegende Datenbasis hin überprüft werden. Dazu wird die Bewertung der einzelnen Kostenbestandteile, bestehend aus Komponenten-, Logistik- und Risikokosten, nachfolgend beschrieben.

6.2.1 Bewertung der Kostenbestandteile

Die **Komponentenkosten** wurden anstelle der real bezahlten Preise anhand der mit den Lieferanten abgestimmten Systematik aus Material- und Wertschöpfungskosten bewertet, um eine vergleichbare Ausgangssituation für die Gegenüberstellung mit den im weiteren Verlauf folgenden Optimierungen zu schaffen. Dazu wurden Preise für vier unterschiedliche Turmtypen abgefragt: 100 Meter, zwei Windklassevarianten 80 Meter und die zum Zeitpunkt der Datenerhebung auslaufende 60-Meter-Variante. Die Unterschiede in der Preisgestaltung der Lieferanten folgen, durch die Harmonisierung der Materialkosten und der transparenten Wertschöpfungskosten, weitgehend den Arbeitskosten in den einzelnen Ländern. Damit sind Dänemark und Deutschland im höheren Preissegment angesiedelt, Portugal und Griechenland liegen im Mittelfeld und die günstigste Wertschöpfung wird in der Türkei erbracht. Für die 60-Meter-Variante liegen die vorab beschriebenen Unterschiede bei den Wertschöpfungskosten nicht vor, da die später zum Portfolio hinzugefügten südeuropäischen Lieferanten keine Routine in der Fertigung dieses Turmtyps haben.

Die **Logistikkosten** für jedes Projekt wurden vollständig erfasst und dem Vorgehen in Abschnitt 5.2.1.2 *Logistikkosten* folgend auf die Abschnitte der Transportkette verteilt. Diese Datenbasis bildet neben der Ist-Situation als Vergleichsgröße insbesondere die Grundlage für die Berechnung alternativer Auftragszuordnungen, die in der Ist-Situation so nicht vorgekommen sind. Für die automatisierte Bewertung und Analyse der Komponenten- und Logistikkosten wurde das in Anhang 9.1 Applikation zur Bewertung und Analyse von Auftragszuordnungskonstellation entwickelt. Die einzelnen Bestandteile der Applikation sind:

- *Abbildung 52: VBA-Applikation zur Definition der Projektkonfiguration*
- *Abbildung 53: VBA-Applikation zur Definition der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen und Berechnung der Komponenten- und Logistikkosten und*
- *Abbildung 54: VBA-Applikation zur Auswertung der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen*

Die entwickelte Applikation berechnet auf Basis bewerteter Vergangenheitsdaten Komponenten- und Logistikkosten für alle möglichen Auftragszuordnungskonstellationen. Derart berechnete Kosten werden für den Rahmen dieser Arbeit als Plankosten definiert.

Zur formalen Modellvalidierung ist es nun erforderlich, dass die in der Ist-Situation vorgefundenen Ist-Kosten möglichst mit den als Datenbasis für die nachfolgende Optimierung herangezogenen Plankosten übereinstimmen. Da die Komponentenkosten ausschließlich als Plankosten vorliegen, wurden ausschließlich die Ist-Logistikkosten aller in der Fallstudie enthaltenen Projekte den Plan-Logistikkosten mit identischer Lieferanten-Windpark-Konstellation gegenübergestellt. Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung wird in der nachfolgenden Graphik dargestellt:

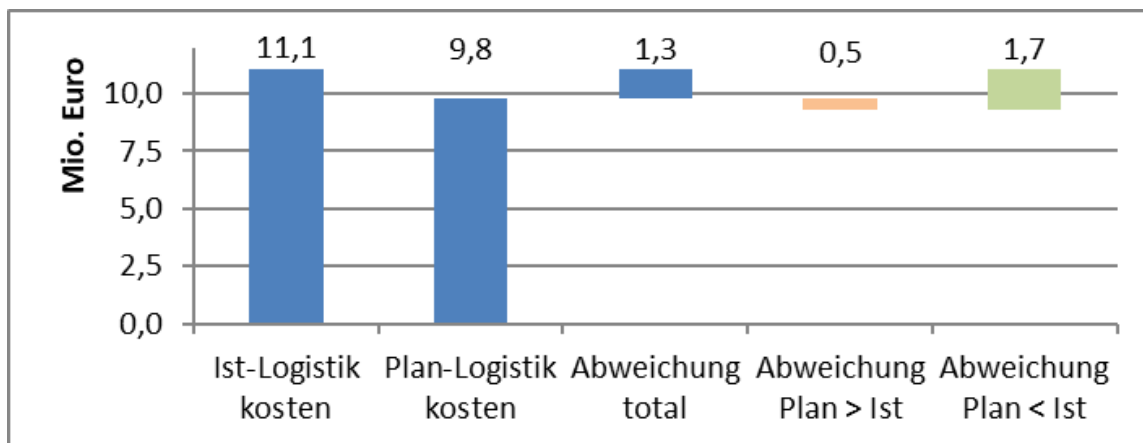


Abbildung 41: Gegenüberstellung von Ist- und Plan-Logistikkosten

Quelle: Eigene Darstellung

Bei Betrachtung der Graphik fällt auf, dass die Ist-Logistikkosten nicht den Plan-Logistikkosten entsprechen. Die Summe der Abweichung beträgt ungefähr 12%. Dabei gibt es im Vergleich der einzelnen Projekte sowohl Abweichungen, bei denen die Plan-Logistikkosten über den Ist-Logistikkosten liegen, als auch andersherum. Die meisten Abweichungen sind in beide Richtungen verhältnismäßig gering, die Gesamtabweichung wird durch wenige signifikante Bewertungsdifferenzen bestimmt, bei denen die Ist-Logistikkosten größer sind als die Plan-Logistikkosten. Diese können am ehesten so erklärt werden, dass Risikoereignisse in die Bewertung der Logistikkosten dieser Projekte eingeflossen sind, aber nicht als solche erkannt wurden.

Die Methode zur Erhebung und Bewertung der **Risikokosten** aus Abschnitt 5.2.1.3 *Risikokosten* sieht zwar vor, dass die Kosten von Risikoereignissen auf das Konto des jeweiligen Verursachers gebucht werden. Eine solche Buchungssystematik war im Zeitraum der Ist-Situation jedoch nicht vorhanden, weshalb diese Daten so nicht vorliegen. Die Bewertung bzw. Prognose der Risikokosten je Lieferant erfolgt zudem nach jeder Belieferung und fließt monatlich in die Optimierung der Projektzuordnung über den Total Landed Cost Ansatz ein. Der Aufbau der Fallstudie ist für eine solche rollierende Bewertung indes ungeeignet, da zu einem festen Zeitpunkt, vier Monate vor der ersten Anlagenerrichtung der Stichprobe, die Zuordnung für das gesamte Jahr festgelegt werden soll. Dabei können die Risikokosten, die am Ende des Untersuchungszeitraums je Lieferant vorliegen, nicht angesetzt werden, weil sich die Effekte erhöhter Risikokosten nicht wie angedacht in einem veränderten Beschaffungs- und somit auch einem potentiell angepassten Lieferantenverhalten niederschlagen können. Liegen für einen Lieferanten hohe Risikokosten vor, so gelten diese für alle Zuordnungsoptionen, mit dem Effekt, dass er möglicherweise gar nicht gewählt wird, daran im Rahmen dieser Fallstudie aber nichts ändern kann.

Als Konsequenz werden die Risikokosten bei der Gesamtkostenbewertung in der nachfolgenden Fallstudie ausgeklammert. Dadurch ergibt sich jedoch ein strukturelles Ungleichgewicht im Vergleich der Ist-Situation mit den optimierten Szenarien. Um einen Vergleich trotzdem zu ermöglichen, müssen die Risikokosten ex-post definiert und die Datenbasis entsprechend kalibriert werden.

6.2.2 Kalibrieren der Risikokosten

Die Plan-Logistikkosten werden aus der Summe aller historischen Belieferungen berechnet. Das heißt, potentielle Risikokosten sind in dieser Summe der Logistikkosten zwar enthalten, gehen aber nur mit dem durchschnittsbildenden Faktor in die Bewertung einer Belieferungskonstellation mit ein. Um die Datenbasis um die enthaltenen Risikokosten zu korrigieren bzw. zu kalibrieren, werden die bewerteten Plan-Logistikkosten des Lieferanten eines Windparks aus der Ist-Situation von den tatsächlich angefallenen Ist-Logistikkosten abgezogen. Im Falle einer positiven Differenz zwischen den vorab beschriebenen Plan- und Ist-Logistikkosten werden diese als angefallene Risikokosten ausgewiesen. Der bewertete Kostenunterschied zwischen der Ist-Situation und einem optimierten Szenario ist somit das Einsparpotential ohne Berücksichtigung der Risikokosten. Werden die eben definierten Risikokosten

von der beschriebenen Kostendifferenz abgezogen, erhält man das Einsparpotential nach Abzug und somit unter Berücksichtigung der hergeleiteten und somit theoretischen Risikokosten. Für den Fall, dass diese Risikokosten negativ sind, die tatsächlich angefallenen Kosten also geringer sind als die mit demselben Lieferanten bewerteten Plankosten, werden diese gleich null gesetzt. Wenn der im Rahmen der Optimierung gewählte Lieferant dem historischen Ist-Lieferanten entspricht, dann wird ein mögliches Gesamtpotential nicht durch theoretische negative Risikokosten reduziert. Wenn sich der optimierte Lieferant hingegen vom historischen Ist-Lieferanten unterscheidet, dann wird das Potential nicht um den negativen Risikokostenwert erhöht.

Unter Anwendung einer solchen gezielten Kalibrierung des Modells, die eine Überschätzung des Optimierungspotentials strukturell ausschließt, wird die Datenbasis für die nachfolgenden Optimierungen als formal ausreichend valide angenommen.

Um die Nachvollziehbarkeit der Kalibrierung zu ermöglichen, werden nachfolgend die Zahlenbeispiele in *Abbildung 42: Beispiele aus der Fallstudien-Stichprobe (Ist-Situation)* für die Projektbewertung exklusive und inklusive Risikokosten beschrieben.

Projekt	Ist-Lieferant	Plan-Lieferant	Ist-Kosten	Plan-Ist-Kosten	Risiko-kosten	Plan-kosten	Vergleich exkl. Kalibrierung Risiko	Vergleich inkl. Kalibrierung Risiko
P ₁	L ₁	L ₆	762,335	652,264	110,072	180,000	582,335	472,264
P ₂	L ₂	L ₄	884,322	942,159	-57,837	315,900	568,422	626,259
P ₃	L ₃	L ₅	276,235	260,701	15,533	262,988	13,247	-2,287
P ₄	L ₃	L ₃	346,126	337,316	8,810	337,316	8,810	0
P ₅	L ₃	L ₃	313,259	337,832	-24,573	337,832	-24,573	0

Abbildung 42: Beispiele aus der Fallstudien-Stichprobe (Ist-Situation) für die Projektbewertung exklusive und inklusive Risikokosten

Quelle: Eigene Darstellung

Das Projekt P₁ wurde in der Ist-Situation von Lieferant L₁ beliefert. In einem optimierten Szenario wurde als Quelle hingegen L₆ gewählt. Die realen Ist-Kosten waren höher als die Plan-Ist-Kosten, die mit dem gleichen Lieferanten (L₁) als Quelle anhand der im Anhang 9.1 beschriebenen *Applikation zur Bewertung und Analyse von Auftragszuordnungskonstellation* bewertet wurden. Daraus leiten sich theoretische Risikokosten in Höhe von rund 110.000€ ab. Die Plankosten mit dem optimierten Lieferanten L₆ als Quelle liegen ausgesprochen deutlich unter den Ist-Kosten. Damit ergibt sich ein Potential exklusive der Risikokalibrierung, welches sich aus der Gegenüber-

stellung der realen Ist-Kosten und den Plankosten der alternativen Quelle ergibt, in Höhe von gut 582.000€. Das um die theoretischen Risikokosten kalibrierte Potential liegt nach Abzug der Risikokosten entsprechend niedriger bei noch gut 472.000€. Grundsätzlich werden bei der Kalibrierung also Plankosten von Plan-Ist-Kosten abgezogen, um Risiko- oder Bewertungseffekte so weit als möglich aus der Ergebnisgegenüberstellung auszuschließen. Neben diesem verhältnismäßig einfach nachvollziehbaren Normalfall gibt es jedoch eine Reihe von weniger intuitiven Konstellationen, die nachfolgend beschrieben werden:

Beim Projekt P_2 liegen die Plan-Ist-Kosten beispielsweise über den Ist-Kosten. Daraus leiten sich negative Risikokosten in Höhe von knapp 58.000€ ab. Das bedeutet, dass der durchschnittliche Risikokostenanteil in den Plankosten über den tatsächlich realisierten Risikokosten liegt. Dieser Umstand lässt wiederum darauf schließen, dass dieses Projekt sehr effizient und mit geringen Risikokosten durchgeführt werden konnte. Die Plankosten mit dem optimierten Lieferanten als Quelle liegen wiederum deutlich unter den Ist-Kosten. Damit ergibt sich weiterhin ein Potential durch die Wahl der alternativen Quelle. Diesmal liegt das kalibrierte Potential jedoch über dem Potential exklusive der Kalibrierung. Die Begründung für dieses Vorgehen liegt zum einen in der Absicht eines möglichst konsistenten Vorgehens. Zum anderen lässt es sich aber auch damit begründen, dass die reale Errichtung offenbar mit sehr geringen Risikoereignissen durchgeführt werden konnte. Dieser Umstand sollte sich dann auch in der Potentialbewertung niederschlagen.

Beim Projekt P_3 sind die Risikokosten wieder positiv und müssen vom Vergleich exklusive Risiko abgezogen werden. Das Ergebnis ist hier jedoch, dass die Logistikkosten der Ist-Situation etwas geringer ausfallen als die der optimierten Variante. Da in der Optimierung ausschließlich mit Plankosten gerechnet wird, lässt das darauf schließen, dass dem ursprünglichen Lieferanten hier entweder keine freie Kapazität mehr zur Verfügung stand, oder dessen Komponentenkosten über denen der alternativen gewählten Quelle liegen.

In der Konstellation des Projektes P_4 sind der Ist- und der Planlieferant identisch. Die Plan-Ist-Kosten sind geringer als die tatsächlich angefallenen Kosten. Das deutet darauf hin, dass in der Belieferung kleinere Risikoereignisse eingetreten sind. Diese Kosten dürfen bei einem fairen Vergleich der Auftragszuordnung aber keine Rolle

spielen, da sie in der bewerteten Situation nicht abgebildet werden. Deshalb wird der Vergleich inklusive Risiko nach Abzug der Risikokosten gleich null gesetzt.

Im abschließenden Fallbeispiel P_5 sind der Ist- und der Planlieferant wiederum identisch. Der Unterschied liegt in den hier vorliegenden negativen Risikokosten. Analog zu dem vorhergehenden Beispiel werden die kalibrierten Potentiale wieder gleich null gesetzt, um weder theoretische Potentiale noch Mehrkosten zu bewerten.

6.3 Optimierung

Ausgehend von den Schwachstellen der Ist-Situation sollen in drei Optimierungsschritten zunehmende Umfänge der entwickelten Methode angewendet werden. In der ersten Optimierung soll in Anlehnung an das Supply Chain Scheduling bei gleichbleibender Lieferantenkapazität die Zuordnung von Lieferanten zu Projekten optimiert werden. In Stufe zwei werden das Lieferantenportfolio und die Lieferantenkapazität basierend auf den geographischen Bedarfen im Sinne des Supply Chain Design angepasst. Die dritte Ausbaustufe integriert, neben der Optimierung der Logistikkosten, Aspekte zur Reduzierung der Komponentenkosten als dem treibenden Bestandteil der Total Landed Cost.

6.3.1 Optimierte Auftragszuordnung bei unveränderter Kapazität

Der erste Eindruck beim Blick auf die Karte im ersten Optimierungsszenario wirkt kaum geordneter als in der Ist-Situation. Das liegt an der komplexeren Aufteilung der britischen und irischen Projekte auf nunmehr vier statt zuvor zwei Lieferanten. Aus den vier langen Belieferungsdistanzen von Nord- nach Südeuropa sind nun zwei geworden, die ihre Richtung nun von West- nach Ost- bzw. Süd- nach Nordeuropa geändert haben.

Als nächstes fallen die starken Absatzeinbußen des dänischen Lieferanten auf, wovon, bis auf den deutschen Lieferanten, alle anderen Lieferanten profitieren. Bei genauerem Hinsehen wird deutlich, dass Projekte keineswegs einfach vom Lieferanten L_1 auf die Lieferanten mit steigendem Absatz verschoben werden, sondern dass eine umfassende Durchmischung stattfindet.

So gibt der deutsche Lieferant die schwedischen Projektstandorte an den dänischen Lieferanten ab und erhält im Gegenzug mitteleuropäische Festlandprojekte. Dadurch wird die Quote an Landtransportprojekten erhöht und die Logistikkosten gesenkt. Der

portugiesische Lieferant übernimmt, getrieben durch die geringeren Komponentenkosten, Projekte auf den britischen Inseln. Der dänische Lieferant bedient hier nur noch ein Projekt in der 60-Meter-Turmvariante. Der Lieferant aus Griechenland reduziert seine Belieferungen in die Türkei zugunsten des dort ansässigen Lieferanten, wodurch wiederum Seetransporte durch Landtransporte ersetzt werden. Die freie Kapazität des griechischen Lieferanten wird nun für das Projekt in Italien eingesetzt, während aufgrund der zeitlichen Überschneidung mit einem großen Projekt in der Türkei, das Projekt in Griechenland nicht beliefert werden kann.

