

Entwicklung eines Gesamtmodells der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen

**Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg**
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von
Robert Glöckner, M. Sc.

aus
Bad Saarow-Pieskow

2020

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski

Tag der mündlichen Prüfung: 3. November 2020

Wissen schafft Innovation

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Christian Nedeß

Anschrift:

Technische Universität Hamburg

Institut für Produktionsmanagement und -technik

Denickestraße 17

21073 Hamburg

Band 42:

Robert Glöckner

Entwicklung eines Gesamtmodells der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen

1. Auflage

Hamburg 2020

ISSN: 1613-8244

<https://doi.org/10.15480/882.3231>

© Robert Glöckner 2020

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement und -technik der Technischen Universität Hamburg. Ich möchte mich an dieser Stelle bei den Personen und Institutionen bedanken, die mich in dieser Zeit unterstützt haben:

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Lödding, der mich bei der Erstellung der Arbeit mit seinem Rat und seinem stets konstruktiven Feedback betreut und der das Hauptgutachten zu meiner Arbeit verfasst hat. Ich möchte mich auch bei ihm in seiner Rolle als Leiter des Instituts bedanken, dafür, dass mir stets die Möglichkeit gegeben hat mich persönlich und fachlich weiter zu entwickeln. Herrn Prof. Dombrowski möchte ich für die Erstellung des Zweitgutachtens und für seine detaillierten und konstruktiven Anmerkungen zu meiner Arbeit danken. Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und für alle Ratschläge während meiner Zeit an der TUHH danke ich Frau Prof. Fischer.

Weiterhin danke ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Technischen Universität Hamburg und der Hamburgischen Investitions- und Förderbank für die sehr guten Rahmenbedingungen und die finanzielle Unterstützung.

Den ehemaligen Institutskollegen danke ich für die interessante und freundschaftliche Zusammenarbeit, die sehr dazu beigetragen hat, dass ich meine Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in freudiger Erinnerung behalten werde. In diesem Zusammenhang besonders hervorheben möchte ich meinen langjährigen Kollegen und Freund Constantin Grabner. Ihm danke ich für die vielen fruchtbaren Diskussionen, die Daten die er mir für diese Arbeit zur Verfügung gestellt hat und die gemeinsame Zeit beim Surfen auf der Ostsee. Ihm und auch Friederike Engehauen danke ich zudem für das Gegenlesen meiner Arbeit. Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle auch Martin Benter, der mich in meiner Anfangszeit am Institut unterstützt hat.

Mein persönlicher Dank gilt vor allem meiner Frau Martina, die mich zu jeder Zeit unterstützt hat und mir in schwierigen Zeiten zur Seite stand. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, Katrin und Peter, und meinen Großeltern, Christine und Rainer Glöckner. Sie haben mich stets ermutigt zu Forschen und diese Arbeit zu verfassen.

Hamburg,

im Dezember 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Aufbau der Arbeit	4
2	Grundlagen	5
2.1	Modelle und Modellbildung im Kontext von Arbeitssystemen.....	5
2.1.1	Modelle – Definition und Merkmale	5
2.1.2	Modellbildung.....	8
2.2	Das Produktionsmanagement und seine Teilbereiche	12
2.2.1	Das Produktionsmanagement	12
2.2.2	Produktivität und Arbeitsproduktivität	14
2.2.3	Logistische Zielgrößen und ihre Modellierung	15
3	Bestehende Produktivitätsmodelle	23
3.1	Literaturrecherche	23
3.2	Übergeordnete Produktivitätsmodelle	28
3.3	Modelle der Arbeitsproduktivität.....	31
3.3.1	Empirische Modelle der Arbeitsproduktivität.....	32
3.3.2	Analytische Arbeitsproduktivitätsmodelle	34
3.4	Defizite bei der Modellierung der Arbeitsproduktivität	46
4	Modellierung der Arbeitsproduktivität	49
4.1	Anforderungen an die Modellierung der Arbeitsproduktivität.....	49
4.2	Vorgehen zur Modellbildung und Grundaufbau des Modells.....	51
4.3	Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität	53
4.3.1	Regelgrößen des Modells	53
4.3.2	Stellgrößen des Modells.....	55
4.3.3	Formalisierung des Modells	60
4.4	Aufgaben des Arbeitsproduktivitätsmodells	66
4.4.1	Definition der Aufgaben.....	67
4.4.2	Verknüpfung von Stellgrößen und Aufgaben	71
5	Konzept zur Nutzung des Arbeitsproduktivitätsmodells	77

5.1	Vorgehen zur Modellnutzung.....	77
5.2	Übertragung des Modells an den Untersuchungsbereich	79
5.2.1	Beschreibung der Arbeitsaufgabe	79
5.2.2	Abgleich der Modellaufgaben.....	80
5.3	Erfassung von Produktivitätsdaten	82
5.3.1	Definition der relevanten Produktivitätsdaten	82
5.3.2	Erhebung der Produktivitätsdaten	85
5.4	Modellbasierte Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität.....	88
5.4.1	Datenauswertung und -analyse.....	89
5.4.2	Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen.....	91
5.4.3	Prognose von Produktivitätsveränderungen.....	93
5.4.4	Kontrolle der Verbesserungswirkung.....	96
6	Evaluierung des Arbeitsproduktivitätsmodells.....	99
6.1	Vorgehen zur Evaluierung	99
6.2	Modellvalidierung	101
6.3	Fallstudien.....	102
6.3.1	Fallstudie 1 – Serienfertigung von Kettensägen	102
6.3.2	Fallstudie 2 – Montagetätigkeit auf Baustellen	104
6.4	Expertenbefragungen	109
6.5	Fazit der Modellevaluierung.....	112
7	Kopplung der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen.....	117
7.1	Vorgehen zur Modellkopplung	117
7.2	Verknüpfung von Kapazität, Produktivität und Abgang	118
7.3	Schaffung eines Gesamtmodells über die Produktivität und die logistischen Zielgrößen.....	121
7.3.1	Das erweiterte Modell der Fertigungssteuerung	122
7.3.2	Produktivitätskennlinien	124
7.3.3	Produktivität und Termintreue	127
7.3.4	Produktivität, Bestand und Durchlaufzeit.....	132

7.4	Evaluation des Kopplungsmodells	137
7.4.1	Vorgehen bei den Simulationsstudien und Modellaufbau	138
7.4.2	Studie 1: Produktivitätskennlinien.....	139
7.4.3	Studie 2: rückstandsbedingte Terminabweichung, Bestand und Durchlaufzeit.....	141
7.4.4	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse	147
7.5	Implikationen für die PPS	148
8	Schlussbetrachtung.....	151
8.1	Zusammenfassung.....	151
8.2	Fazit und Ausblick	152
	Literaturverzeichnis.....	155
	Anhang	163

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beziehungsdreieck der Modellbildung nach Töllner et al. [Töll10, S. 10] 8

Abbildung 2: Vorgehen zur Modellbildung in Anlehnung an Töllner et al. [Töll10, S. 11ff.] 9

Abbildung 3: Zusammenwirken von Induktion und Deduktion bei der Modellbildung und -validierung in Anlehnung an Helfrich [Helf16, S. 32] 11

Abbildung 4: Das Produktionsmanagement und seine Teilbereiche in Anlehnung an [VDI2870] 13

Abbildung 5: Modell der Fertigungssteuerung nach Lödding [Lödd16, S. 8] 16

Abbildung 6: Trichtermodell und Durchlaufdiagramm nach Bechte [Nyhu12, S. 25] 19

Abbildung 7: Kennlinienverlauf für ausgewählte Zielgrößen in Anlehnung an Nyhuis [Nyhu12, S. 37] 21

Abbildung 8: Relevante Einflussfaktoren auf die Arbeitsproduktivität nach Jang et al [Jang11, S. 105] 33