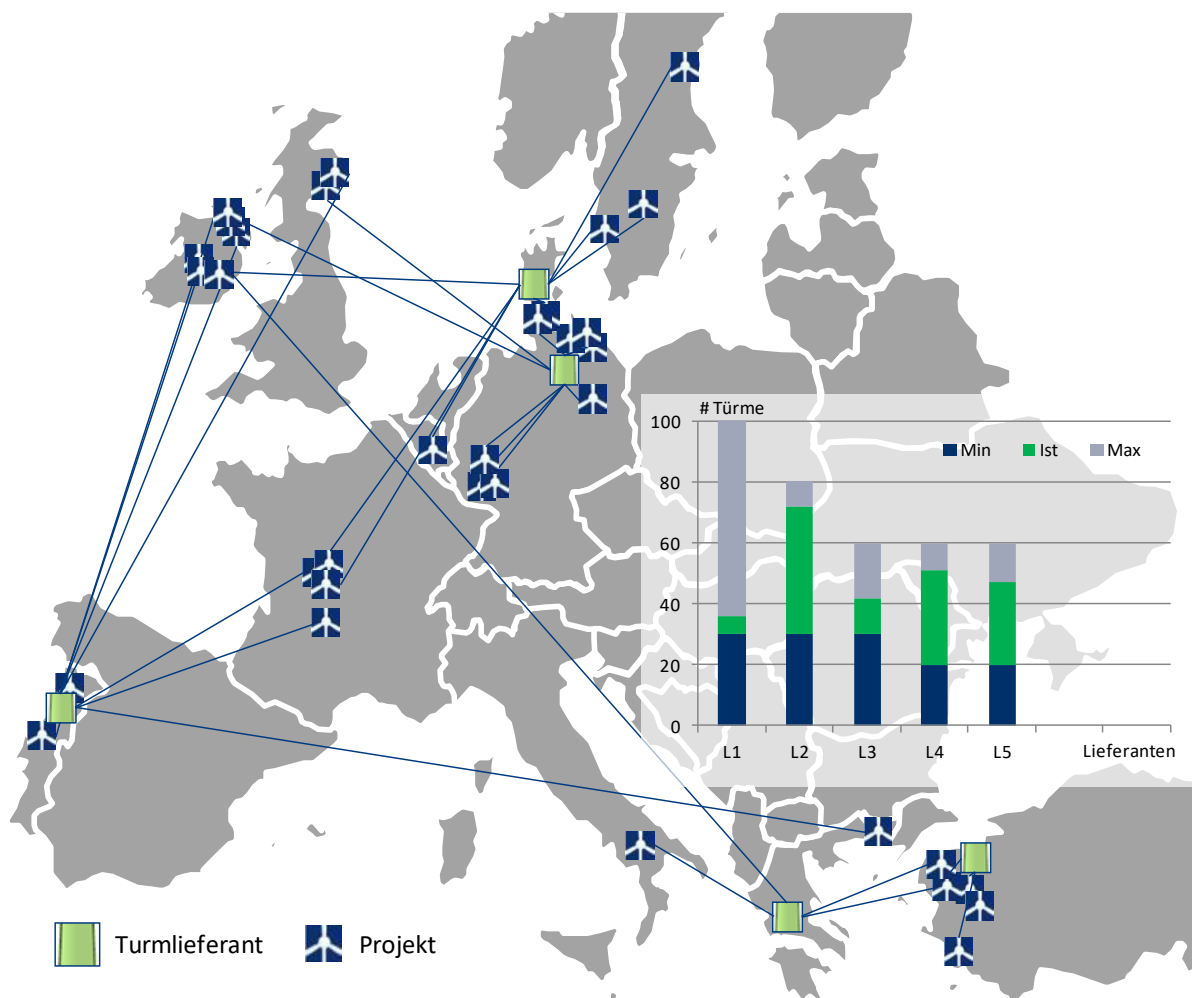


Abbildung 43: Optimierte Auftragszuordnung bei unveränderter Kapazität

Quelle: Eigene Darstellung

Detaillierte Ergebnismatrizen als Resultate des Supply Chain Scheduling finden sich für dieses wie für die folgenden Optimierungsergebnisse im Anhang 9.3. Die Beschreibung der Matrizen erfolgt in Abschnitt 5.2.3.2 *Supply Chain Operations und Supply Chain Monitoring*.

6.3.2 Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität I

Die qualitativen Ergebnisse aus der ersten Optimierungsvariante machen deutlich, dass eine optimierte Zuordnung allein nicht ausreicht, um die Struktur des Projektnetzwerks signifikant zu verbessern. Daher soll in diesem Szenario mit dem Supply Chain Design zunächst die Verortung der verfügbaren Kapazitäten analysiert und optimiert werden.

Dem Vorgehen in Abschnitt 5.2.2.1 *Supply Chain Design* und 5.2.3.2 *Supply Chain Operations und Supply Chain Monitoring* folgend, sind in *Abbildung 44* die Kapazitäten und Bedarfe je Kernbelieferungszone abgetragen. Daraus folgend können nun verschiedene Anpassungen am Netzwerkdesign vorgenommen werden.

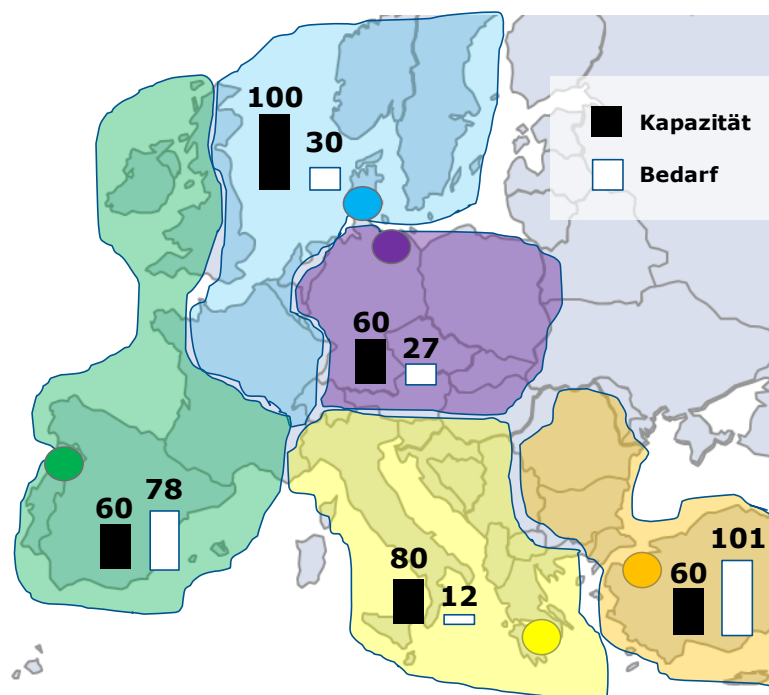


Abbildung 44: Turmkapazitäten und Bedarfe je Kernbelieferungszone

Quelle: Eigene Darstellung

Zuerst wird die kapazitative Unterdeckung der Kernbelieferungszone des türkischen Lieferanten ersichtlich. Da es sich im Untersuchungszeitraum um einen allgemein stark wachsenden Markt handelte, ist die Möglichkeit der Aufstockung beim Bestandslieferanten als unwahrscheinlich einzuschätzen. Aus diesem Grund wird angenommen, dass ein neuer Lieferant mit einer moderaten freien Kapazität von maximal 40 Türmen pro Jahr in das Portfolio integriert wird. Diese Kapazitätsaufstockung reicht indes nicht ganz aus, um den Bedarf zu befriedigen. Da es insbesondere zu-

lasten des griechischen Lieferanten geht, welcher einen Großteil seines Absatzes in der Türkei erwirtschaftet und in seiner Kernbelieferungszone wenig alternatives Geschäft hat, würde ein stärkerer Aufbau wenig nützen, da die minimale Abnahmemenge eingehalten werden muss. Diese wird von 30 auf 20 Türme reduziert, während die maximale Kapazität um 30 Türme gekürzt wird.

Die zweite deutliche Veränderung geht von den Projektumfängen auf den Britischen Inseln aus und bewirkt damit die Notwendigkeit zur Erweiterung der Kapazität des Lieferanten in Portugal. Um denselben Betrag, wie dieser wächst, soll die Kapazität des dänischen Lieferanten reduziert werden. Im Vergleich von verfügbarer Kapazität und Bedarf in dessen Kernbelieferungszone könnte die Kürzung auch drastischer ausfallen. Die Übersicht zeigt aber einerseits nicht an, zu welchem Zeitpunkt die Kapazitäten auf den Britischen Inseln abgefragt werden. Bei einer Vielzahl gleichzeitiger Projekte könnte der dänische Lieferant also vermehrt als zweitbeste Option gewählt werden. Andererseits sollten Kapazitätsverlagerungen auch nicht allzu drastisch ausfallen, um Lieferanten eine Anpassung zu ermöglichen und gleichzeitig die eigene Reputation als Kunde nicht zu gefährden. Auch der deutsche Lieferant hat in der Vergangenheit Projekte auf den Britischen Inseln beliefert. Zudem fallen die schwedischen Projekte in die Zone des Lieferanten aus Dänemark. Deshalb kann auch hier die angeforderte Kapazität leicht reduziert werden. Insgesamt bleibt die Kapazität im Netzwerk nach Abschluss der Maßnahmen unverändert, da auch der Bedarf in dieser Fallstudie konstant ist.

Im Anschluss an das Supply Chain Design kann die Zuordnung im Netzwerk nun erneut optimiert werden. Das Ergebnis wirkt deutlich aufgeräumter, weil die Projektzuordnung nun größtenteils im Raum der Kernbelieferungszonen erfolgt und lange Seewege um Europa herum vollständig vermieden werden. Die türkischen Lieferanten bedienen die inländischen Projekte. Der Lieferant aus Griechenland bedient nur noch ein türkisches Projekt und nun auch das griechische. Der portugiesische Lieferant kann umfassend die Windparks auf den britischen Inseln und in Frankreich bedienen und deckt darüber hinaus die Projekte in Portugal ab. Dabei kommt seine Auslastung der maximalen Kapazitätsvereinbarung sehr nahe. Auch deshalb wird die tatsächlich belieferte Region des dänischen Lieferanten im Vergleich zur optimalen leicht erweitert, während der Lieferant in Deutschland eine ideale Zuordnung aller deutschen Windparks erfährt.

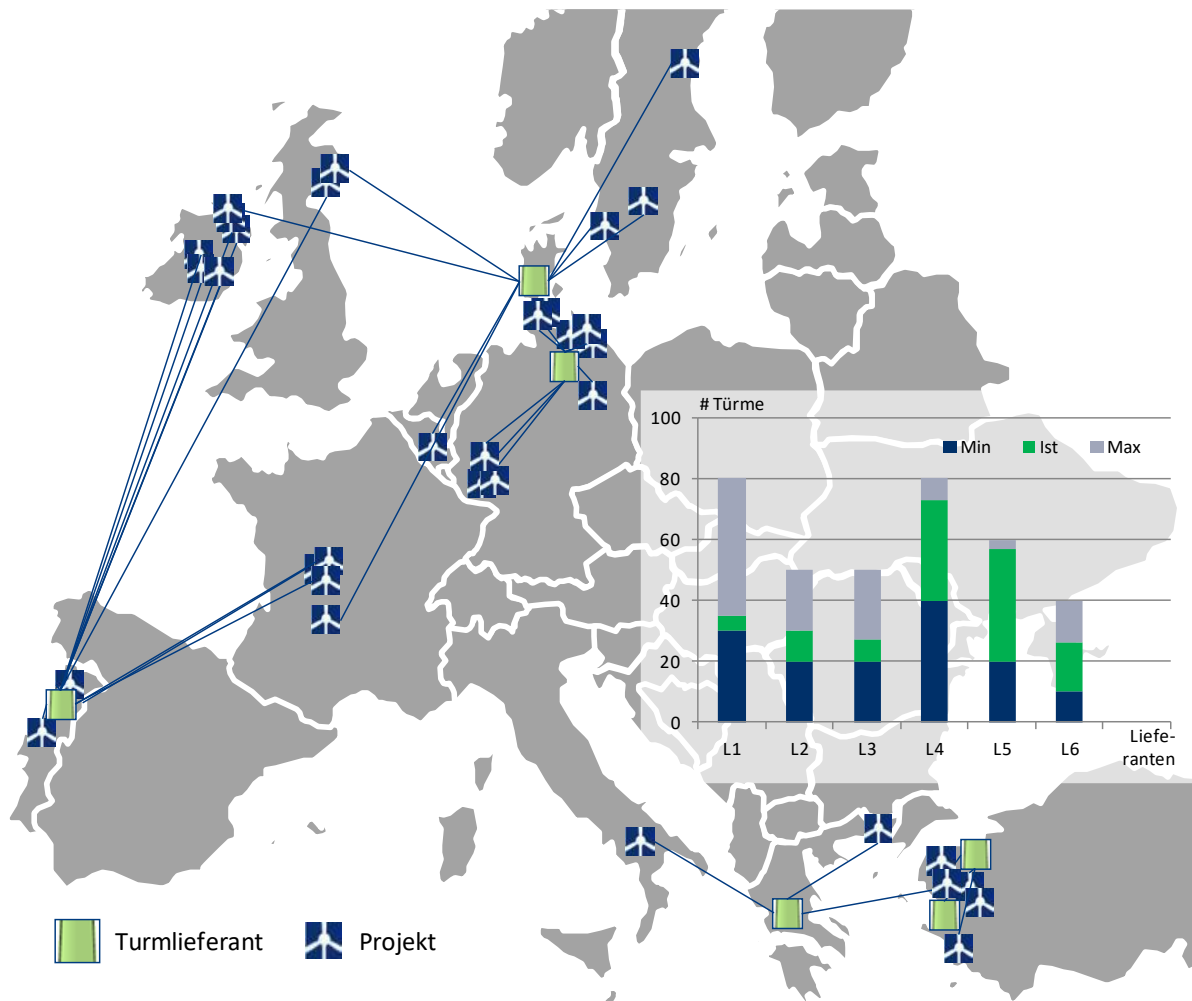


Abbildung 45: Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität I

Quelle: Eigene Darstellung

6.3.3 Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität II

Nachdem die Zuordnung der Windparks zu den Lieferanten nach logistischen Gesichtspunkten, wie im Abschnitt zuvor beschrieben, zufriedenstellend erfolgt ist, bleiben im Rahmen der Fallstudie unter nur peripherer Betrachtung der Risikokosten noch die Komponentenkosten als Optimierungsgröße. Der Umstand, dass sich die Wertschöpfungskosten in den Hochlohnländern Dänemark und Deutschland auf die Höhe der Komponentenkosten niederschlagen, wurde bereits erwähnt. Unter Berücksichtigung der Logistikkosten zur Bedienung der Bedarfe in Nordeuropa durch die günstigeren Anbieter in Südeuropa erscheint eine Ausweitung der Kapazitäten dort jedoch nicht als zielführend. Anders verhält es sich mit Lieferanten aus Osteuropa, die ein verhältnismäßig günstiges Lohnniveau aufweisen und mit der geographischen Nähe zum Markt in Zentral- und Nordeuropa auch in Bezug auf die Logistikkosten günstig gelegen sind.

Anders als in der Türkei, wo der dem Portfolio hinzugefügte Lieferant mit anderen Standorten in Europa bereits Erfahrung in der Turmproduktion gesammelt hat, wurde ein solcher Lieferant in Osteuropa nicht identifiziert. Aus diesem Grund wird eine geringe Startkapazität von minimal 10 und maximal 20 Türmen angesetzt und das Turmportfolio auf nur eine Variante in der 100-Meter-Ausführung festgelegt. Der Standort ist im Norden Polens direkt an der Ostsee logistisch sehr günstig gelegen und das Preisniveau der Wertschöpfung liegt noch unter dem der Wettbewerber in Südeuropa. Die Kernbelieferungszone zielt insbesondere auf das Stammgebiet des dänischen Lieferanten ab, weshalb dessen Kapazität in dieser Fallstudie entsprechend abgesenkt wird.

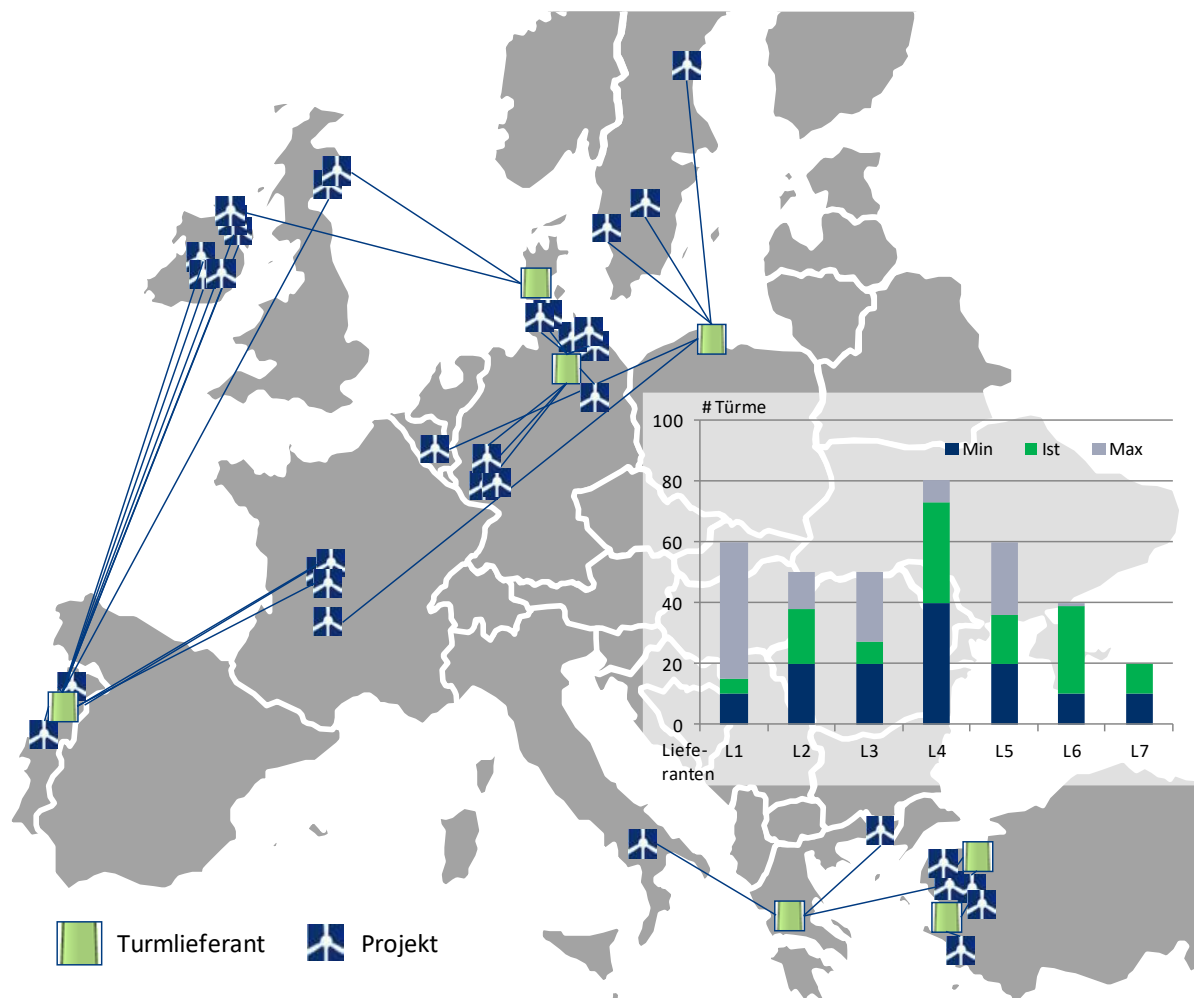


Abbildung 46: Optimierte Auftragszuordnung bei angepasster Kapazität II

Quelle: Eigene Darstellung

Das Ergebnis der Optimierung zeigt genau die erwarteten Effekte. Der neue Lieferant übernimmt die schwedischen, das belgische sowie das französische Projekt vom dänischen Lieferanten, während die Zuordnung aller anderen Lieferanten unverändert

bleibt. Aufgrund der günstigen Komponenten- und Logistikkosten wird die maximale Kapazität von 20 Einheiten vollständig abgerufen. Nach den qualitativen werden nun die quantitativen Effekte der drei dargestellten Optimierungsszenarien im folgenden Abschnitt näher beleuchtet.

6.4 Zusammenfassung der Optimierungsergebnisse

Neben den beschriebenen qualitativen Effekten zählen in der Praxis insbesondere die quantitativen Resultate in der Ergebnisbewertung. Aufgrund der beschriebenen Herausforderungen bei der Integration der Risikokosten in die Optimierungsszenarien der Fallstudie und der Konzentration einer Forschungshypothese auf die Logistikkosten wurden verschiedene Kennzahlen zur Ergebnisdarstellung erarbeitet.

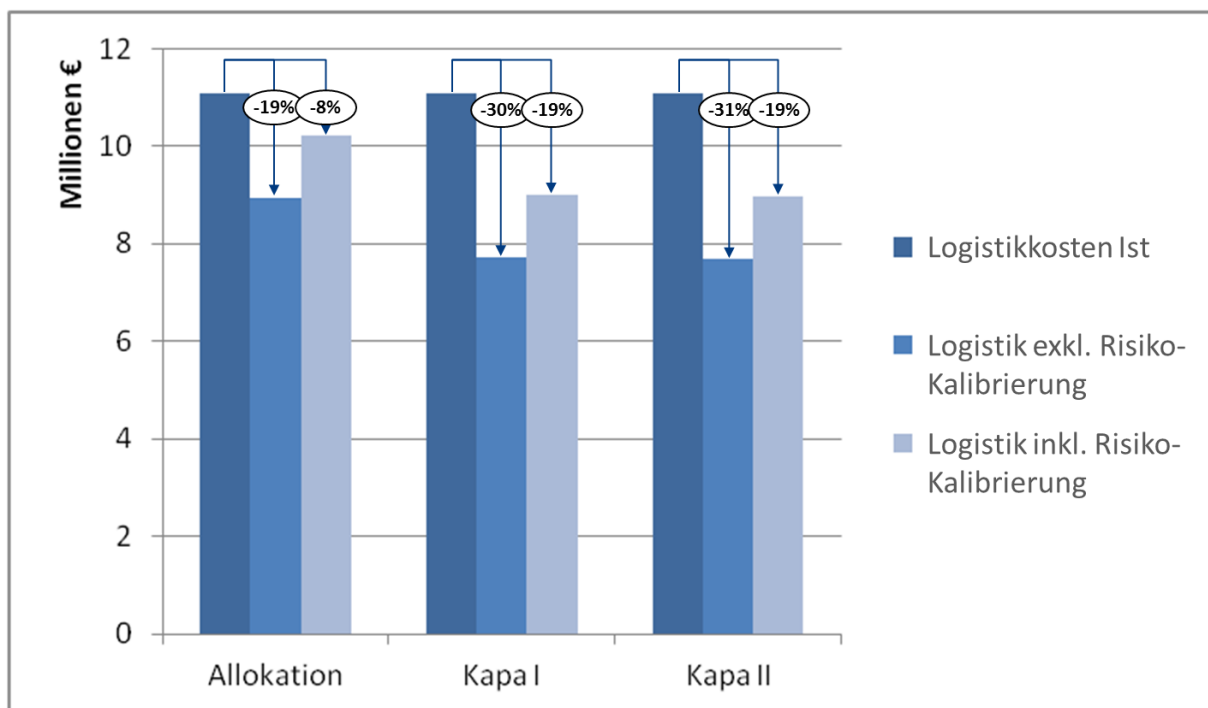


Abbildung 47: Logistikkosteneffekte nach Szenarien und Risikokostenkalibrierung

Quelle: Eigene Darstellung

Zunächst werden die Effekte auf die Logistikkosten entlang der *Abbildung 47: Logistikkosteneffekte nach Szenarien und Risikokosten* beschrieben. Auf der horizontalen Achse der Graphik sind die verschiedenen Szenarien mit der reinen Zuordnungsoptimierung in Szenario *Zuordnung*, der Optimierung der geographischen Kapazitätsverteilung in Szenario *Kapa I*, sowie der Integration von Kapazität zu günstigeren Wertschöpfungskosten in Szenario *Kapa II* abgetragen. Die in Abschnitt 6.2.2 *Kalibrieren der Risikokosten* definierte Systematik zur Kalibrierung der Risikokosten

führt, neben den Ist-Logistikkosten, zu einer Unterscheidung in die Logistikkosteneffekte exklusive und inklusive dieser Kalibrierung. Die Kalibrierung der Risikokosten führt, wie in der Graphik leicht abzulesen ist, zu strukturell höheren Kostenpositionen der Optimierungsszenarien im Vergleich zu den Ergebnissen ohne Kalibrierung. Die Hintergründe dazu werden wiederum entlang der Systematik im Abschnitt zur Kostenbewertung erläutert.

Die Ergebnisse ohne die Risikokostenkalibrierung sind nur von eingeschränkter Aussagekraft, sollen hier aber als relevante Rechengröße nicht unerwähnt bleiben. Die entscheidende Aussage wird indes über die kalibrierten Werte gegeben. So können die Logistikkosten in Höhe von 11 Millionen Euro in der Ist-Situation durch die mathematische Optimierung im reinen Zuordnungsszenario bereits um 8% oder knapp eine Million Euro reduziert werden. Das Hinzufügen der Kapazität in der Türkei im Szenario *Kapa I* verbessert die Ergebnisposition um weitere knapp 11 Prozentpunkte auf ein Potential von gut zwei Millionen Euro. Die günstige Lage des polnischen Lieferanten bezüglich der Vorlaufkosten zum Hafen und der Distanz zu den schwedischen Projekten reduziert die Logistikkosten um ein weiteres zehntel Prozent auf ein Gesamtpotential bei den Logistikkosten von insgesamt 18,9%.

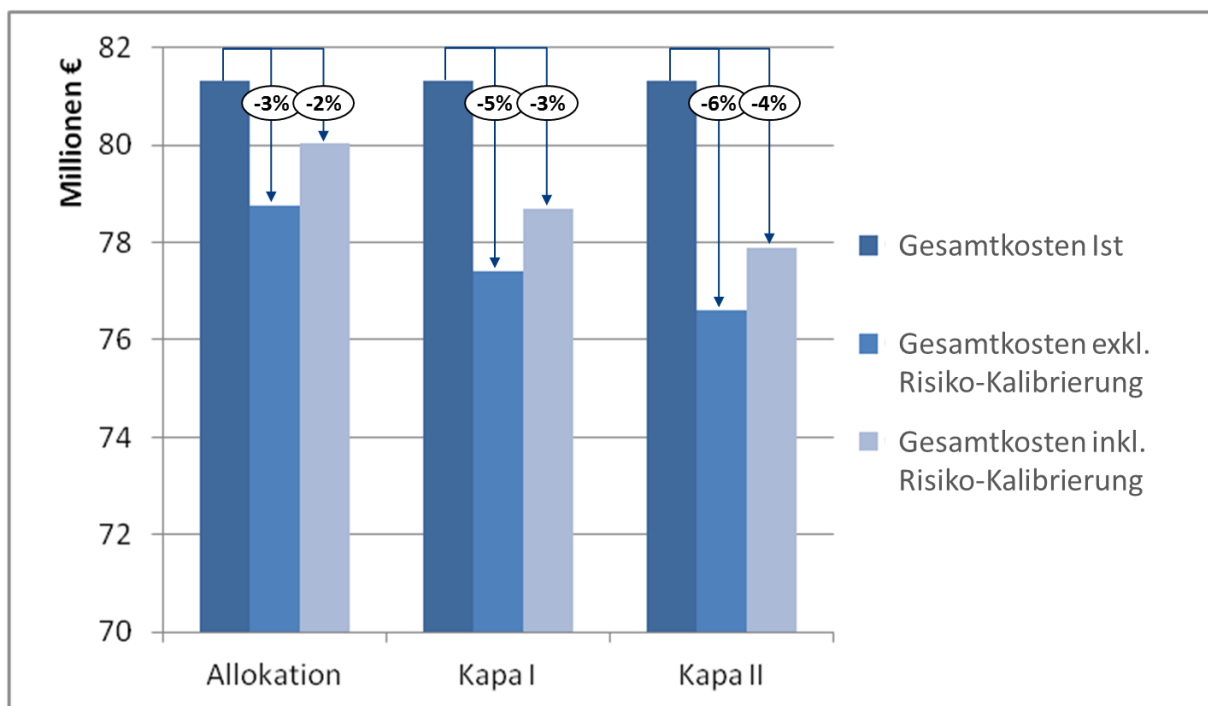


Abbildung 48: Gesamtkosteneffekte nach Szenarien und Risikokostenkalibrierung

Quelle: Eigene Darstellung

Nachdem die Resultate in Bezug auf die Logistikkosten vorliegen, muss nun geprüft werden, wie sich die Optimierungen auf die Gesamtkosten auswirken. Dazu wurde in *Abbildung 48: Gesamtkosteneffekte nach Szenarien und Risikokosten* die gleiche Darstellungsform gewählt wie zuvor bei den Logistikkosten. Diese sind, neben den Komponentenkosten, Bestandteil der bewerteten Gesamtkosten, wobei die Risikokostenkalibrierung entsprechend der erwähnten Systematik wiederum über die Logistikkosten enthalten ist.

Zunächst fällt auf, dass die prozentualen Unterschiede zwischen den einzelnen Säulen und Szenarien weniger deutlich ausfällt als bei den Logistikkosten. Dabei ist zu beachten, dass die Gesamtkosteneffekte ungleich größer sind, da über den Total Landed Cost Ansatz nicht nur in Bezug auf die Logistikkosten, sondern unter Berücksichtigung der Einkaufskosten die Gesamtkosten optimiert werden. So werden dem Logistikkostenpotential im *Zuordnungsszenario* weitere 0,5 Millionen Euro Potential über die Komponentenkosten hinzugefügt. Dabei wurden weder die Lieferanten noch deren Komponentenkosten verändert, sondern lediglich deren Zuordnung optimiert. Im Szenario *Kapa I* steigt das Gesamtkostenpotential auf gut 3% an, wobei der Treiber die Logistikkosten sind. Das ändert sich zum Szenario *Kapa II* mit der Integration des polnischen Lieferanten in das Lieferantenportfolio mit insgesamt 4,2% oder knapp 3,5 Millionen Euro Kostenreduzierung in der Bewertung inklusive Kalibrierung der Risikokosten.

6.5 Bewertung und Validierung der Risikokosten

Die Risikokosten als Bestandteil der Total Landed Cost konnten, wie in Abschnitt 6.2 *Modellaufbau und formale Validierung* beschrieben, in der Fallstudie nicht exakt berücksichtigt werden, da eine Buchungssystematik zur Generierung der benötigten Daten im Zeitraum der Ist-Situation nicht existierte. Um die Anwendbarkeit der Risikokostenposition zu beurteilen, wird das entwickelte Instrument zur Risikokostenprognose in diesem Abschnitt auf Basis der vorliegenden Daten aus der Ist-Situation angewendet.

In *Abbildung 42: Beispiele aus der Fallstudien-Stichprobe (Ist-Situation) für die Projektbewertung* exklusive und inklusive Risikokosten wurden die Risikokosten für verschiedene Konstellationen aus der Differenz der Ist-Logistikkosten und Plan-Logistikkosten hergeleitet. Für die Bewertung der Methode wurden die Differenzen gleicher Lieferanten indes gleich null gesetzt. Von diesem Prinzip wird in diesem Ab-

schnitt abgewichen. Im Gegenteil werden hier nicht abweichende Zuordnungen untersucht, sondern für die in der Ist-Situation bestehenden Zuordnungen die entsprechenden Plan-Logistikkosten bewertet, um theoretische Risikokosten für eben diese Konstellationen zu generieren.

Dieses Vorgehen wurde für eine Auswahl an Lieferanten entlang der in Abschnitt 5.2.1.3 *Risikokosten* definierten Methode zur Prognose der Risikokosten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in *Abbildung 49: Verlauf der Risikokosten und ihrer Prognose verschiedener Lieferanten je Windenergieanlage* dargestellt und werden weiterführend diskutiert.

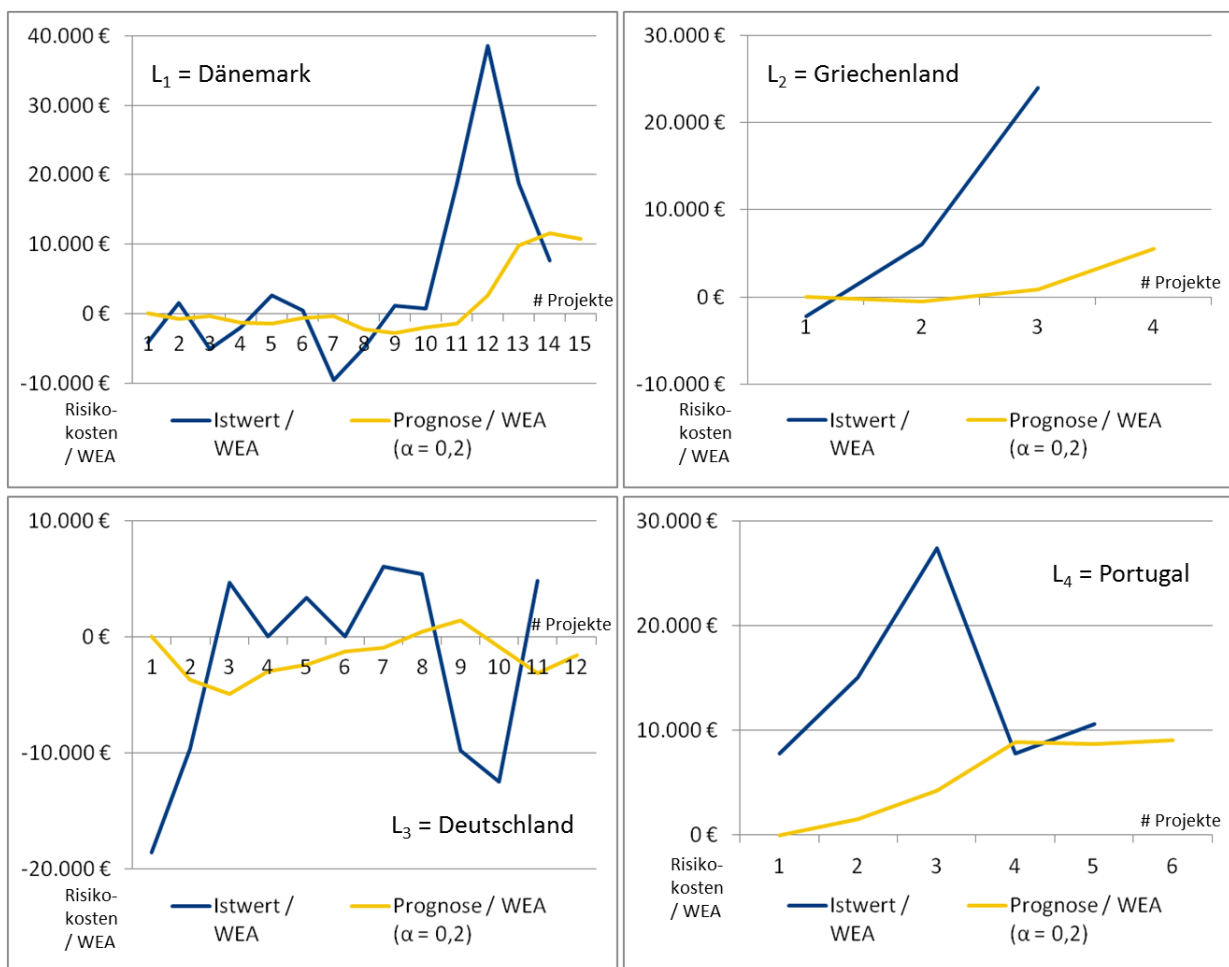


Abbildung 49: Verlauf der Risikokosten und ihrer Prognose verschiedener Lieferanten je Windenergieanlage
Quelle: Eigene Darstellung

Bei Betrachtung der verschiedenen Graphiken fällt zunächst auf, dass sowohl bei den Ist-Risikokosten, als auch bei den Prognosen, negative Werte auftreten. Dies ist dem eingangs des Abschnitts beschriebenen Verfahren zur Herleitung der Risikokos-

ten geschuldet und würde bei entsprechender Anwendung der definierten Methode nicht auftreten. Um ein möglichst einfach nachvollziehbares und unverfälschtes Bild der Risikokostenbewertung zu ermöglichen, wurde auf Eingriffe wie dem „Nullsetzen“ negativer Werte oder ähnlichen Kalibrierungen bewusst verzichtet.