Abbildung 9: Konzept der Produktivitätsgrenze nach Hedman [Hedm16, S. 31] 38

Abbildung 10: Arbeitszeitkategorien des ILO nach Sakamoto [Saka10, S. 51] ... 39

Abbildung 11: Ablaufartengliederung für den Menschen [REFA97, S. 23] 41

Abbildung 12: Generischer Arbeitszyklus für direkte Bereiche [Tiet16, S. 34] 45

Abbildung 13: Grundaufbau des Modells der Arbeitsproduktivität 52

Abbildung 14: Modell der Arbeitsproduktivität (Regelgrößen) 53

Abbildung 15: Stellgrößen und Aufgaben - Durchführung der Arbeitsaufgabe 55

Abbildung 16: Stellgrößen der Regelgröße Auslastungsverluste 57

Abbildung 17: Stellgrößen der Regelgröße ungeplante Abwesenheit 58

Abbildung 18: Stellgrößen der Regelgröße geplante Abwesenheit 59

Abbildung 19: Stellgrößen und Aufgaben - Ausschuss 60

Abbildung 20: Einfluss der inputbezogenen Regelgrößen 63

Abbildung 21: Einfluss des Ausschusses 66

Abbildung 22: Aufgaben mit Bezug zur Durchführung der Arbeitsaufgabe 73

Abbildung 23: Aufgaben mit Bezug zu Auslastungsverlusten 73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 24: Aufgaben mit Bezug zur geplanten Abwesenheit.....	74
Abbildung 25: Aufgaben mit Bezug zur ungeplanten Abwesenheit.....	75
Abbildung 26: Aufgaben mit Bezug zum Ausschuss.....	76
Abbildung 27: Anpassung und Nutzung des Arbeitsproduktivitätsmodells.....	78
Abbildung 28: Entscheidungsbaum für Multimomentaufnahmen nach Grabner et al. [Grab18, S. 121].....	88
Abbildung 29: Regelgrößenmodell der Arbeitsproduktivität (fiktives Beispiel).....	90
Abbildung 30: Stellgrößenmodell <i>Durchführung der Arbeitsaufgabe</i> (fiktives Beispiel).....	91
Abbildung 31: Bedeutung der Aufgaben für die Arbeitsproduktivität in Anlehnung an [Grab18, S. 18].....	93
Abbildung 32: Zeitliche Entwicklung der Regelgrößen in Anlehnung an Grabner [Grab20, S. 71f.] (fiktives Beispiel).....	97
Abbildung 33: Regelgrößenmodell der Arbeitsproduktivität (Fallstudie 1).....	103
Abbildung 34: Stellgrößenmodell <i>Durchführung der Arbeitsaufgabe</i> (Fallstudie 1).....	103
Abbildung 35: Regelgrößenmodell der Arbeitsproduktivität (Fallstudie 2).....	107
Abbildung 36: Stellgrößenmodell <i>Auslastungsverluste</i> (Fallstudie 2).....	108
Abbildung 37: Stellgrößenmodell <i>Durchführung der Arbeitsaufgabe</i> (Fallstudie 2).....	108
Abbildung 38: Zustimmung der Teilnehmer zu Aussagen über Vollständigkeit und Allgemeingültigkeit des Modells.....	110
Abbildung 39: Zustimmung der Teilnehmer zu Aussagen über den Modellnutzen zur Ableitungen von Maßnahmen.....	111
Abbildung 40: Zustimmung der Teilnehmer über Aussagen zu Verständlichkeit und Erklärwert des Modells.....	112
Abbildung 41: Kapazität und Leistung nach Nyhuis und Wiendahl [Nyhuis 2012 S. 66].....	120
Abbildung 42: Zusammenhang zwischen Kapazität, Produktivität und Leistung/Abgang [Glöckner 2016].....	121
Abbildung 43: Erweitertes Modell der Fertigungssteuerung [Glöc16, S. 151]...	122
Abbildung 44: Einfluss der Produktionsplanung auf die Produktivität.....	123
Abbildung 45: Einflüsse der Produktivität auf die logistischen Zielgrößen.....	124
Abbildung 46: Produktivitätskennlinie [Glöc19, S. 238].....	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 47: Änderung des Rückstands und der rückstandsbedingten Terminabweichung nach Kuyumcu [Kuyu13, S. 45].....	128
Abbildung 48: Rückstandsänderungsrate und Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung [Glöc19, S. 238].....	131
Abbildung 49: Kennlinie über den Zusammenhang zwischen Kapazität, Produktivität und rückstandsbedingter Terminabweichung	132
Abbildung 50: Bestandsänderungsrate und Änderung der Durchlaufzeit.....	134
Abbildung 51: Bestandsänderungsrate und Änderungsrate der Durchlaufzeit..	136
Abbildung 52: Schematischer Aufbau des Simulationsmodells	138
Abbildung 53: Vergleich der berechneten und simulierten Werte für Produktivität und Leistung	140
Abbildung 54: Erwarteter Verlauf der Durchlaufdiagramme der Versuchsreihe	142
Abbildung 55: Durchlaufdiagramm des Plan- und Ist- Abgangs und Rückstandsänderung (Studie 2).....	143
Abbildung 56: Berechnete und tatsächliche Rückstandsverläufe der Versuche 1-3	145
Abbildung 57: Durchlaufdiagramm und Bestandsentwicklung (Studie 2).....	146

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für Modelle und Modellziele 7

Tabelle 2: Modellformen relevanter Vorarbeiten 25

Tabelle 3: Begriffe für die Suche und Eingrenzung deutschsprachiger Literatur . 26

Tabelle 4: Begriffe für die Suche und Eingrenzung englischsprachiger Literatur 26

Tabelle 5: Performanz-Faktoren [Hedm16, S. 30] 37

Tabelle 6: Auslastungs-Faktoren [Hedm16, S. 30]..... 37

Tabelle 7: Zustandshierarchie zur Modellierung der bezahlten Arbeitszeit
[Czum13, S. 39] 43

Tabelle 8: Regel- und Stellgrößen der Arbeitsproduktivität 61

Tabelle 9: Arbeitsaufgaben und zugehöriger Output..... 80

Tabelle 10: Daten zur Erfassung der output-bezogenen Stell- und Bezugsgrößen
..... 83

Tabelle 11: Mitarbeiterzustände für geplantes und ungeplantes Fehlen 83

Tabelle 12: Mitarbeiterzustände für Auslastungsverluste 84

Tabelle 13: Mitarbeiterzustände für die Stellgrößen der Durchführung der
Arbeitsaufgabe 84

Tabelle 14: Datentypen und Erfassungsart bestehender Analyseverfahren 86

Tabelle 15: Überblick über das Evaluationsverfahren 100

Tabelle 16: Abweichende Aufgaben für das Arbeitsproduktivitätsmodell (Fallstudie
2)..... 106

Tabelle 17: Vor- und Nachteile verschiedener Erfassungsarten für den Abgang/
Output eines Arbeitssystems 118

Tabelle 18: Versuchsreihen der ersten Simulationsstudie 139

Tabelle 19: Gegenüberstellung der berechneten und simulierten Werte für die
Änderungsrate von Rückstand und Terminabweichung 145

Tabelle 20: Gegenüberstellung der berechneten und simulierten Werte für die
Bestandsänderungsrate..... 147

Tabelle 21: Komponenten und Einflussgrößen des Produktivitätsmodells von
Jang et al. [Jang2011, S. 102]..... 166

Tabelle 22: Vergleich der Einflussfaktoren zwischen dem Modell der
Arbeitsproduktivität und dem Vergleichsmodell..... 167

Abkürzungsverzeichnis

BKT	Betriebskalendertag
FIFO	First In First Out
MTM	Methods-Time Measurement
MMH	Multimoment-Häufigkeits-Studie
OEE	Overall Equipment Efficiency
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
REFA	Name des Verbands für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (ursprünglich Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung)

Verzeichnis der Formelzeichen

Formelzeichen der Regel- und Bezugsgrößen

AB/ AB _{gut}	gesamte produzierte Menge [Stk.] (Abgang)/ Abgang Gutteile [Stk.]
AU	Menge an produziertem Ausschuss [Stk.]
IN	Input
OUT	Output
PRO	Produktivität
ZA	Zeit für die Auslastungsverluste [Std.]
ZD	Zeit für die Durchführung der Arbeitsaufgabe [Std.]
ZAR _{bez}	bezahlte Arbeitszeit [Std.]
ZPA	Zeit für geplante Abwesenheit [Std.]
ZUA	Zeit für ungeplante Abwesenheit [Std.]