Auf der horizontalen Achse der Graphiken ist die Anzahl der Windparkbelieferungen abgetragen und auf der vertikalen Achse die Höhe der bewerteten bzw. prognostizierten, Risikokosten. Der Lieferant L₁ hat demnach 14 Windparks beliefert und der Prognosewert für Periode 15 beträgt gut 10.000€ pro Turm oder Windenergieanlage. Dieser über den Zeitverlauf vergleichsweise hohe Prognosewert liegt in den hohen Risikokosten bei der Belieferung des Windparks in Periode zwölf begründet, bei dem pro Anlage fast 40.000€ Risikokosten angefallen sind.

Der deutsche Lieferant L₃ hat ähnlich viele Windparks beliefert und schwankt in der Prognose trotz verschiedener Ausreißer bis hin zu knapp 20.000€ recht nah um die Nulllinie. Für die Lieferanten L₂ und L₄ liegen jeweils kleinere Stichprobenumfänge vor. Während der griechische Lieferant sehr unterschiedliche Risikokosten je Projekt ausweist, liegt der portugiesische Lieferant konstant mit mindestens 10.000€ je Anlage über den Plankosten, was sich in der Prognose der Risikokosten widerspiegelt.

Aus den Verläufen ergibt sich nun die Frage, welchen Effekt die Risikokosten auf die beschriebenen Optimierungsergebnisse hätten haben können. Dabei ist speziell der Kostenunterschied von der günstigsten zur zweitgünstigsten Zuordnungskonstellation zu untersuchen, da insbesondere hier die Entscheidungen getroffen werden. Da sich die Prognosewerte in den beschriebenen Fällen zumeist bis maximal 15.000€ bewegen, wurden die Kostenunterschiede bei den Zuordnungskonstellationen in verschiedene Kategorien eingeteilt, deren Anteil in der *Abbildung 50: Kostendifferenz aus Logistik- und Komponentenkosten zwischen der günstigsten und zweitgünstigsten Auftragszuordnungskonstellation* dargestellt ist.

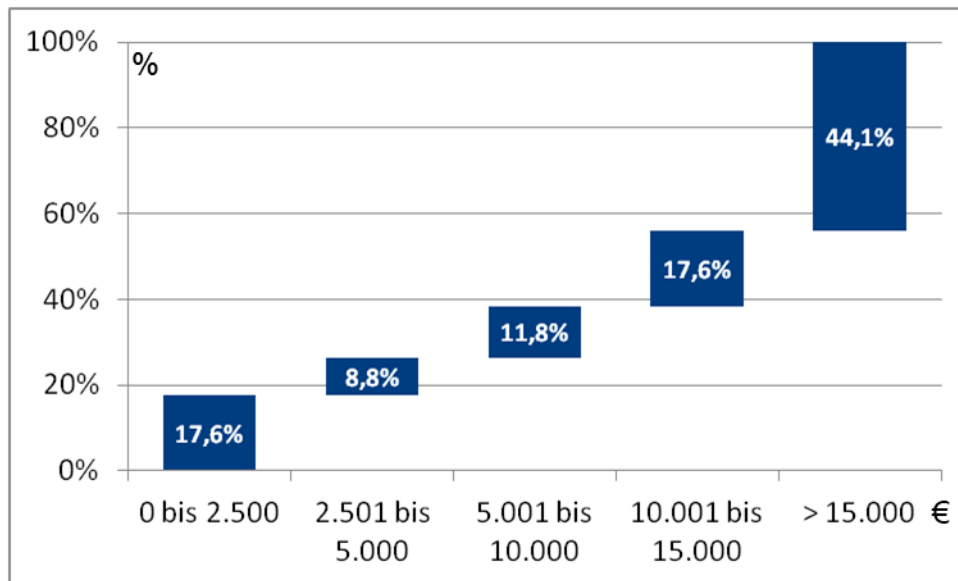


Abbildung 50: Kostendifferenz aus Logistik- und Komponentenkosten zwischen der günstigsten und zweitgünstigsten Auftragszuordnungskonstellation

Quelle: Eigene Darstellung

Aus der Aufstellung wird ersichtlich, dass eine risikokostenbedingte Kostenveränderung von bis zu 2.500€ bei 17,6% aller Windparkprojekte zu einer abweichenden optimalen Zuordnung geführt hätte. Fügt man die Kategorie bis 5.000€ hinzu, betrifft dies gut 25% und bis 10.000€ können bei fast 40% der Projekte andere Auftragszuordnungen günstiger sein. Das muss aber nicht zwangsläufig so sein, da weiterhin die Restriktionen aus Verfügbarkeit der Gesamtkapazität und des monatlichen Produktionsvolumens des Lieferanten erfüllt sein müssen.

Zusammenfassend bedeutet dieses Ergebnis zunächst, dass auch bei kleinen Stichprobenumfängen sinnvolle Risikokostenprognosen erzielt werden können. Sinnvoll bedeutet an der Stelle, dass die Höhe der prognostizierten Risikokosten ein relevantes Element der Total Landed Cost sind, da sie Auftragszuordnungen maßgeblich beeinflussen können. Gleichzeitig stellt ihre Höhe kein Ausschlusskriterium für die Möglichkeit der Auftragszuordnung eines Lieferanten dar, solange dieser keine strukturell ausufernden Risikokosten verursacht. Bei knappen Entscheidungen können sie aber das Zünglein an der Waage sein, welches die Lieferanten nachhaltig zu einem ausgewogenen Risikomanagement bewegen kann.

6.6 Anwendbarkeit der Methode in alternativen Bereichen

Die Anwendung der Methodik in einer Fallstudie für die Komponente Turm in der Windenergiebranche ist aus verschiedenen Gründen eine ideale Konstellation. Zunächst handelt es sich um ein strategisches Projektnetzwerk, das sich durch seine zentrale Koordination durch das absatzseitig dominierende Unternehmen auszeichnet, gepaart mit einer ausreichend großen Anzahl an Lieferanten für Komponenten, die nicht per Standardtransportmittel zu den sich projektbedingt verändernden Projektstandorten gebracht werden können. Die ausreichend große Anzahl an Lieferanten ist dabei jedoch kein absolut notwendiger Faktor, die Komplexität der Auftragszuordnungsoptimierung kann schon bei zwei Quellen und einer Handvoll Projekte unter Berücksichtigung der in *5.2.3.1 Supply Chain Scheduling* genannten Restriktionen eine manuelle Zuordnung überfordern.

Diese Konstellation trifft in der Windenergiebranche so für die Komponente Flügel zu, nämlich in der Regel mit einer eingeschränkteren Anzahl an Lieferanten und einem erhöhten Eigenfertigungsanteil. Hintergrund dabei ist – wie in Abschnitt 3.2 *Die Supply Chain in der Windenergiebranche* beschrieben – die Relevanz der Flügeltechnologie wie die Geometrie und das verarbeitete Material für die Anlageneffizienz.

Ein weiteres Beispiel für die Verallgemeinerbarkeit der Methode in derselben Branche ist die Komponente Ankerkorb – dem Fundament einer Windenergieanlage. Strukturell ist diese vergleichbar mit dem Turm im Sinne einer verhältnismäßig einfach verfügbaren Technologie mit einer nochmals größeren Anzahl an Anbietern als beim Turm selbst. Der Unterschied liegt indes darin, dass der Ankerkorb eine standardtransportmittelfähige Komponente ist und die Logistikkostenbewertung somit keiner spezifischen Methodik bedarf und auch die Risikoexposition geringer ist.

Neben der Onshore-Windenergie ließe sich die Methode weitgehend ebenso im Offshore-Sektor einsetzen, mit dem Unterschied einer kleineren Anzahl an Windparks mit meist deutlich größeren Anlagenzahlen und sehr spezifischen Anforderungen bei der Errichtung zu Wasser.

Außerhalb der Windenergiebranche bleibt der Energiesektor – und dabei speziell die erneuerbaren Energien – ein relevantes Anwendungsgebiet. Zunächst lassen sich Solarfelder anführen, dabei jedoch weniger die bekannteren Photovoltaikanlagen,

denn eher Solarturm-Kraftwerke mit den großen Hauptkomponenten Solarturm und Dampfturbine zur Stromerzeugung.

Von diesem Beispiel ausgehend lässt sich weiterhin der Kraftwerksbau allgemein mit seinen verschiedenen Großkomponenten nennen. Daneben Chemieanlagen, Hüttenwerke zur Metallverarbeitung oder Presswerke. Also allgemeiner gesagt der Schwerindustrie oder überall dort, wo an unterschiedlichen Orten große Komponenten verbaut werden, die von unterschiedlichen Herstellern bezogen werden können. Diese Beispiele sind im Vergleich ihrer Häufigkeit zur Errichtung von kleineren Windparks jedoch seltener und weisen unter Umständen keine so deutliche absatzseitige Dominanz auf – entsprechen also eher dem typischen Projektnetzwerk.

6.7 Evaluierung der Methode und der enthaltenen Modelle

Nachdem die Methode und die enthaltenen Modelle im Rahmen einer Fallstudie angewendet wurden, sollen sie zum Abschluss anhand der in Abschnitt 2.2.4.3 *Aspekte und Kriterien zur Methoden- und Modellevaluierung* definierten Bewertungsaspekte und -kriterien evaluiert werden.

Im vorhergehenden Abschnitt wurde die Anwendbarkeit der Methode in alternativen Bereichen thematisiert. Zusammenfassend kann die Verallgemeinerbarkeit insbesondere auf alternative Komponenten innerhalb der Windenergiebranche bestätigt werden. Auch außerhalb der Windenergie, weiterhin jedoch speziell in den Bereichen der erneuerbaren sowie konventionellen Energieerzeugung, kann die entwickelte Methode mit verhältnismäßig geringem Anpassungsaufwand angewendet werden.

Die Gültigkeit der Methode und enthaltenen Modelle in Bezug auf Verhalten und Zweck kann bestätigt werden. Das Verhalten, die Bewertung und Optimierung der Auftragszuordnung, erfüllt den Zweck, die Kosten zu senken und die Marge zu erhöhen. Die formale Gültigkeit und Validität der Methode, insbesondere mit Blick auf die Risikokosten, kann im Rahmen der Fallstudie nur eingeschränkt bestätigt werden. Um diesen Aspekt vollständig zu validieren, bedarf es aus den in Abschnitt 6.2 *Modellaufbau* und formale Validierung beschriebenen Gründen der realen Anwendung in einem Unternehmen. Mit der Kalibrierung der Risikokosten in den Logistikkosten wurde eine Datenbasis geschaffen, die eine sinnvolle Optimierung zulässt. Die Methodik zur Bewertung der Risikokosten wurde in Abschnitt 6.5 *Bewertung und Validierung der Risikokosten* separat bewertet und validiert.

Bewertungsaspekt	Bewertungskriterien	Bewertung
Problemdefinition	Verallgemeinerbarkeit	✓
Gültigkeit (Validität)	Formal (Daten), empirisch (Struktur / Verhalten), pragmatisch (Zweck)	(✓)
Lösungsmächtigkeit (Effektivität)	Lösungswahrscheinlichkeit, Lösungsqualität	✓
Lösungsaufwand (Effizienz)	Datenversorgung, Implementierungs- und Betriebsaufwand	(✓)
Benutzbarkeit	Anwendungsfreundlichkeit, Verständlichkeit	(✓)

Abbildung 51: Evaluierung der Methode anhand definierter Bewertungsaspekte und -kriterien
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Meißner (2006)

Die Lösungsmächtigkeit oder Effizienz der Methode wird, wie in *Abbildung 51: Evaluierung der Methode anhand definierter Bewertungsaspekte und -kriterien* abgebildet, vollständig bestätigt. Grund sind die in Abschnitt 6.4 *Zusammenfassung der Optimierungsergebnisse* sowie Abschnitt 6.5 *Bewertung und Validierung* der Risikokosten dargestellten Ergebnisse der Fallstudie, welche die Lösungswahrscheinlichkeit bei guter Lösungsqualität darstellen.

Die Effizienz der Methode im Sinne einer Aufwand-Nutzen-Bewertung kann nicht vollständig bestätigt werden. Während die benötigten Daten grundsätzlich in jedem Unternehmen als Kosten vorliegen, bedarf es einer umfassenden Kategorisierung der relevanten Kosten. Das schlägt sich als Implementierungsaufwand in Form von Schulung und Anleitung der entsprechenden Mitarbeiter wider. Der Betriebsaufwand hingegen ist für jeden Beteiligten bewusst gering gehalten. Auch die Laufzeit der Optimierung beträgt bei gegebenem Stichprobenumfang nur zwischen 2 und 3 Minuten. Der Aufbau des Optimierungsmodells wurde im Rahmen der Fallstudie manuell vorgenommen, könnte bei wiederholter Anwendung aber automatisiert werden. In Summe werden mit der Bewertung von Komponenten, Logistik- und Risikokosten sowie deren Minimierung anhand der Auftragszuordnungsoptimierung und benötigter Vereinbarungen mit Lieferanten jedoch eine nicht unerhebliche Anzahl neuer Prozessschritte geschaffen.

Aus ganz ähnlichen Gründen wird auch der Aspekt der Benutzbarkeit nur eingeschränkt bestätigt. Zwar kann die Anwenderfreundlichkeit aufgrund eines überschau-

baren Umfangs an Eingabeparametern und Ausgabegrößen je Prozessschritt als gegeben bestimmt werden. Die Summe der Aspekte und Wirkgrößen auf das Optimierungsergebnis ist jedoch durchaus komplex, weshalb ein umfassendes Verständnis potentiell erst mit einiger Anwendungserfahrung einhergeht.

7 Schlussbetrachtung

Ziel dieses abschließenden Kapitels ist es, die Ergebnisse aus der Methodenentwicklung und deren Anwendung zusammenzufassen und mit den Hypothesen und Zielen aus der Einleitung zu vergleichen. Im Anschluss daran werden die Limitation der Untersuchung und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ausgehend vom zunehmenden Wettbewerb in der Windenergiebranche sehen sich die Anlagenhersteller mit der Situation konfrontiert, die Durchlaufzeit von der Beauftragung bis zur Errichtung ihrer Windparks verkürzen und dabei gleichzeitig Kosten reduzieren zu müssen. Diese Faktoren treiben die Notwendigkeit von leistungsfähigen aber schlanken Prozessen zur Bewertung und Optimierung der Auftragszuordnung für die Belieferung der Windparks mit Großkomponenten. Dabei dürfen die Risikobewertung und das Risikomanagement nicht außer Acht gelassen werden, um die Qualität der Komponenten und die vertragskonforme Errichtung ganzer Windparks nicht zu gefährden und schließlich eine effektive Gesamtkostenreduzierung zu erzielen.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit lag daher in der Entwicklung einer Methodik zur Optimierung der Auftragszuordnung in strategischen Projektnetzwerken unter Berücksichtigung von Risiken. Dabei wurden die spezifischen Anforderungen aus den Netzwerken zur Windparkbelieferung in der Windenergiebranche in Europa berücksichtigt.

In der Betrachtung der theoretischen Grundlagen konnte für die vielfältigen Anforderungen aus der Zielsetzung eine solide Ausgangssituation abgeleitet werden. Das Risikomanagement bietet einen Prozess zur Identifizierung und Bewertung von Risiken, um diese zu steuern. Modelle aus der Ablaufplanung im Rahmen des Produktionsmanagements legen die Grundlagen für die mathematische Zuordnungsoptimierung. Außerdem konnten Grundlagen zu den Eigenschaften von Produktionsnetzwerken aus dieser Disziplin entnommen werden. Das Supply Chain Management als evolutionäre Weiterentwicklung des Produktionsmanagements bietet mit dem Supply Chain Design, Planning, Operations, Scheduling und Controlling dann die benötigte

Prozesslandschaft, um diese Netzwerke organisatorisch optimal auszugestalten und zu betreiben. Auch die Grundlagen aus dem Risikomanagement werden auf die Anforderungen in Produktionsnetzwerken hin ausgerichtet. Abschließend legt der Methodenrahmen der Total Landed Cost mit den Bestandteilen der Komponenten-, Logistik- und Risikokosten die Basis für die zielkonforme Ausgestaltung der Gesamtkosten und gleichzeitig die Überleitung zum Stand der Technik.

Bei der Untersuchung des Stands der Forschung wurden Arbeiten im Bereich von Total Landed Cost Modellen recherchiert und analysiert, die idealerweise auch die Bewertung oder das Management von Risiken beinhalten. Dabei wurde festgestellt, dass in bestehenden Arbeiten im Bereich Total Landed Cost lang- oder mittelfristig angelegte Wertschöpfungsnetzwerke bewertet werden. Zudem handelt es sich bei der ausführenden Logistik um weitgehend standardisierte Transportketten, die in ihrer Komplexität am ehesten durch ihren häufig globalen Charakter geprägt sind. Für den geforderten Reifegrad des Risikomanagements, den geringen Standardisierungsgrad der Logistik in der Windenergiebranche, sowie für den kurzfristigen Projektcharakter der implizierten Belieferungsnetzwerke, konnte keine adäquate Lösung in den untersuchten Forschungsarbeiten identifiziert werden.

Aus diesem Grund wurde eine Methode entwickelt, die unter Anwendung von Elementen der Total Landed Cost und des Supply Chain Management eine Minimierung der Gesamtkosten aus Komponenten-, Logistik- und Risikokosten ermöglicht. Dazu werden in den drei Ebenen Bewertung, Planung und Optimierung die folgenden Bestandteile den Teilzielen dieser Arbeit entsprechend entwickelt:

- TZ1) Struktur zur Prognose der potentiellen Komponentenkosten je Lieferant.
- TZ2) Systematik zur Bewertung der potentiellen Logistikkosten zur Belieferung jedes Windparks durch jeden Lieferanten.
- TZ3) Statistisches Instrument basierend auf kleinen Stichproben zur Prognose von lieferantenspezifischen Risikokosten.
- TZ4/5) Entlang eines rollierenden Planungsprozesses (TZ5) erfolgt dann die konkrete Bewertung aller Lieferanten-Windpark-Konstellationen. Diese Datenbasis ist die Grundlage für das mathematische Optimierungsmodell (TZ4), welches als Ergebnis eine Zuordnungskonstellation mit minimalen Gesamtkosten un-

ter Berücksichtigung der definierten Restriktionen ausgibt. Diese kann im Falle der Beauftragung des Anlagenherstellers zur Errichtung eines Windparks als Handlungsanweisung für die ausführenden Organe der Organisation genutzt werden. Abschließend werden die Kosten zur Belieferung des jeweiligen Windparks in den definierten Datenmodellen gepflegt, um kontinuierlich adäquate Ergebnisse in der Bewertung der Logistik- und Risikokosten zu gewährleisten.

- TZ6) Über die Optimierung der Ist-Situation basierend auf Vergangenheitsdaten hinaus wurde ein auf die Bedürfnisse in der Windenergiebranche zugeschnittener Supply Chain Design Prozess entwickelt. Vom mathematischen Modell der Ist-Situation ausgehend und durch Hinzufügen von Informationen über die prognostizierte geographische und technologische Marktentwicklung, kann das Lieferantenportfolio pro-aktiv auf zukünftige Bedarfe hin angepasst werden. Die Kosten der resultierenden strategischen Projektnetzwerke werden damit strukturell optimiert.

Die einzelnen Teilziele wurden somit vollständig abgearbeitet und die forschungsleitende Frage, wie die Kosten verschiedener Auftragszuordnungsvarianten bewertet und über die Summe aller Aufträge optimale Auftragszuordnungen bestimmt und realisiert werden können, wurde entsprechend der vorab zusammengefassten Methode beantwortet. Nun ist es interessant zu bewerten, ob oder in welchem Umfang die postulierten forschungsleitenden Hypothesen verifiziert werden konnten.

- H1) Zunächst ist zu prüfen, ob eine strukturierte Bewertung der Komponenten-, Logistik- und Risikokosten gelingt. Dazu wurden Instrumente zur Bewertung der zukünftigen Komponentenkosten basierend auf einem Wertschöpfungs- und einem Materialkostenbestandteil entwickelt. Gleiches gilt für die Bestimmung der potentiellen Schwertransportlogistikkosten in den Netzwerken zur Windparkbelieferung. Darüber hinaus wurden Systematiken zur Prognose von lieferantenspezifischen Risikokosten basierend auf kleinen Stichproben konzeptioniert. Dadurch wurden die drei geforderten Kostenarten methodisch strukturiert bewertet. Darauf aufbauend kann die Auftragszuordnung anhand eines mathematischen Modells zur Minimierung der Total Landed Cost in den strategischen Projektnetzwerken der Windenergiebranche optimiert werden.

- H2) Des Weiteren wurde ein standardisierter Prozess ausgestaltet, der, aufgrund der weitgehenden Automatisierung, die Anwendung der Methodik mit geringem Aufwand ermöglicht. Der Erfüllung dieser Hypothese widmet sich der Planungsabschnitt der entwickelten Methode. Durch die klare Benennung der zentralen Verantwortlichkeiten und der Meilensteine für die rollierend ausgestaltete Abfolge der Auswahl, Bewertung, Optimierung und Entscheidung kann die Methode in gegebene Strukturen integriert und voraussichtlich mit überschaubaren Änderungsprozessen im Unternehmen implementiert werden. Dabei wurden die Inhalte und die zeitliche Integration eines auf die Bedürfnisse der Windenergiebranche zugeschnittenen Supply Chain Design Prozesses ausgearbeitet, welche allgemein für absatzseitig dominierende Unternehmen in strategischen Projektnetzwerken gelten können.
- H3) Die Reduzierung der Logistikkosten um bis zu 20% in der dritten Hypothese kann basierend auf den Erkenntnissen in Abschnitt *6.4 Zusammenfassung der Optimierungsergebnisse* bestätigt werden. Es muss aber einschränkend hinzugefügt werden, dass sich diese Hypothese auf den Aspekt der Zuordnungsoptimierung konzentriert. Ohne den umfassenden Ansatz der gleichzeitigen Betrachtung der Einkaufs-, Logistik- und Risikokosten und der Anwendung eines umklammernden Supply Chain Design Prozesses, fallen die Ergebnisse in Bezug auf die Logistikkosten mit 8% zwar deutlich geringer aus. Eine Gesamtkostenreduzierung in Höhe von bis zu 4%, ohne Berücksichtigung möglicher positiver Risikokosteneffekte, hat aber abschließend einen deutlich positiven Effekt auf die Marge von Windparks und damit auf die Wettbewerbsfähigkeit der anwendenden Hersteller.

7.2 Limitationen der Untersuchung und weiterer Forschungsbedarf

Bedingt durch die Ausrichtung dieser Arbeit konnten verschiedene angrenzende Fragestellungen und Aspekte der breiten Grundlagenbasis zum Trotz nicht abschließend bearbeitet werden. Darüber hinaus haben sich im Zuge der Bearbeitung Handlungsfelder erschlossen, deren Betrachtung im Kontext der vorliegenden Arbeit zu weiteren nutzbringenden Erkenntnissen führen kann.

Zuerst ist die vollständige Implementierung der Methode in einem Unternehmen zu nennen, die die Integration der Risikokostenbewertung, inklusive ihrer Kommunikation nach extern an die Lieferanten, beinhaltet. Dies ist notwendig, um im Rahmen

einer Fallstudie aussagefähige Ergebnisse über die Funktionalität und die Auswirkung der Risikokostenintegration in die Total Landed Cost auf die Auftragsvergabe-prozesse in Unternehmen der Windenergiebranche zu erhalten.

Diesen Aspekt weiter vertiefend wären, auch auf Basis der geschaffenen Transparenz über die lieferanteninduzierten Risikokosten, verschiedene anschließende Schritte in der Vertragsgestaltung mit Lieferanten und der Definition möglicher Pönalen denkbar. Auch die definierten „kapazitativen Leitplanken“ könnten an die Höhe der Risikokostenprognose für einen Lieferanten gekoppelt werden, um bei besonders guter oder schlechter Leistung entsprechend mehr oder weniger Auftragsvolumen zuordnen zu können, als ursprünglich vereinbart.

Im diesem Kontext wurde in Abschnitt 5.2.2.2 *Supply Chain Planning* eine Vertiefung hinsichtlich der Auswahl der sich im Vertriebsprozess befindlichen potentiellen Projekte in die Auftragszuordnungsoptimierung diskutiert, jedoch nicht inhaltlich entwickelt. Eine empirische Untersuchung hinsichtlich der Anzahl integrierter verlorener Projekte im Vergleich zu nicht integrierten Projekten, die überraschend gewonnen wurden, würde die Resultate der entwickelten Methode indes weiter verbessern.

Die Hypothese bezüglich des Einflusses der Methode auf die Marge der anwendenden Windenergieanlagenhersteller wurde bislang ausschließlich direkt über den Aspekt der Kostenreduzierung betrachtet. Die Integration der kontinuierlich verfügbaren und adäquaten Kostendaten in der Vertriebsphase von Windparkprojekten würde den häufig pauschalen Risikoaufschlag womöglich reduzieren und sich somit positiv auf die Chancen eines Vertriebs Erfolgs auswirken. Ähnlich verhält es sich mit der kapazitativen Absicherung der Komponente Turm. Ein Vertriebler, der sich sicher sein kann, dass er im kundenseitig geforderten Zeitrahmen lieferfähig ist, kann im Angebotsprozess viel überzeugender auftreten. Ein erhöhter Vertriebs Erfolg wäre die logische Konsequenz.

Weiterhin handelt es sich, wie in Kapitel 2.2.7 *Supply Chain Risikomanagement* beschrieben, um einen Ansatz mit Supply Chain Orientierung. Anhand eines intensivierten Informationsaustauschs über erwartete Bedarfe des Herstellers und verfügbare Kapazitäten des Lieferanten, wie er im dyadischen Supply Chain Risikomanagement vorliegt, könnte die Effizienz der definierten Prozesse gesteigert werden, da das Risiko von Iterationen im Prozess der Auftragsvergabe reduziert wird. Somit könnten in

kürzerer Zeit realistischere Optimierungsergebnisse erzeugt werden. Auf der anderen Seite handelt es sich sowohl bei den Bedarfen, als auch bei den verfügbaren Kapazitäten, um Prognosen, die einem kontinuierlichen Wandel unterliegen. In jedem Fall wäre es auch in einem übergeordneten Maßstab eine ausgesprochen spannende Forschungsfrage, ob und in welchem Ausmaß die Performance von Unternehmen in Projektnetzwerken durch einen dyadischen Supply Chain Risikomanagement Ansatz gesteigert werden kann.

Im Kontext der Netzwerktypisierung zur Windparkbelieferung in der Windenergiebranche orientieren sich der Methodenaufbau und die Ergebnisse im Rahmen der Fallstudie an den Strukturen in Europa. Obwohl die in Kapitel 3.2 *Die Supply Chain in der Windenergiebranche* dargestellte Wertschöpfungstiefe der Anlagenhersteller sowie die detailliert beschriebene Eigenart der Komponente Turm weltweit vergleichbare Netzwerkstrukturen erwarten lassen, kann dies im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend sichergestellt werden. Die Anwendung der Methode auf Fallstudien in Asien oder Nordamerika, als den Weltregionen mit entsprechender Relevanz und Reife der Windenergiebranche, bei jedoch potentiell abweichenden geographischen und geopolitischen Eigenschaften, könnte weitere Entwicklungsimpulse zur Folge haben.

Gleiches gilt für die Skalierung der Methode über die Windenergiebranche hinaus. Zwar sind laut Schuh, Gierth und Schiegg (2006, S. 93) Projektnetzwerke im Maschinen- und Anlagenbau häufig polyzentrisch und werden heterarchisch geführt, es liegen aber Fälle vor, in denen die Netzwerke, wie in der Windenergiebranche, absatzseitig dominiert sind. Die detaillierte Analyse der Herausforderungen in diesen Branchen, der Abgleich mit der Windenergiebranche und die adaptierte Anwendung der entwickelten Methode auf diese Projektnetzwerke ist ein offenes aber sehr aussichtsreich erscheinendes Forschungsfeld.

8 Literaturverzeichnis

Agnetis, A.; Hall, N. G.; Pacciarelli, D. (2006): *Supply chain scheduling: sequence coordination*, in: Discrete Applied Mathematics 154, S. 2044-2063.

Alicke, K. (2005): *Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Armstrong, J. S. (2001): *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*, Kluwer Academic Publishers: Boston.

Ashby, W. S., (1974): *Einführung in die Kybernetik*, 1. Aufl., Suhrkamp Verlag: Frankfurt am Main.

Balci, O. (1995): *Principles and techniques of simulation validation, verification, and testing*, in: Proceedings of the 27th conference on Winter simulation, Arlington, S. 147-154.

Balci, O.; Nance, R. E. (1985): *Formulated problem verification as an explicit requirement of model credibility*, in: Simulation, Vol. 45, Issue 2, S. 76-86.

Beckmann, H. (2004): *Supply-Chain-Management: Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Bensaou, M.; Venkatraman, N. (1995): *Configurations of Inter-Organizational Relationships: A Comparison between US and Japanese Automakers*, in: Management Science, Vol. 41, Issue 9, S. 1471-1492.

Bergener, R. F. (2006): *Gestaltung des leistungswirtschaftlichen Risikocontrollings: Eine theoretische und empirische Untersuchung*, Dissertation, München.

Bernstein, P. L. (1996): *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*, Wiley & Sons: Hoboken.

Bhattacharjee, A. (2001): *Understanding Information Systems Continuance: An Expectation-Confirmation Model*, in: MIS Quarterly, Vol. 25, Issue 3, S. 351-370.

Böger, M. (2010): *Gestaltungsansätze und Determinanten des Supply Chain Risk Managements*, Dissertation, Hamburg.

Bottler, S. (2011): *Jonglieren mit großen Teilen*, in: Verkehrsrundschau 37/2011, S. 32-33.

Braun, H. (1984): *Risikomanagement - Eine spezifische Controllingaufgabe*, Toeche-Mittler Verlag: Darmstadt.

BTM Consult (2005): *World Market update 2005*, in: RBSC (2009), S. 14.

BTM Consult (2006): *Supply Chain Assessment 2006*,
<http://www.btm.dk/reports/previous+reports/supply+chain+assessment+2006/?s=40>

BTM Consult (2008): *World Market update 2008*, in: RBSC (2009), S. 14.

BTM Consult (2011): *Supply Chain Assessment 2012-2015*, Navigant: Chicago.

Burger, A.; Buchhart, A. (2002): *Risiko-Controlling*, Oldenbourg Verlag: München, Wien.

Busch, A.; Dangelmaier, W. (2004): *Integriertes Supply Chain Management: Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Buse, H.-P.; Philippson, C.; Luczak, H.; Pfohl, H.Chr. (1996): *Organisation der Logistik*, in: Dangelmaier, W. (Hrsg.): *Vision Logistik: Logistik wandelbarer Produktionsnetze zur Auflösung ökonomisch-ökologischer Zielkonflikte*, Projektbericht FZKA-PFT 181, S. 13-35.

Chapman, P.; Christopher, M.; Juttner, U.; Peck, H.; Wilding, R. (2002): *Identifying and managing supply chain vulnerability*, in: *Logistics and Transportation Focus*, Vol. 4, Issue 4, S. 59-64.

Chopra, S.; Meindl, P. (2004): *Supply Chain Management – Strategy, Planning and Operations*, 2. Aufl., Pearson Education: London.

Christopher, M.; Peck, H. (2004): *Building the Resilient Supply Chain*, in: *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 15, Issue 2, S. 1-14.

Christopher, M. (2005): *Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-adding Networks*, Pearson Education: London.

Corsten, H. (2004): *Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*, Oldenbourg Verlag: München, Wien.

Corsten, D.; Gabriel, C. (2004): *Supply Chain Management erfolgreich umsetzen: Grundlagen, Realisierung und Fallstudien*, 2. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Corsten, H.; Gössinger, R. (2001): *Einführung in das Supply Chain Management*, Oldenbourg Verlag: München, Wien.

Czaja, L. (2009): *Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Dahmen, J. (2002): *Prozessorientiertes Risikomanagement zur Handhabung von Produktrisiken*, Dissertation, Aachen.

Dangelmaier, W. (2009): *Theorie der Produktionsplanung und -steuerung*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Degraeve, Z.; Roodhooft, F. (1996): *A mathematical programming approach for Supplier Selection using Activity Based Costing*, Forschungsbericht Nr. 9659, Katholieke Universiteit Leuven, Department of Applied Economic Sciences.

Diederichs, M. (2004): *Risikomanagement und Risikocontrolling*, Verlag Franz Vahlen: München.

Diederichs, R. (2002): *Supply Chain Management – Ein strategischer Stellhebel zum Unternehmenserfolg*, in: Supply Chain Quick Diagnostics, McKinsey Supply Chain Management Practice, Beilage zur Augustausgabe 2002 der Zeitschrift Logistik Heute.

DIN EN ISO 9241-11 (2016): *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*, Erscheinungsdatum: 12.09.2016.

Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S. (1993): *Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Dyckhoff, H.; Spengler, T. S. (2010): *Produktionswirtschaft – eine Einführung*, 3. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Eberlein, D.; Rettig, U. (2006): *Supply Chains in einer globalisierten Welt*, in: Fraunhofer Institut für Logistik und Materialflusstechnik (Hrsg.): *Software in der Logistik*, Huss-Verlag: München, S. 98-101.

Ellram, L. M. (1993): *Total Cost of Ownership: Elements and implementation*, in: *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol. 29, Issue 4, S. 3-11.

Ellram, L. M.; Siferd, S. P. (1993): *Purchasing: The Cornerstone of the Total Cost of Ownership Concept*, in: *Journal of Business Logistics*, Vol. 14, Issue 1, S. 163-184.

Ellram, L. M.; Siferd, S. P. (1998): *Total Cost of Ownership: A Key Concept in Strategic Cost Management Decisions*, in: *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, Issue 1, S. 55-76.

Enercon (2012), <http://www.enercon.de/de-de/marktanteile.htm>, Abruf 30.07.2012.

Erhun, F.; Tayur, S. (2003): *Enterprise-Wide Optimization of Total Landed Cost at a Grocery Retailer*, in: *Operations Research*, Vol. 51, Issue 3, S. 343-353.

Eversheim, W. (2002): *Organisation in der Produktionstechnik*, Bd. 3: *Arbeitsvorbereitung*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

EWEA (2012): *Wind in power: 2011 European statistics*, The European Wind Energy Association.

Feller, C. (2008): *Development of a total landed cost and risk analysis model for global strategic sourcing*, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, Masterarbeit.

Ferrin, B.G.; Plank, R.E. (2002): *Total cost of ownership models: An exploratory study*, in: *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 38, Issue 3, S. 18-29.

Fiege, S. (2006): *Risikomanagement- und Überwachungssystem nach KonTraG: Prozess, Instrumente, Träger*, Deutscher Universitätsverlag: Wiesbaden.

- Fried, L.; Shukla, S.; Sawyer, S. (2011): *Global Wind Report 2011*, http://www.gwec.net/fileadmin/documents/NewsDocuments/Annual_report_2011_low_res.pdf, Abruf 30.07.2012.
- Gabath, C. W. (2008): *Gewinngarant Einkauf: Nachhaltige Kostensenkung ohne Personalabbau*, Gabler Verlag: Wiesbaden.
- Gass, S. I.; Joel, L. S. (1981): *Concepts of Model Confidence*, in: *Computers & Operations Research*, Vol. 8, Issue 4, S. 341-346.
- Geissdörfer, K. (2009): *Total cost of ownership (TCO) und life cycle costing (LCC): Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA*, LIT Verlag: Münster.
- Gleißner, W.; Lienhard, H.; Stroeder, D. H. (2004): *Risikomanagement im Mittelstand*, RKW-Verlag: Eschborn.
- Götze, U. (2003): *Controlling von Logistik und Supply Chain: Funktionen und Instrumente*, in: Bogaschewsky, R.; Götze, U. (Hrsg.): *Management und Controlling von Einkauf und Logistik*, Deutscher Betriebswirte-Verlag: Gernsbach, S. 251-284.
- Graf, H. (2004): *Kundenorientierte Beschaffungs- und Produktionslogistik*, Vortrag im BVL Regionalforum, Stuttgart.
- Grap, R. (1998): *Produktion und Beschaffung: Eine praxisorientierte Einführung*, Verlag Franz Vahlen: München.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2005): *Produktion und Logistik*, 6. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Gutenberg, E. (1955): *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Die Produktion*, 2. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Hackstein R. (1989): *Produktionsplanung und -steuerung – Ein Handbuch für die Betriebspraxis*, 2. Aufl., VDI: Düsseldorf.
- Hahn, D.; Hungenberg, H.; Kaufmann, L. (1994): *Optimale Make-or-buy-Entscheidung*, in: *Controlling: Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung*, Vol. 6, Issue 2, S. 74-83.

Hall, N. G.; Potts, C. N. (2003): *Supply Chain Scheduling: Batching and Delivery*, in: *Operations Research*, Vol. 51, Issue 4, S. 566-584.

Haller, M. (1986): *Risiko-Management: Eckpunkte eines integrierten Konzepts*, in: Jacob, H. (Hrsg.): *Risiko-Management: Schriften zur Unternehmensführung*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Hector, B. (2006): *Risikomanagement in der Logistik*, Deutscher Verkehrs-Verlag: Hamburg.

Hellingrath, B.; Eberhardt, G. (2006): *IT in der Logistik*, in: Fraunhofer Institut für Logistik und Materialflusstechnik (Hrsg.): *Software in der Logistik*, Huss-Verlag: München, S. 92-97.

Helten, E. (1994): *Studententext 11: Versicherungsbetriebslehre. Die Erfassung und Messung des Risikos*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Herlyn, W. J. (2012): *PPS im Automobilbau – Produktionsprogrammplanung und -steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten*, Carl Hanser Verlag: München.

Herrmann, J. (2010): *Supply Chain Scheduling*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Hieber, R. (2000): *Beschreibung, Modellierung und Leistungsbeurteilung von Logistiknetzen*, in: Vortragsband des 1. Kolloquiums des DFG Sonderforschungsbereichs 559: Modellierung großer Netze in der Logistik, 23./24.11.2000, Dortmund.

Hinterhuber, H. H.; Ortner, S. (2005): *Risikomanagement als nicht-delegierbare Führungsaufgabe*, in: Pechlaner, H.; Glaeßer, D. (Hrsg.), Bd. 4: *Risiko und Gefahr im Tourismus: Erfolgreicher Umgang mit Krisen und Strukturbrüchen*, Erich Schmidt Verlag: Berlin.

Hungenberg, H. (1999): *Produktprogramm- und Beschaffungsgestaltung*, in: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg): *Betriebshütte: Produktion und Management*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 40-52.

Imboden, C. (1983): *Risikohandhabung: ein entscheidbezogenes Verfahren*, Haupt Verlag: Bern.

Jackson, D. W.; Ostrom, L. L. (1980): *Life Cycle Costing in Industrial Purchasing*, in: *Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol. 16, Issue 4, S. 8-12.

- Jearasatit, A. (2010): *Using a Total Landed Cost Model to Foster Global Logistics Strategy in the Electronics Industry*, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, Masterarbeit.
- Jehle, E.; Scheier, H.; Stüllenber, F. (1999): *Analyse und Klassifikation unterschiedlicher Netzwerktypen in der Logistik*, Arbeitsbericht 9901, Sonderforschungsbereich 559 der Universität Dortmund.
- Johnson, M. D.; Sawaya, W. J.; Natarajarathinam, M. (2013): *A methodology for modelling comprehensive international procurement costs*, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 51, Issue 18, S. 5549-5564.
- Jüttner, U.; Peck, H.; Christopher, M. (2003): *Supply chain risk management: outlining an agenda for future research*, in: *International Journal of Logistics*, Vol. 6, Issue 4, S. 197-210.
- Jüttner, U. (2005): *Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective*, in: *International Journal of Logistics Management*, Vol. 16, Issue 1, S. 120-141.
- Kajüter, P. (2003): *Instrumente zum Risikomanagement in der Supply Chain*, in: Stölzle, W.; Otto, A. (Hrsg.): *Supply Chain Controlling in Theorie und Praxis*, Gabler Verlag: Wiesbaden, S. 107-135.
- Kajüter, P. (2007): *Risikomanagement in der Supply Chain: Ökonomische, regulatorische und konzeptionelle Grundlagen*, in: Vahrenkamp, R.; Siepermann, C. (Hrsg.): *Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*, Erich Schmidt Verlag: Berlin, S. 13-28.
- Kajüter, P. (2009): *Risikomanagement in der Konzernpraxis: Analyse, Implementierung und Überwachung*, Verlag Franz Vahlen: München.
- Kersten, W.; Böger, M.; Hohrath, P.; Späth, H. (2006a): *Supply Chain Risk Management: Development of a Theoretical and Empirical Framework*, in: Kersten, W. (Hrsg.): *Managing Risks in Supply Chains: How to Build Reliable Collaboration in Logistics*, Erich Schmidt Verlag: Berlin, S. 3-18.
- Kersten, W.; Hohrath, P.; Scholl, J. (2010): *Lieferung mit Risiko*, in: *Erneuerbare Energien*, Heft 3, S. 40-45.

Kersten, W.; Rall, K.; Meyer, C. M.; Dalhöfer, J. (2006b): *Complexity Management in Logistics and ETO-Supply Chains*, in: Blecker, T.; Kersten, W. (Hrsg): *Complexity Management in Supply Chains: Concepts, Tools and Methods*, Erich Schmidt Verlag: Berlin, S. 325-342.

Kieser, A.; Kubicek, H. (1992): *Organisation*, de Gruyter: Berlin.

Killich, S.; Luczak, H. (2003): *Unternehmenskooperation für kleine und mittelständische Unternehmen*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Kimmig, J. M. (2001): *Risiko-Controlling in der Unternehmung: Unsicherheit im Warentermingeschäft*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Klemmer, J.; Lauer, J.; Formanski, V. (2011): *Definition and Application of a Standard Verification and validation Process for Dynamic Vehicle Simulation Models*, in: International Journal of Materials and Manufacturing, Vol. 4, Issue 1, S. 743-758.

Koch, D. J. (2011): *Gesamtkostenrechnung TCO - Abschlussdokumentation*, Fraunhofer Institut, Karlsruhe.

KPMG (2007): *Offshore-Windparks in Europa: Marktstudie 2007*.

Lazanowski, M. (2006): *Industrielles Risikocontrolling*, Band 3217, Europäische Hochschulschriften: Volks- und Betriebswirtschaft, Peter-Lang-Verlagsgruppe: Bern.

Lochmahr, A.; Wildemann, H. (2007): *Die Einführung logistischer Konzepte in Theorie und Praxis: Fallbeispiel Kapazitätsmanagement*, in: Günthner, W. (Hrsg.): *Neue Wege in der Automobillogistik*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 509-524.

Lödding, H. (2008): *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Lück, W. (2000): *Managementrisiken*, in: Dörner, D.; Horvath, P.; Kagermann, H. (Hrsg.): *Praxis des Risikomanagements: Grundlagen, Kategorien, branchenspezifische und strukturelle Aspekte*, Schäffer-Poeschel Verlag: Stuttgart, S. 311-343.

Luczak, H.; Eversheim W. (1998): *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Luhmann, N. (1991): *Soziologie des Risikos*, de Gruyter: Berlin.

- Makridakis, S. G.; Wheelwright, S. C.; Hyndman, R. J. (1998): *Forecasting*, Wiley & Sons: Hoboken.
- Mangan, J.; Lalwani, C.; Butcher, T. (2010): *Global Logistics and Supply Chain Management*, Wiley & Sons: Hoboken.
- Manuj, I.; Mentzer, J. T. (2008): *Global supply chain risk management strategies*, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 38, Issue 3, S. 192-223.
- March J. G.; Shapira, Z. (1987): *Managerial Perspectives on Risk and Risk Taking*, in: *Management Science*, Vol. 33, Issue, S.1404-1418.
- Meißner, J. D. (2006): *Allgemeine Hinweise zur Bewertung von Methoden (in verschiedenen Anwendungsbereichen)*
http://www.optiv.de/OptimVerkehr/Allgemeine_Hinweise/allgemeine_hinweise.pdf,
 Abruf: 13.03.2018.
- Mensch, G. (1991): *Risiko und Unternehmensführung: Eine systemorientierte Konzeption zum Risikomanagement*, Peter-Lang-Verlagsgruppe: Bern.
- Meyer, C. M. (2007): *Integration des Komplexitätsmanagements in den strategischen Führungsprozess der Logistik*, Haupt Verlag: Bern.
- Meyer, J. C.; Sander, U. (2008): *Bestände senken, Lieferservice steigern – Ansatzpunkt Bestandsmanagement*, FIR: Aachen.
- Meyer, M.; Walber, B.; Schmidt, C. (2006): *Produktionsplanung und -steuerung (PPS) in temporären Produktionsnetzwerken des Maschinen- und Anlagenbaus*, in: Schuh, G. (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*, 3. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 511-541.
- Mikus, B. (2001): *Zur Integration des Risikomanagements in den Führungsprozeß*, in: Götze, U.; Henselmann, K.; Mikus, B. (Hrsg.): *Risikomanagement*, Physica-Verlag: Heidelberg, S. 67-94.
- Montana C.; Springmann, M. (2011): *Marktfähige Services in der Windkraftbranche – Beispiele zur Kostenoptimierung und Gewinnsteigerung*, Barkawi Management Consultants, <http://www.barkawi.com/de/publications/service-in-der-windkraft-branche>,
 Abruf: 01.08.2012.

Morita, M. (2007): *Total cost model for making sourcing decisions*, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering.

Moser, Harry (2011): *Time to come home?*, in: Supply Chain Quarterly, 2011, Issue 4.

Müssigmann, N. (2006): *Mitigating Risk during Strategic Supply Network Modeling*, in: Kersten, W. (Hrsg.): *Managing Risks in Supply Chains - How to Build Reliable Collaboration in Logistics*, Erich Schmidt Verlag: Berlin, S. 213 - 226.

Nagali, V.; Hwang, J.; Sanghera, D.; Gaskins, M.; Pridgen, M.; Thurston, T. (2008): *Procurement Risk Management (PRM) at Hewlett-Packard Company*, in: *Interfaces*, Vol. 38, Issue 1, S. 51-60
(http://www.drkresearch.org/contact_us/risk_roundtable/hpprocurement.pdf).

Nedeß, C. (1997): *Organisation des Produktionsprozesses*, Teubner Verlag: Wiesbaden.

Nedeß, C.; Friedewald, A.; Wagner, L.; Neumann, L. (2006): *Risk Management in Maritime Transportation Networks*, in: Kersten, W. (Hrsg.): *Managing Risks in Supply Chains - How to Build Reliable Collaboration in Logistics*, Erich Schmidt Verlag: Berlin, S. 239-252.

Nollau, H.-G.; Neumeier, M. (2010): *Logistikfallstudien und Risikomanagement*, Eul-Verlag: Lohmar.

Norrman, A. (2003): *Supply Chain Risk Management*, in: *Journal of Packaging Science & Technology*, Vol. 12, Issue 5, S. 257-270.

Norrman, A.; Jansson, U. (2004): *Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident*, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 34, Issue 5, S.434-456.

Oberkampf, W. L.; Trucano, T. G. (2008): *Verification and validation benchmarks*, in: *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 238, Issue 3, S. 716-743.

Peter, C. F. (2001): *Unternehmerisches Risikomanagement: Konsequenzen einer integrierten Risikobewältigung für die Versicherung*, Dissertation, St. Gallen.

- Pfohl, H.-C. (1977): *Problemorientierte Entscheidungsfindung in Organisationen*, de Gruyter: Berlin.
- Pfohl, H.-C. (2008): *Sicherheit und Risikomanagement in der Supply Chain. Gestaltungsansätze und praktische Umsetzung*, in: Schriftenreihe Wirtschaft & Logistik, Deutscher Verkehrs-Verlag: Hamburg.
- Pfohl, H.-C.; Large, R. (2003): *Beschaffungsstrategien und strategisches Beschaffungsmanagement*, in: Boutellier, R.; Wagner, S. M.; Wehrli, H. P. (Hrsg.): Handbuch Beschaffung: Strategien, Methoden, Umsetzung, Carl Hanser Verlag: München, S. 433-452.
- Pritsch, G.; Hommel, U. (1997): *Hedging im Sinne des Aktionärs: ökonomische Erklärungsansätze für das unternehmerische Risikomanagement*, in: Die Betriebswirtschaft, Vol. 57, Issue 5, S. 672-693.
- RBSC (2009), Roland Berger Strategy Consultants, *Wind energy manufacturers' challenges*, http://www.rolandberger.com/media/publications/2009-09-04-rbsc-pub-Wind_energy_manufacturers_challenges.html, Abruf: 31.07.2012
- Rode, N. (2010): *Der Windenergiesektor: grün und sozial?*, <http://www.emf-fem.org/Media/de/PCG-Windenergie-Studie-2010>, Abruf: 31.07.2012.
- Rogler, S. (2002): *Risikomanagement im Industriebetrieb. Analyse von Beschaffungs-, Produktions- und Absatzrisiken*, Deutscher Universitätsverlag: Wiesbaden.
- Romeike, F. (2003): *Die Prozessstufen der Risikoanalyse*, in: Romeike, F.; Finke, R. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Risiko-Management Chance: für Industrie und Handel: Methoden, Beispiele, Checklisten, Gabler Verlag: Wiesbaden, S. 147-198.
- Rosenberg, O. (1992): *Planungssysteme*, Skript zur Vorlesung, Universität Paderborn.
- Rosenkranz, F.; Missler-Behr, M. (2005): *Unternehmensrisiken erkennen und managen: Einführung in die qualitative Planung*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Ruamsook, K.; Russel, D.; Thomchick, E. A. (2007): *U.S. Sourcing from Low-Cost Countries: A Comparative Analysis of Supplier Performance*, in: Journal of Supply Chain Management Vol. 43, Issue 4, S. 16-30.