Formelzeichen der Stellgrößen

ANT	Anteil
ZBE	Zeit für Aufgabenbearbeitung [Std.]
ZIH	Zeit für Informationshandhabung [Std.]
ZMH	Zeit für Materialhandhabung [Std.]
ZKA	Zeit für kapazitätsbedingte Auslastungsverluste [Std.]
ZKF	Zeit für krankheitsbedingtes Fehlen [Std.]
ZN	Zeit für Nacharbeit [Std.]
ZS	Zeit für Störungsbehebung [Std.]
ZSF	Zeit für sonstiges Fehlen [Std.]
ZU	Zeit für Urlaub und Pausen [Std.]
ZVN	Zeit für Vor- und Nachbereitung [Std.]
ZW	Zeit für Weiterbildungen [Std.]
ZZ	Zeit für zusätzliche Tätigkeiten [Std.]

Formelzeichen des Kopplungsmodells

ANZ _{MA}	Anzahl der Mitarbeiter pro Schicht im Arbeitssystem [-]
ANZ _S	Anzahl der Schichten [-/BKT]
AZ	Arbeitszeit pro Schicht [Std.]
B	Umlaufbestand des Arbeitssystems [Stk.]
BEL	Belastung [Stk./BKT]
KAPA	Kapazität des Arbeitssystems [Std./BKT]
L	Leistung [Stk./BKT]
P	Länge des Betrachtungszeitraums [BKT]
PRO	Produktivität/ Arbeitsproduktivität [Stk./STD.]
R	Reichweite [BKT]
RB	Änderungsrate des Bestands [Stk./BKT]
RS	Rückstand [Stk.]
RRS	Änderungsrate des Rückstands [Stk./BKT]
RTAA _{RS}	Änderungsrate der rückstandsbedingten Terminabweichung [-]
RZDL	Änderungsrate der Durchlaufzeit
TAA _{RS}	rückstandsbedingte Terminabweichung [BKT]
ZDL	Durchlaufzeit [BKT]

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Arbeitsproduktivität und ihre Modelle

Die Produktivität von Arbeitsprozessen ist schon seit den Anfängen der Industrialisierung im späten 18. Jahrhundert wesentliche Zielgröße für produzierende Unternehmen. Die Arbeitsproduktivität ist eine Teilproduktivität, bildet das Verhältnis von Output zu eingesetzter Arbeitszeit ab und gibt die Ergiebigkeit des Produktionsfaktors menschliche Arbeit wieder [Neb102, S. 7; Bokr06, S. 3]. Sie bestimmt daher die Anzahl an Mitarbeitern, die erforderlich sind, um ein Produktionsprogramm zu realisieren. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist eine hohe Arbeitsproduktivität eine notwendige Bedingung für den ökonomischen Erfolg und den Wohlstand einer Volkswirtschaft. Die Steigerung der Arbeitsproduktivität bildet daher die Grundlage für Lohnsteigerungen bzw. erlaubt es Unternehmen, bei steigenden Löhnen weiterhin zu wettbewerbsfähigen Kosten zu produzieren [Erbe12, S. 7; Port98, S. 562ff.; Bokr06, S. 4f.].

Auf Grund der großen Bedeutung der Arbeitsproduktivität ist ihre Modellierung seit langem Gegenstand der Forschung. Erste Untersuchungen von Arbeitssystemen mit dem Ziel der Produktivitätssteigerung finden sich in den Arbeiten von Taylor [Tay111] und Gilbreth [Gilb12]. Konzepte und Modelle, die auf den Arbeiten von Taylor und Gilbreth aufbauen, wie die REFA-Systematik [REFA78] oder Methods-Time-Measurement (MTM) sind bis heute weit verbreitete Ansätze für die Beschreibung der Arbeitszeit von Mitarbeitern. In der jüngeren Vergangenheit hat sich jedoch gezeigt, dass diese klassischen Modelle die Arbeitsproduktivität nicht mehr ausreichend gut beschreiben. Ein Grund dafür ist die Fokussierung dieser Ansätze auf mechanische und repetitive Arbeitsprozesse. Heute prägen jedoch vielfach variable Arbeitsprozesse in Folge einer steigenden Variantenvielfalt die Produktion. Damit einher geht auch eine steigende Bedeutung der Informationshandhabung in Arbeitsprozessen, die diese Ansätze nur zum Teil abbilden können.

Das Aufkommen der Methoden des Lean Management [Woma04] und ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) [VDI2870] in westlichen Industrienationen in den 1990er Jahren führte neue Methoden und Vorgehensweisen ein, um die Produktivität zu verbessern. Ein Schwerpunkt liegt darauf Verschwendung in den Produktionsprozessen zu identifizieren und zu vermeiden und so den Anteil wertschöpfender Tätigkeiten zu erhöhen. Zumindest in ihren Ursprüngen sind diese Methoden jedoch auch auf die Großserienproduktion mit repetitiven Arbeitsprozessen ausgerichtet. Ihre Übertragung auf abweichende Randbedingungen ist daher nur in Teilen möglich.

Das Aufkommen von Industrie 4.0 und Konzepten wie Smart Manufacturing und Cyber Physical Manufacturing Systems rückt die Digitalisierung der Produktionsprozesse in den Blickpunkt. In vielen Forschungsprojekten und Entwicklungsinitiativen entstanden in der jüngeren Vergangenheit zahlreiche Werkzeuge, um Daten der Produktionsprozesse zu erheben und auszuwerten und die Produktionsprozesse so zu verbessern. Es fehlt jedoch eine Verknüpfung dieser Werkzeuge zu existierenden Produktivitätsmodellen und somit eine Möglichkeit, diese Werkzeuge gezielt für die Verbesserung der Produktivität auszuwählen. Gleichzeitig tragen diese Entwicklungen dazu bei, dass der Informationshandhabung in den Produktionsprozessen eine größere Bedeutung zukommt. Dieser Umstand wird durch bestehende Produktivitätsmodelle nur unzureichend abgebildet.

Produktivitätsmanagement und Produktionsplanung und -steuerung

Der Vergleich zwischen den Modellen der logistischen Zielgrößen (z.B. Durchlaufzeit und Termintreue) und den existierenden Arbeitsproduktivitätsmodellen offenbart, dass selbst die offensichtlichen Wechselwirkungen zwischen den Modellen nicht abgebildet werden. Sowohl in der industriellen Praxis als auch in der Forschung wird die Produktivität von Arbeitssystemen durch das Produktivitätsmanagement bzw. das Industrial Engineering¹ adressiert [Dorn14, S. 1].

Vollkommen unabhängig zu diesem Bereich hat sich mit dem Aufkommen von Computersystemen in der Produktion die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) entwickelt [Hack89, S. 1f.]. Die PPS nutzt dabei überwiegend quantitative Modelle zur Beschreibung der logistischen Zielgrößen. Die historische Trennung dieser beiden Unternehmens- und Wissenschaftsbereiche wurde bisher nicht erfolgreich überwunden [Lödd14, S. 23]. Zwar existieren quantitative Beschreibungen der Wechselwirkungen, allerdings beschreiben weder die Modelle der logistischen Zielgrößen noch die der Arbeitsproduktivität diese Wechselwirkungen detailliert und in quantitativer Form.

¹ für eine detaillierte Abgrenzung der Begriffe Produktivitätsmanagement und Industrial Engineering siehe [Stow13, Dorn14].

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein Arbeitsproduktivitätsmodell zu entwickeln, das die relevanten Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität allgemeingültig für verschiedene Fertigungsformen und Arbeitsaufgaben beschreibt. Darüber hinaus soll das Modell Aufgaben definieren, die die beschriebenen Einflüsse gezielt adressieren, um die Arbeitsproduktivität zu verbessern. Ziel ist es außerdem, ein Kopplungsmodell zu entwickeln, das die Wechselwirkungen zwischen der Arbeitsproduktivität und den logistischen Zielgrößen abbildet. Das Kopplungsmodell soll die Grundlage für ein abgestimmtes Produktionsmanagement bilden, das die Produktivität und die logistischen Zielgrößen gleichermaßen berücksichtigt.

Die vorliegende Arbeit verfolgt dazu die folgenden Teilziele:

Teilziel 1: Quantitative Abbildung der Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität

Hauptziel ist es, alle relevanten Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität detailliert, ausgewogen und in quantitativer Form zu beschreiben. Diese Beschreibung der Wirkzusammenhänge zwischen den Einflüssen und der Arbeitsproduktivität bildet die Voraussetzung dafür, das Modell als theoretische Grundlage für eine systematische Verbesserung der Arbeitsproduktivität zu nutzen.

Teilziel 2: Schaffung einer theoretischen Grundlage für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität

Angelehnt an die Modellierung der logistischen Zielgrößen soll das Modell die identifizierten Einflüsse mit konkreten Aufgaben verknüpfen und so aufzeigen, wie Unternehmen die Arbeitsproduktivität gezielt verbessern können. Ziel ist hier, die Zusammenhänge zwischen den Aufgaben des Produktivitätsmanagements und der Arbeitsproduktivität aufzuzeigen, um so sinnvolle Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können.

Teilziel 3: Kopplung der Modellierung der Arbeitsproduktivität und der Modelle der logistischen Zielgrößen

Das Modell soll nicht nur Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität abbilden, sondern bewusst andere Bereiche des Produktionsmanagements mit Bezug zur Arbeitsproduktivität aufzeigen. Dabei liegt der Schwerpunkt auf einem Kopplungsmodell, das die Wirkzusammenhänge zwischen den logistischen Zielgrößen und der Arbeitsproduktivität aufzeigen soll.

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 beschreibt die Grundlagen der Arbeit und geht dazu insbesondere auf Modelle und auf das Produktionsmanagement und seine Teilbereiche und Zielgrößen ein.

Da die Produktivität und speziell die Arbeitsproduktivität schon seit langem Gegenstand wissenschaftlicher Forschungen in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen ist, werden die bestehenden Modellierungsansätze zunächst genau untersucht. Kapitel 3 nimmt dazu im ersten Schritt eine systematische Analyse der existierenden Fachliteratur auf diesem Gebiet vor und stellt relevante Ansätze zur Modellierung der Arbeitsproduktivität vor. Anhand dieser Ansätze wird ein Forschungsdefizit abgeleitet.