- Sargent, R. (2014): *Verifying and validating simulation models*, in: Winter Simulation Conference (WSC), 7.-10. Dezember 2014, S. 118-131.
- Sauer, J. (1997): *Ablaufplanung (Scheduling)*, in: Künstliche Intelligenz, 1997, Issue 2, S. 13.
- Sauer, J. (2002): *Multi-Site Scheduling – Hierarchisch koordinierte Ablaufplanung auf mehreren Ebenen*, Habilitation, Oldenburg.
- Scheer, A.-W. (1987): *CIM Computer Integrated Manufacturing: Der computergesteuerte Industriebetrieb*, 2. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Schiegg, P. (2005): *Typologie und Erklärungsansätze für Strukturen der Planung und Steuerung in Produktionsnetzwerken*, Dissertation, Shaker Verlag: Aachen.
- Schlesinger, S. (1979): *Terminology for model credibility*, in: Simulation, Vol. 32, Issue 3, S. 103-104.
- Schönsleben, P. (2011): *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Schruben, L. (1980): *Presenting*, in: Simulation, Vol. 34, Issue 3, S. 6.
- Schuh, G. (2006): *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Schuh, G.; Gierth, A.; Schiegg, P. (2006): *Prozessarchitektur*, in: Schuh, G. (Hrsg.): *Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 81-107.
- Schuh, G.; Stich, V. (2012): *Produktionsplanung und -steuerung 2: Evolution der PPS*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.
- Schuh, G.; Stich, V.; Schmidt, C. (2008): *Produktionsplanung und -steuerung in Logistiknetzwerken*, in Nyhuis, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 249-270.
- Schwaninger, M. (1994): *Managementsysteme (St. Galler Management-Konzept)*, Campus-Verlag: Frankfurt am Main.

SGL Rotec (2012): http://www.sgl-rotec.com/cms/international/products/rotor-blades/technology.html?__locale=de, Abruf 07.08.2012.

Silver, E. A.; Pyke, D. F.; Peterson, R. (1998): *Inventory management and production planning and scheduling*, Wiley & Sons: Hoboken.

Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R. (2007): *Operations Management*, 5. Aufl., Prentice Hall: New York.

Smytka, D. L., Clemens, M. W. (1993): *Total cost supplier selection model: A case study*, in: *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Vol. 29, Issue 1, S 42-49.

Sorge, N.-V. (2009): *Deutschen Windkraftfirmen droht Absatzflaute*, <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/maechtige-oeko-konkurrenz-deutschen-windkraftfirmen-droht-absatzflaute-a-647069.html>, Abruf 31.07.2012

Stadtler, H.; Kilger, C. (2005): *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*, 3. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Stadtler, H.; Kilger, C. (2008): *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies*, 4. Aufl., Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Staehele, W. H. (1999): *Management: Eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive*, Verlag Franz Vahlen: München.

Statista (2014), <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/169595/umfrage/marktanteile-der-groessten-windturbinen-produzenten-weltweit/>, Abruf 17.7.2014.

Stich, V.; Hering, N.; Brosze, T. (2013): *Beschaffungslogistik*, in: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): *Logistikmanagement: Handbuch Produktion und Management 6*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 77-113.

Sydow, J. (1992): *Strategische Netzwerke: Evolution und Organisation*, Gabler Verlag: Wiesbaden.

Sydow, J.; Windeler, A. (1999): *Steuerung von Netzwerken: Konzepte und Praktiken*, Westdeutscher Verlag: Wiesbaden.

Sydow, J. (2010): *Management von Netzwerkorganisationen: Zum Stand der Forschung*, in: Sydow, J. (Hrsg.) *Management von Netzwerkorganisationen: Beiträge aus der Managementforschung*, Gabler Verlag: Wiesbaden, S. 373-470.

Tang, C. S. (2006): *Perspectives in supply chain risk management*, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, Issue 2, S. 451-488.

Tempelmeier, H. (2006): *Material-Logistik: Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen*, Physica-Verlag: Heidelberg.

Thewindpower (2014): http://www.thewindpower.net/statistics_world_en.php, Abruf 16.07.2014.

Tibben-Lembke, R. S. (1998): *The impact of reverse logistics on the total cost of ownership*, in: *Journal of Marketing Theory and Practice*, Vol. 6, Issue 4, S. 51-60.

Trent, R. J.; Roberts, L. R. (2010): *Managing global supply and risk: Best practices, concepts, and strategies*, J Ross Publishing: Fort Lauderdale.

Tsoukas, H. (1994): *What is Management? An Outline of a Metatheory*, in: *British Journal of Management*, Vol. 5, Issue 4, S. 289-301.

Vahrenkamp, R. (2004): *Produktionsmanagement*, 5. Aufl., Oldenbourg Verlag: München, Wien.

VDA, JB, (2009): *Jahresberichte des VDA*, nach Jahrgang.

VDI (2000): *VDI Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen*, Blatt 1, in: *VDI-Handbuch Materialfluss und Förder-technik*, Band 8, Düsseldorf.

Webber, Susanna (2011): *Innovative Supply Chain Concepts for a Sustainable Value Chain*, BVL Deutscher Logistikkongress, Berlin.

Weber, J. (2002): *Logistikkostenrechnung*, 2. Aufl., Teubner Verlag: Stuttgart.

Westkämper, E.; Mussbach-Winter, U.; Wiendahl, H.-H. (2006): *Material Requirement Planning (MRP)*, in: Koether, R. (Hrsg.): Taschenbuch der Logistik, 2. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig: Leipzig, S. 87-97.

Wiederkehr, B.; Züger, R.-M. (2010): *Risikomanagementsystem im Unternehmen*, Compendio Bildungsmedien: Zürich.

Wiendahl, H.-P. (2005): *Betriebsorganisation für Ingenieure*, 5. Aufl., Carl Hanser Verlag: München.

Wiendahl, H.-P. (2008): *Stolpersteine der PPS – ein sozio-technischer Ansatz für das industrielle Auftragsmanagement*, in Nyhuis, P.: Beiträge zu einer Theorie der Logistik, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 275-304.

Wiendahl H.-P. (2010): *Betriebsorganisation für Ingenieure*, 7. Aufl., Carl Hanser Verlag: München.

Wight, O. W. (1981): *MRP II: unlocking America's productivity potential*, Oliver Wight Ltd. Publications: Essex Junction.

Winter, P. (2007): *Risikocontrolling in Nicht-Finanzunternehmen*, Eul-Verlag: Lohmar.

Wöhe, G. (1962): *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 2. Aufl., Verlag Franz Vahlen: München.

Wolff, S.; Groß, W. (2008): *Dynamische Gestaltung von Logistiknetzwerken*, in: Baumgarten, H. (Hrsg.): Das Beste der Logistik: Innovationen, Strategien, Umsetzungen, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, S. 123-134.

Wolff, S.; Nieters, C. (2002): *Supply Chain Design: Gestaltung und Planung von Logistiknetzwerken*, in: Pradel, U. H. et al. (Hrsg.): Praxishandbuch Logistik: Erfolgreiche Logistik in Industrie, Handel und Dienstleistungsunternehmen, Deutscher Universitätsverlag: Köln, Kapitel 3.5.2.

Wolke, T. (2008): *Risikomanagement*, 2. Aufl., Oldenbourg Verlag: München, Wien.

Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D. (1992): *Die zweite Revolution in der Automobilindustrie: Konsequenzen aus der weltweiten Studie des Massachusetts Institute of Technology*, 5. Aufl., Campus-Verlag: Frankfurt am Main.

Womack, J. P.; Jones, D. T. (2002): *Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream*, Taylor & Francis: London.

Wyssusek, B. (1999): *Grundlagen der Systemanalyse*, in: Krallmann, H.; Frank, H.; Gronau, N. (Hrsg.): *Systemanalyse in Unternehmen: Partizipative Vorgehensmodelle, objekt- und prozessorientierte Analysen flexibler Organisationsarchitekturen*, 3. Aufl., Oldenbourg Verlag: München.

Young, R. R.; Swan, P. F.; Thomchick, E. A.; Ruamsook, K. (2009): *Extending landed cost models to improve offshore sourcing decisions*, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 39, Issue 4, S. 320-335.

Zäpfel, G. (1996): *PPS (Produktionsplanung und -steuerung)*, in: Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Sp. 1391–1405.

Zäpfel, G. (2001): *Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement*, 2. Aufl., Oldenbourg Verlag: München.

Zehbold, C. (1996): *Lebenszykluskostenrechnung*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Zeier, A. (2002): *Identifikation und Analyse branchenspezifischer Faktoren für den Einsatz von SCM-Software – Teil I: Grundlagen, Methodik und Kernanforderungen*, FORWIN-Bericht-Nr. FWN-2002-002, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg.

Zeller, A. J. (2003): *Controlling von Unternehmensnetzwerken: Bestandsaufnahme und Lückenanalyse*, FORWIN-Bericht-Nr. FWN-2003-02, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg.

Ziegenbein, A. (2007): *Supply Chain Risiken: Identifikation, Bewertung und Steuerung*, vdf Hochschulverlag: Zürich.

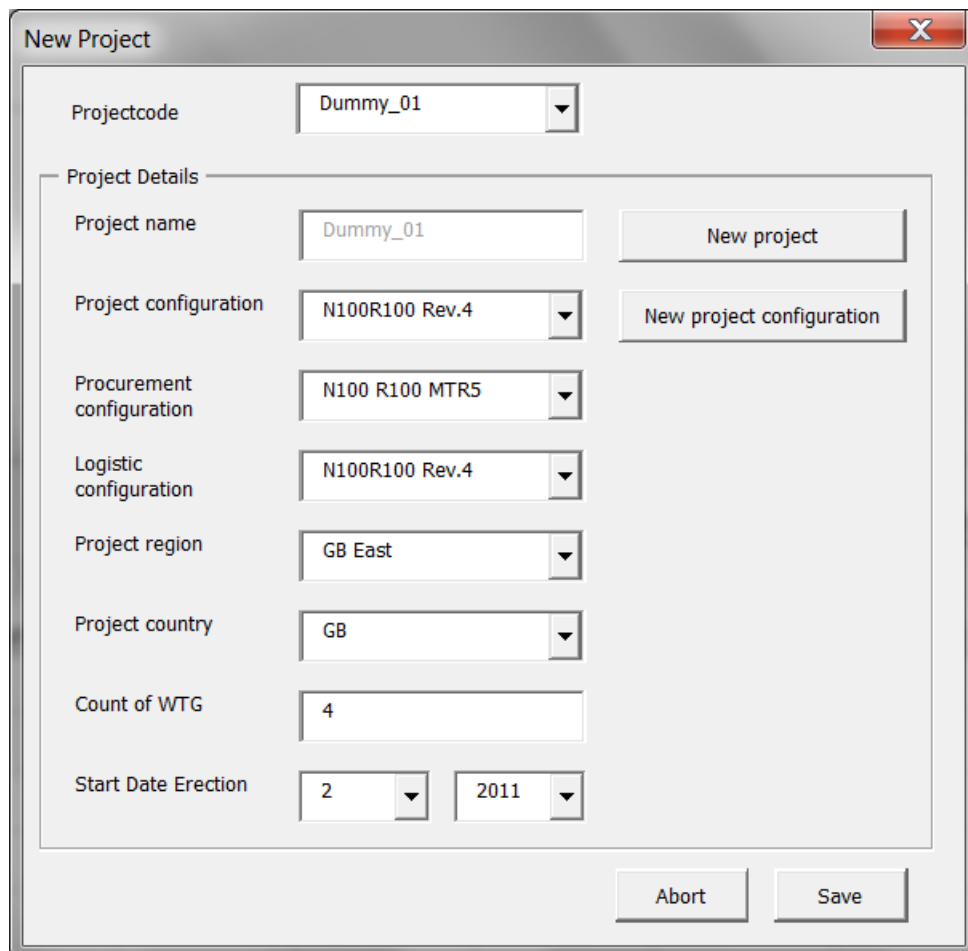
Zsidisin, G. A. (2003): *A grounded definition of supply risk*, in: *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 9, Issue 5-6, S. 217-224.

Zsidisin, G. A.; Ragatz, G. L.; Melnyk, S. A. (2005): *The Dark Side of Supply Chain Management*, in: *Supply Chain Management Review*, Vol. 9, Issue 2, S. 46-52.

9 Anhang

9.1 Applikation zur Bewertung und Analyse von Auftragszuordnungs- konstellation

9.1.1 Definition der Projektkonfiguration



The screenshot shows a 'New Project' dialog box with the following fields and buttons:

- Projectcode:** Dummy_01 (dropdown)
- Project Details:**
 - Project name:** Dummy_01 (text input) with a **New project** button.
 - Project configuration:** N100R100 Rev.4 (dropdown) with a **New project configuration** button.
 - Procurement configuration:** N100 R100 MTR5 (dropdown)
 - Logistic configuration:** N100R100 Rev.4 (dropdown)
 - Project region:** GB East (dropdown)
 - Project country:** GB (dropdown)
 - Count of WTG:** 4 (text input)
 - Start Date Erection:** 2 (dropdown) and 2011 (dropdown)
- Buttons:** Abort and Save

Abbildung 52: VBA-Applikation zur Definition der Projektkonfiguration

Quelle: Eigene Darstellung

9.1.2 Definition und Bewertung der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen

Add sourcing options to project

Project: Dummy_01 Project Management...

Project Details

Project name: Dummy_01

Count of WTG: 4

Project configuration: N100R100 Rev.4

Project region: GB East

Add Sourcing Options

Tower manufacturer: GSG New manufacturer

Transport mode: Seatransport

Finalrun distance: 150 Add to Sourcing Options

Sourcing Options Overview

Overwrite... Delete selected sourcing option

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Manufacturer	Transportmode	Prerun	Charge	Seafreight	Discharge	Finalrun	Logistics	White Tower	Overall
2	Tegopi	Seatransport	9.300 €	7.600 €	26.000 €	9.000 €	16.628 €	68.528 €	402.193 €	470.722 €
3	KGW	Seatransport	9.300 €	8.279 €	30.000 €	9.000 €	16.628 €	73.208 €	410.678 €	483.886 €
4	GSG	Seatransport	€	3.600 €	34.000 €	9.000 €	16.628 €	63.228 €	372.193 €	435.422 €
5										
6										
7										
8										

Abbildung 53: VBA-Applikation zur Definition der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen und Berechnung der Komponenten- und Logistikkosten

Quelle: Eigene Darstellung

9.1.3 Auswertung der Auftragszuordnungskonstellationen

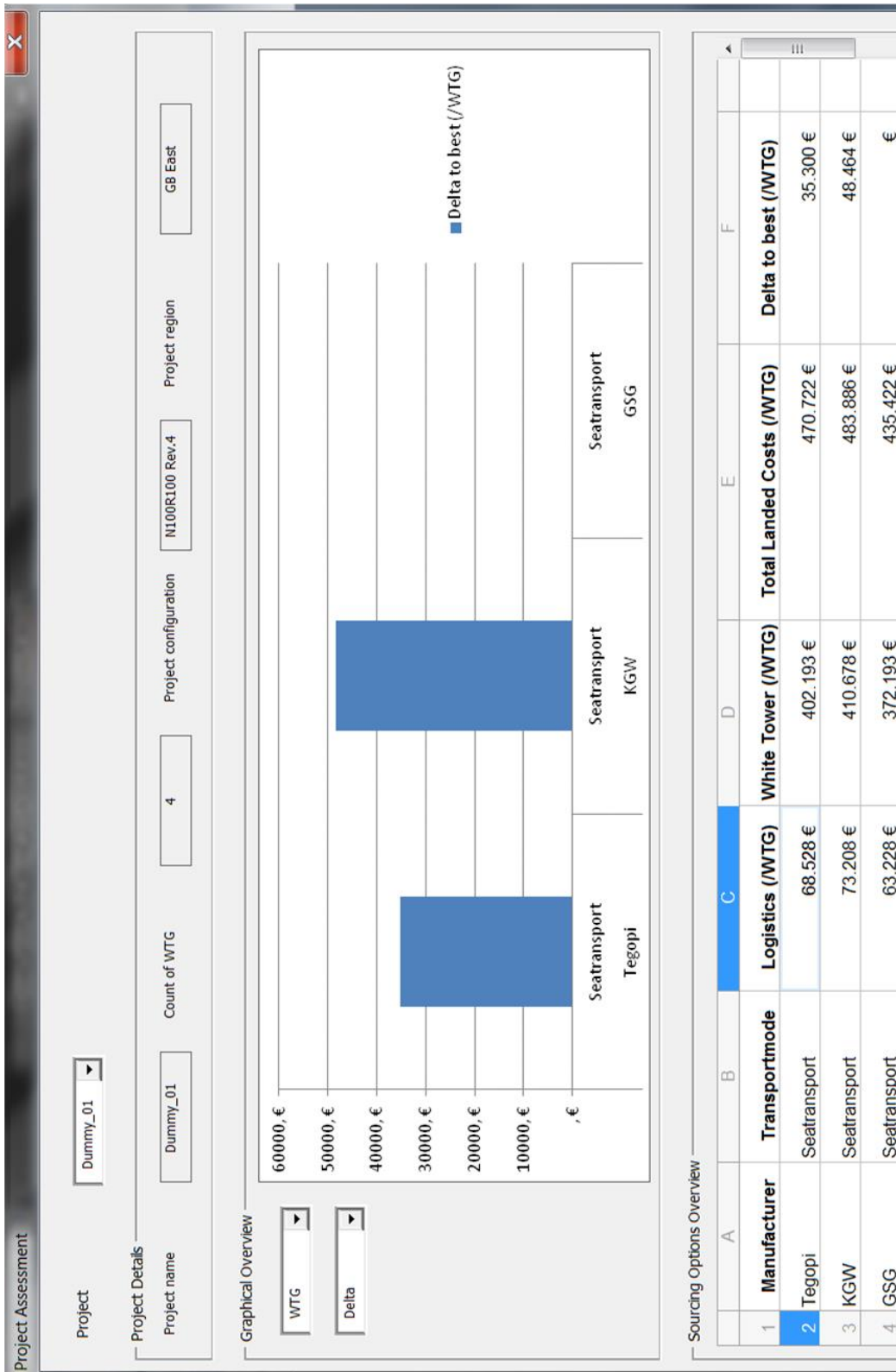


Abbildung 54: VBA-Applikation zur Auswertung der möglichen Auftragszuordnungskonstellationen