Kapitel 4 beschreibt aufbauend auf diesem Defizit die Anforderungen an ein umfassendes Modell der Arbeitsproduktivität, das Vorgehen für die Modellbildung und schließlich das resultierende Modell. Dieses soll die Arbeitsproduktivität erklären, das Verständnis über die Wirkzusammenhänge relevanter Einflüsse erhöhen und damit eine Grundlage für die zielgerichtete Verbesserung und Prognose der Arbeitsproduktivität bilden.

Kapitel 5 erläutert, wie Unternehmen das Modell nutzen können, um Produktivitätsdaten auszuwerten, Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und deren Wirkung auf die Produktivität zu prognostizieren.

Kapitel 6 beschreibt sowohl das Vorgehen zur Evaluierung des Modells der Arbeitsproduktivität als auch ihre Ergebnisse. Die Evaluierung besteht aus drei Teilen und beinhaltet unter anderem die Untersuchung von Fallstudien und die Befragung von Experten.

Die Produktivität wirkt unmittelbar auch auf die logistischen Zielgrößen. Das in Kapitel 7 beschriebene Kopplungsmodell bildet die mathematischen Zusammenhänge zwischen der Arbeitsproduktivität und den logistischen Zielgrößen ab. Dies ermöglicht es, die Wechselwirkungen zwischen der PPS und dem Produktivitätsmanagement zu beschreiben. Das Kapitel erläutert zudem, die Evaluierung des Kopplungsmodells mit Hilfe von Simulationsstudien.

Kapitel 8 schließt die Arbeit ab, formuliert ein Fazit und leitet den weiteren Forschungsbedarf ab.

2 Grundlagen

Ein wesentliches Ziel der Arbeit ist es, ein umfassendes Modell der Arbeitsproduktivität zu entwickeln. Entsprechend sind sowohl Modelle und insbesondere die Modellbildung (Abschnitt 2.1) als auch das Produktionsmanagement mit seinen Teilbereichen (Abschnitt 2.2) wichtige Grundlagen.

Dazu erläutert Abschnitt 2.1 zunächst die Definition und wesentliche Merkmale von Modellen und stellt anschließend verschiedene Vorgehensweisen für die Modellbildung gegenüber. Abschnitt 2.2 beschreibt zuerst die Zielgrößen des Produktionsmanagements und geht danach auf die Teilbereiche ein, die den Zielgrößen zugeordnet werden. Aufgrund der Zielsetzung der Arbeit, die Wechselwirkungen zwischen Arbeitsproduktivität und logistischen Zielgrößen zu modellieren, konzentriert sich dieser Abschnitt auf diese Bereiche des Produktionsmanagements.

2.1 Modelle und Modellbildung im Kontext von Arbeitssystemen

Arbeitssysteme können durch die Elemente Arbeitsperson(en), Arbeitsauftrag, Arbeitsaufgabe, Eingabe, Ausgabe und Umwelteinflüsse beschrieben werden [REFA93, S. 25; Schl10, S. 36]. Diese Betrachtungsweise ist nicht auf eine spezielle Ebene beschränkt und kann daher sowohl einzelne Arbeitsplätze als auch ganze Betriebe umfassen. Auf Grund des Zusammenwirkens von technischen und sozialen Systemen sind Arbeitssysteme sozio-technische Systeme [Schl10, S. 35]. Entsprechend orientiert sich ihre Modellierung am Modellverständnis der Sozial- und Technikwissenschaften. Die folgenden Ausführungen beschreiben wesentliche Merkmale von Modellen (Abschnitt 2.1.1) und Vorgehensweisen zur Modellbildung (Abschnitt 2.1.2).

2.1.1 Modelle – Definition und Merkmale

Modelle sind „eine für einen bestimmten Zweck gebildete, vereinfachende Abbildung eines als System aufgefassten Realitätsabschnitts“ [Rosk86 nach ; Töll10, S. 8]. Sie haben die Funktion, relevantes Wissen über einen Gegenstandsbereich zu ordnen [Helf16, S. 76]. Dazu bedienen sich Modelle der grafischen Darstellung oder mathematischer Ausdrücke. Modelle sind erforderlich, da betrachtete Realitätsabschnitte häufig auf Grund ihrer Größe, Komplexität oder weil sie noch nicht existieren, nicht vollständig untersucht werden können [Töll10, S. 8].

Modelle treten in verschiedensten Formen auf (z.B. CAD-Modelle, Simulationsmodelle, etc.) weisen jedoch neben den spezifischen Modelleigenschaften allgemeingültige Merkmale auf: das Abbildungs-, Verkürzungs- und das pragmatische Merkmal [Stac73, S. 132f.].

Abbildungsmerkmal: Modelle sind Abbilder realer Systeme oder künstlicher Konstrukte in Form von Systemen (künstliche Originale oder Urbilder). Dabei spielt es keine Rolle, ob die Originale natürlichen (Wettermodelle) oder künstlichen (Unternehmen) Ursprungs sind, als physisches Objekt (Modelleisenbahn) existieren oder theoretischer oder virtueller Natur (CAD-Entwurf) sind. Ein Modell kann folglich auch das Abbild eines anderen Modells sein [Stac73, S. 131].

Verkürzungsmerkmal: Modelle repräsentieren nur einen Teil des Originals. Sie bilden nur solche Attribute ab, die für den Ersteller oder Nutzer von Interesse sind, und blenden andere aus. Die relevanten Attribute sind wiederum vom Ziel oder Zweck des Modells abhängig und können sich daher je nach Ersteller und Nutzer und dem jeweiligen Zweck ändern. Gleichzeitig stellt die Verkürzung auch eine Reduktion oder Vereinfachung gegenüber der Realität oder des Originals dar. Dies ist notwendig, um das Modell für seinen Zweck handhabbar zu machen (siehe Pragmatisches Merkmal) [Stac73, S. 132f.].