Quelle: Eigene Darstellung

9.2 Das mathematische Supply Chain Scheduling Modell

9.2.1 Optimierungsmodell im OpenSolver

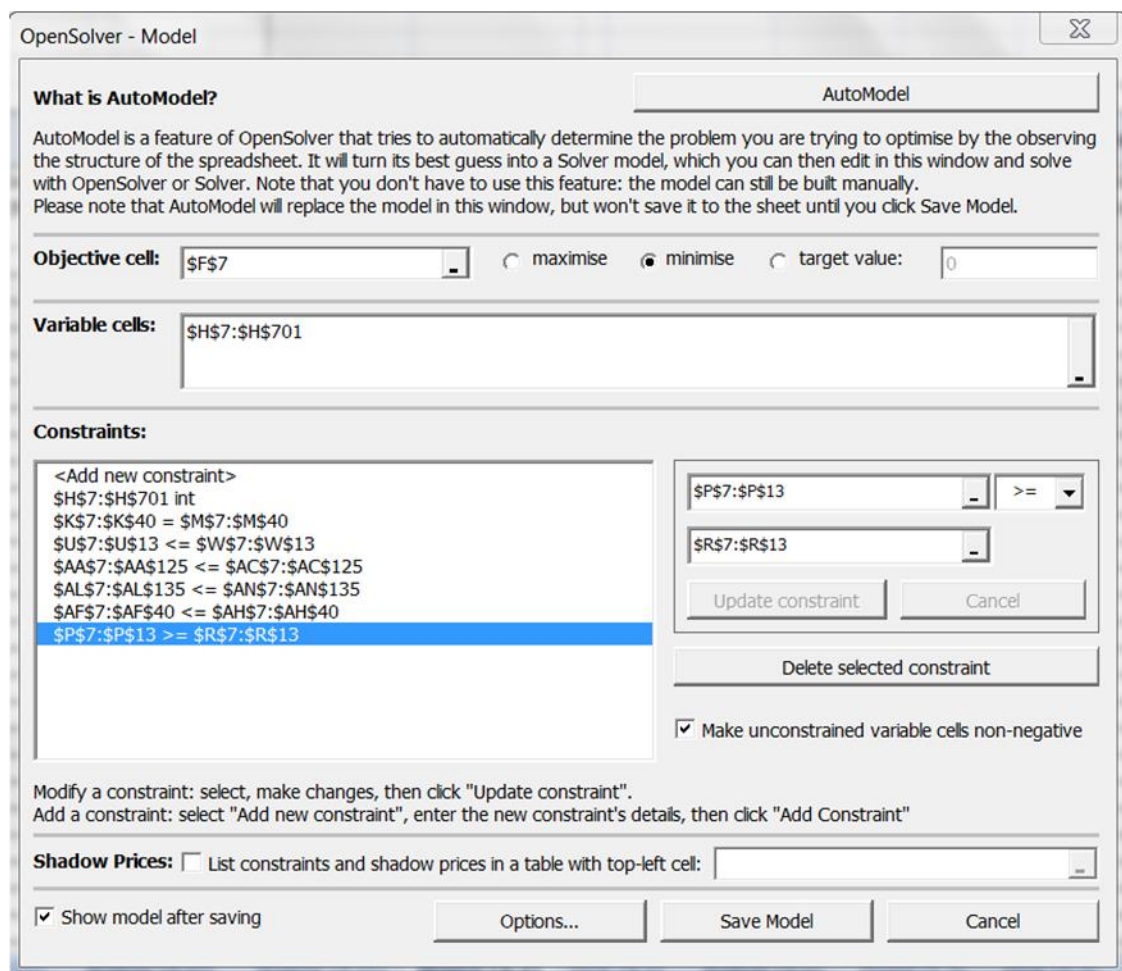


Abbildung 55: Optimierungsmodell im OpenSolver zur Anwendung in Microsoft Excel

Quelle: Eigene Darstellung

9.2.2 Datenstruktur des Optimierungsmodells

Parameter		Erfüllung Bedarfe (2)				rechte Seite			
Lieferant	Windpark	Zeitpunkt (Monat)	Zielfunktionswert	Zielfunktionskoeffizienten	E-Variablen	für jeden	Restriktion	Richtung	Gesamtbedarf Windpark d. LWZ
			$\min \sum c_{LW} \cdot x_{LWZ}$	Kosten je Turm & Lieferung c. LW	Summe Türme je Lieferung über die Zeit x_LWZ integer	Windpark	erfüllter Bedarf x_LWZ	=	
Cimtas	BEKI	5	77.418.703 €	277.577 €	2	BEKI	18	=	18
Cimtas	BEKI	6		277.577 €	8	BERG	26	=	26
Cimtas	BEKI	7		277.577 €	0	BRAT	6	=	6
Cimtas	BEKI	8		277.577 €	0	BUSC	2	=	2
Cimtas	BEKI	9		277.577 €	8	CAMP	7	=	7
Alkeg Tegopi	BERG	-4		279.727 €	2	CHYL	5	=	5
Alkeg Tegopi	BERG	-3		279.727 €	6	COUD	4	=	4
Alkeg Tegopi	BERG	-2		279.727 €	0	CROC	6	=	6
Alkeg Tegopi	BERG	-1		279.727 €	6	CURR	6	=	6
Alkeg Tegopi	BERG	1		279.727 €	6	FORG	5	=	5
Alkeg Tegopi	BERG	2		279.727 €	6	GLEN	12	=	12
Alkeg Tegopi	CAMP	-4		171.165 €	0	GORT	8	=	8
Alkeg Tegopi	CAMP	-3		171.165 €	0	Grou	6	=	6
Alkeg Tegopi	CAMP	-2		171.165 €	0	HAUP	6	=	6
Alkeg Tegopi	CAMP	-1		171.165 €	0	HOHE	4	=	4
Alkeg Tegopi	CURR	8		311.794 €	0	JOKK	4	=	4
Alkeg Tegopi	CURR	9		311.794 €	0	KALS	2	=	2
Alkeg Tegopi	CURR	10		311.794 €	0	KILB	8	=	8
Alkeg Tegopi	CURR	11		311.794 €	0	LOMB	4	=	4
Alkeg Tegopi	Forg	6		494.513 €	0	MACA	10	=	10
Alkeg Tegopi	Forg	7		494.513 €	0	MAZI	3	=	3
Alkeg Tegopi	Forg	8		494.513 €	0	MIST	2	=	2
Alkeg Tegopi	Forg	9		494.513 €	0	OTTE	3	=	3
Alkeg Tegopi	Glen	5		320.275 €	0	PANZ	1	=	1
Alkeg Tegopi	Glen	6		320.275 €	0	PERW	2	=	2
Alkeg Tegopi	Glen	7		320.275 €	0	PLAT	5	=	5
Alkeg Tegopi	Glen	8		320.275 €	0	RAVE	2	=	2
Alkeg Tegopi	Glen	9		320.275 €	0	SCRE	8	=	8
Alkeg Tegopi	Grou	8		316.947 €	0	SERD	2	=	2
Alkeg Tegopi	Grou	9		316.947 €	0	SOMA	36	=	36
Alkeg Tegopi	Grou	10		316.947 €	0	SUSU	18	=	18
Alkeg Tegopi	Grou	11		316.947 €	0	TULL	7	=	7
Alkeg Tegopi	Kilb	8		328.095 €	0	WIEM	7	=	7
Alkeg Tegopi	Kilb	9		328.095 €	0	ZETT	1	=	1

Abbildung 56: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (1/3)

Quelle: Eigene Darstellung

Einhalten maximale Produktionsrate (5)				Single Sourcing (6.1)				Single Sourcing (6.2)						
für jeden		Restriktion	Richtung	rechte Seite	für jeden		Restriktion	Richtung	rechte Seite	für jeden		Restriktion	Richtung	rechte Seite
Lieferant	Zeitpunkt			maximale Produktionsrate p_LZ	Windpark					Lieferant	Windpark			
Alkeg Tegopi	-4	0	<=	6	BEKI	1	<=	1		Cimtas	BEKI	0	<=	0
Cimtas	-4	0	<=	8	BERG	1	<=	1		Alkeg Tegopi	BERG	0	<=	0
Emek	-4	8	<=	8	CAMP	1	<=	1		Alkeg Tegopi	CAMP	0	<=	0
GSG	-4	0	<=	2	CURR	1	<=	1		Alkeg Tegopi	CURR	0	<=	0
KGW	-4	0	<=	8	Forg	1	<=	1		Alkeg Tegopi	Forg	0	<=	0
Tegopi	-4	0	<=	8	Glen	1	<=	1		Alkeg Tegopi	Glen	0	<=	0
Welcon	-4	2	<=	8	Grou	1	<=	1		Alkeg Tegopi	Grou	0	<=	0
Alkeg Tegopi	-3	0	<=	6	Kilb	1	<=	1		Alkeg Tegopi	Kilb	0	<=	0
Cimtas	-3	3	<=	8	LOMB	1	<=	1		Alkeg Tegopi	LOMB	0	<=	0
Emek	-3	0	<=	8	MAZI	1	<=	1		Alkeg Tegopi	MAZI	0	<=	0
GSG	-3	0	<=	2	OTTE	1	<=	1		Alkeg Tegopi	OTTE	0	<=	0
KGW	-3	2	<=	8	SOMA	1	<=	1		Alkeg Tegopi	SOMA	0	<=	0
Tegopi	-3	4	<=	8	Susu	1	<=	1		Cimtas	Susu	-82	<=	0
Welcon	-3	8	<=	8	BRAT	1	<=	1		Cimtas	BERG	-74	<=	0
Alkeg Tegopi	-2	0	<=	6	CHYL	1	<=	1		Cimtas	MAZI	-97	<=	0
Cimtas	-2	8	<=	8	COUD	1	<=	1		Cimtas	SOMA	0	<=	0
Emek	-2	8	<=	8	CROC	1	<=	1		Emek	BEKI	-82	<=	0
GSG	-2	0	<=	2	GORT	1	<=	1		Emek	BERG	0	<=	0
KGW	-2	8	<=	8	MACA	1	<=	1		Emek	BRAT	0	<=	0
Tegopi	-2	0	<=	8	MIST	1	<=	1		Emek	CAMP	-93	<=	0
Welcon	-2	8	<=	8	PERW	1	<=	1		Emek	CHYL	0	<=	0
Alkeg Tegopi	-1	0	<=	6	PLAT	1	<=	1		Emek	COUD	0	<=	0
Cimtas	-1	8	<=	8	TULL	1	<=	1		Emek	CROC	0	<=	0
Emek	-1	0	<=	8	HAUP	1	<=	1		Emek	CURR	0	<=	0
GSG	-1	0	<=	2	HOHE	1	<=	1		Emek	Forg	-95	<=	0
KGW	-1	1	<=	8	JOKK	1	<=	1		Emek	Glen	0	<=	0
Tegopi	-1	0	<=	8	RAVE	1	<=	1		Emek	GORT	0	<=	0
Welcon	-1	0	<=	8	SERD	1	<=	1		Emek	Grou	-94	<=	0

Abbildung 57: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (2/3)

Quelle: Eigene Darstellung

Einhalten Mindestabnahmemenge (3)				Einhalten Maximalkapazität (4)			
für jeden	Restriktion	Richtung	rechte Seite	für jeden	Restriktion	Richtung	rechte Seite
Lieferant	genutzte Kapazität		Mindestmenge kmin_L	Lieferant	genutzte Kapazität		maximale Kapazität k_L
Alkeg Tegopi	0	>=	0	Alkeg Tegopi	0	<=	0
Cimtas	47	>=	30	Cimtas	47	<=	60
Emek	72	>=	20	Emek	72	<=	80
GSG	0	>=	0	GSG	0	<=	0
KGW	42	>=	20	KGW	42	<=	60
Tegopi	51	>=	30	Tegopi	51	<=	60
Welcon	34	>=	10	Welcon	34	<=	100

Abbildung 58: Datenstruktur des Optimierungsmodells in Microsoft Excel (3/3)

Quelle: Eigene Darstellung

9.3 Aufbereitete Ergebnismatrizen der Optimierungsszenarien

9.3.1 Supply Chain Scheduling bei unveränderter Kapazität

Lx	Cy	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	sum
L ₁	SE		6														6
L ₁	DE					2											2
L ₁	IE			8													8
L ₁	SE									4							4
L ₁	FR												2				2
L ₁	SE									3							3
L ₁	BE	2															2
L ₁	FR										5						5
L ₁	DE		2														2
L ₂	TR									8			2	8			18
L ₂	IT	7															7
L ₂	FR										5						5
L ₂	IE												6				6
L ₂	TR	1		8		8	3	8	8								36
L ₃	GB			1		5											6
L ₃	GB												6				6
L ₃	DE							6									6
L ₃	DE										4						4
L ₃	DE												2				2
L ₃	DE				1												1
L ₃	DE		2														2
L ₃	GB						7										7
L ₃	DE			7													7
L ₃	DE					1											1
L ₄	GR							5									5
L ₄	FR											4					4
L ₄	IE									4			8				12
L ₄	GB														8		8
L ₄	PT		4														4
L ₄	PT							3	7								10
L ₄	GB								1	3		4					8
L ₅	TR			8	8	8	2										26
L ₅	TR		3														3
L ₅	TR									2	8	8					18
total		10	17	32	9	24	12	22	16	24	22	16	26	8	8	0	246

Abbildung 59: Ergebnismatrix des Optimierungsmodells bei unveränderter Kapazität

Quelle: Eigene Darstellung

9.3.2 Supply Chain Scheduling bei angepasster Kapazität I

Lx	Cy	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	sum
L ₁	SE			6													6
L ₁	FR												5				5
L ₁	SE							4									4
L ₁	SE												3				3
L ₁	BE		2														2
L ₁	GB										8						8
L ₁	GB				7												7
L ₂	IT	7															7
L ₂	GR							5									5
L ₂	TR								1	1	8	8					18
L ₃	DE			2													2
L ₃	DE									6							6
L ₃	DE											4					4
L ₃	DE								2								2
L ₃	DE			1													1
L ₃	DE			2													2
L ₃	DE				2												2
L ₃	DE		7														7
L ₃	DE						1										1
L ₄	FR									3	1						4
L ₄	GB						6										6
L ₄	GB													6			6
L ₄	IE								4				8				12
L ₄	IE	8															8
L ₄	IE														6		6
L ₄	GB												2			6	8
L ₄	PT				4												4
L ₄	PT							6		4							10
L ₄	FR											2					2
L ₄	FR									5							5
L ₅	TR								2	8				8			18
L ₅	TR		1			2											3
L ₅	TR	8				5	7	8	8								36
L ₆	TR	2	6		6	6	6										26
total		25	16	11	19	13	20	23	8	13	31	15	24	16	6	6	246

Abbildung 60: Ergebnismatrix des Optimierungsmodells bei angepasster Kapazität I

Quelle: Eigene Darstellung

9.3.3 Supply Chain Scheduling bei angepasster Kapazität II

Lx	Cy	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	sum
L ₁	GB										8						8
L ₁	GB				7												7
L ₂	TR	8	8	2			8										26
L ₂	IT			6	1												7
L ₂	GR							5									5
L ₃	DE						2										2
L ₃	DE										6						6
L ₃	DE											4					4
L ₃	DE									2							2
L ₃	DE					1											1
L ₃	DE			2													2
L ₃	DE			2													2
L ₃	DE				7												7
L ₃	DE			1													1
L ₄	FR											3		1			4
L ₄	GB						6										6
L ₄	GB												5	1			6
L ₄	IE										8			4			12
L ₄	IE	8															8
L ₄	IE															6	6
L ₄	GB														8		8
L ₄	PT		4														4
L ₄	PT								2	8							10
L ₄	FR													2			2
L ₄	FR											5					5
L ₅	TR										8		2	8			18
L ₅	TR									8		8	2				18
L ₆	TR		3														3
L ₆	TR			6	6	6	6	6	6								36
L ₇	SE	2		2	2												6
L ₇	FR										1		2	2			5
L ₇	SE							2		2							4
L ₇	SE										1	2					3
L ₇	BE		2														2
total		18	17	21	23	7	22	13	8	20	32	22	11	18	8	6	246

Abbildung 61: Ergebnismatrix des Optimierungsmodells bei angepasster Kapazität II

Quelle: Eigene Darstellung

Aktuelle Methoden befassen sich primär mit der Gestaltung dauerhafter Wertschöpfungsnetzwerke. Die historische Entwicklung zeigt jedoch einen Wandel hin zu projektbezogenen Kooperationen in temporären Produktionsnetzwerken auf, zum Beispiel in der Windenergiebranche. Die vorliegende Arbeit untersucht die Frage, wie eine Gesamtkostenminimierung bestehend aus Komponenten-, Logistik- und Risikokosten anhand einer Netzwerk- und Auftragszuordnungsoptimierung erzielt werden kann. Die entwickelte Methodik umfasst einen Planungsprozess, der die Gesamtkosten im Netzwerk bewertet und darauf basierend die Zuordnung von Lieferanten zu Windparks optimiert. In einer Fallstudie wird die entwickelte Methodik evaluiert und das enthaltene Optimierungsmodell validiert.