Pragmatisches Merkmal: Modelle existieren zweckgebunden und sind daher nur in einem bestimmten Zeitraum, gemäß einer bestimmten Zweckmäßigkeit und im Rahmen von bestimmten Operationen gültig. Die Nutzung eines Modells ist daher nur für Personen möglich, die mit der Verwendung des jeweiligen Modells vertraut sind und Kenntnis über den Zweck des Modells haben [Stac73, S. 132f.].

Auf Grund dieser allgemeinen Merkmale sind Modelle nicht selbständig, sondern sind an ihren Zweck/ihr Ziel gebunden. Zu den Modellzielen gehören die [Töll10, S. 8]:

- Beschreibung,
- Erklärung und Demonstration,
- Prognose,
- mathematischen Berechnung,
- experimentellen Untersuchung,
- Planung und
- Gestaltung und Verbesserung realer Systeme.

Eine Modellierung kann dabei die verschiedenen oben bereits genannten Ziele verfolgen. Ein Modell zur Beschreibung und Erklärung eines Systems oder Sachverhalts kann z.B. auch zur Verbesserung desselben Systems eingesetzt werden. Beispiele für Modelle und zugehörige Modellziele sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Beispiele für Modelle und Modellziele

Modell	Ziele
Wettermodell	Beschreibung, Prognose, experimentelle Untersuchung
CAD-Modell	Beschreibung, Planung realer Systeme
Simulationsmodell	mathematische Berechnung, experimentelle Untersuchung

Der Zweck bzw. das Ziel des Modells wird durch die Person bestimmt, die das Modell erstellt oder nutzt. Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die Arbeitsproduktivität detailliert zu beschreiben und die Wirkung verschiedener Einflüsse auf sie zu erklären. Für einen Modellnutzer ist die Beschreibung und Erklärung der Arbeitsproduktivität von geringerer Bedeutung, er wird stattdessen die Verbesserung der Arbeitsproduktivität als Modellziel priorisieren.

Abbildung 1 stellt das Beziehungsdreieck der Modellierung dar. Es zeigt die drei wesentlichen Elemente der Modellbildung, bestehend aus Modellobjekt, Modellsujet und Modell.

Das *Modellobjekt* ist der eigentliche Modellgegenstand bzw. das Objekt oder Konstrukt, dessen Struktur oder Verhalten modelliert werden soll. Eine große Bedeutung kommt der Systemgrenze des Modellobjekts zu. Sie trennt die Elemente des Modellobjekts (System) von seinem Umfeld (Systemumfeld) und seinen Elementen oder Subsystemen. Reale Objekte haben physische Grenzen (z.B. Gehäuse), die für eine Abgrenzung herangezogen werden können und die über wenige definierte Schnittstellen (z.B. Anschlüsse) für die Interaktion mit dem Umfeld verfügen. Bei der Betrachtung sozio-technischer Systeme, zu denen auch Arbeits- und Managementsysteme gehören, handelt es sich in der Regel um willkürlich definierte Systemgrenzen, die vielfältige Beziehungen zwischen System und Umfeld zulassen (offene Systeme) [Daen02, S. 6].

Der *Ersteller* oder *Nutzer* bestimmt den Modellzweck und gestaltet oder nutzt das Modell. Es ist für die Modellbildung oder Modellierung daher von zentraler Bedeutung. Dies muss im Besonderen beachtet werden, wenn es sich bei Ersteller und Nutzer eines Modells um unterschiedliche Personen handelt oder mehrere Personen an der Modellbildung beteiligt sind. In diesem Fall ist es notwendig, dass das

jeweilige Ziel des Modells bekannt ist. Der Ersteller des Modells muss bei der Modellierung definieren, welche Ziele ein Modell verfolgen kann (z.B. Prognose oder Gestaltung und Verbesserung). Zudem muss der Ersteller Möglichkeiten für die Veränderung des Modells und ein Nutzungskonzept aufzeigen (z.B. Anpassung allgemeiner Modelle an spezifische Systeme). Dies erleichtert es dem Nutzer, das Modell für seine Ziele zu nutzen.

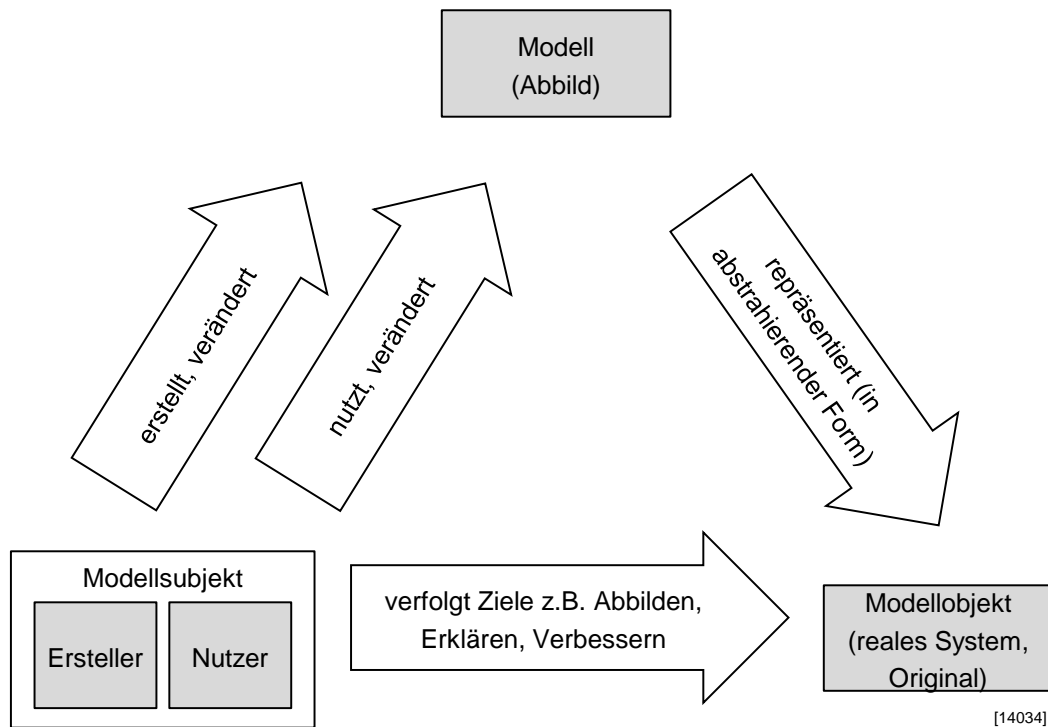
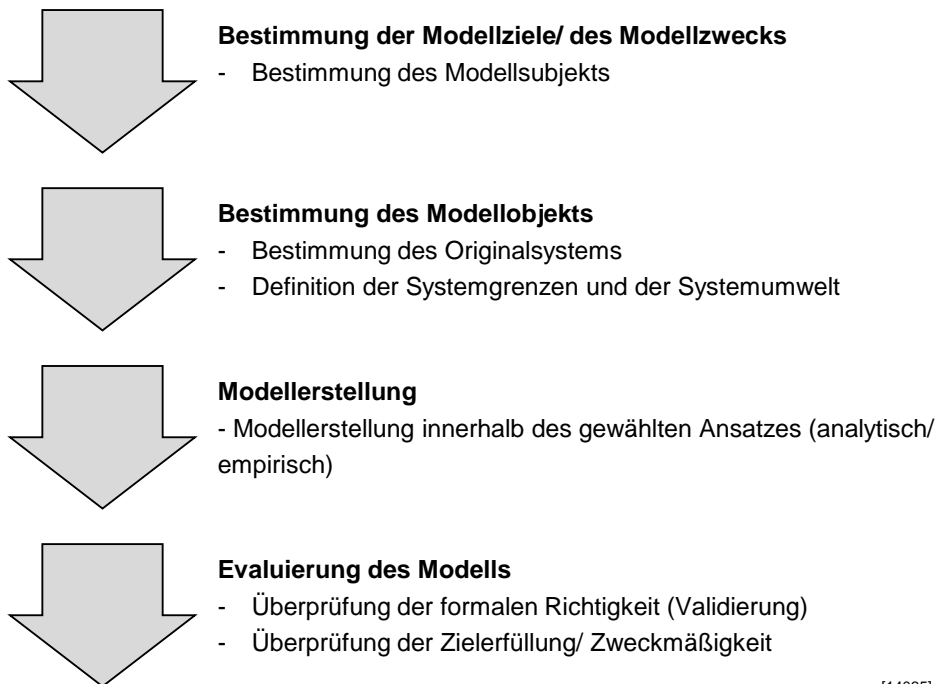


Abbildung 1: Beziehungsdreieck der Modellbildung nach Töllner et al. [Töll10, S. 10]

Das *Modell* selbst ist ein Konstrukt, bestehend aus den oben genannten Elementen, Beziehungen und Systemgrenzen bzw. der Systemumwelt. Die Bestandteile des Modells bilden dabei jene Attribute des Originals ab, die für den jeweiligen Modellzweck relevant sind [Töll10, S. 8f.]. Modelle von Arbeitssystemen können beispielsweise Maschinen oder Mitarbeiter abbilden, je nachdem, welche der beiden Komponenten für die Zielstellung des Modells entscheidend sind.

2.1.2 Modellbildung

Als Modellbildung oder Modellierung wird die Neugestaltung oder das Verändern eines Modells verstanden [VDI2249]. Auf Grund der Beziehungen aus Abbildung 1 können für die Modellbildung die vier Aufgaben definiert werden (vgl. Abbildung 2).



[14035]

Abbildung 2: Vorgehen zur Modellbildung in Anlehnung an Töllner et al. [Töll10, S. 11ff.]

Die *Bestimmung des Zwecks eines Modells* ist der wichtigste Schritt bei der Modellbildung, da der Modellzweck maßgeblich die Anforderungen an das Modell bestimmt. Wie bereits erläutert, können Modelle gleichzeitig verschiedene Zwecke erfüllen, und in einigen Fällen ist es nicht möglich, die verschiedenen Zwecke voneinander zu trennen. So ist es z.B. häufig nicht möglich, ein Modell mit dem Ziel zu erstellen, ein reales System zu gestalten und zu verbessern, ohne dass dieses Modell auch der Beschreibung des Systems dient. Es ist jedoch von Vorteil, wenn nur wenige Ziele mit der Modellierung verfolgt werden. Ein solches spezialisiertes Modell ist in der Regel weniger fehleranfällig und kann effizient genutzt werden [Boss92, S. 28ff.].

Die *Bestimmung des Modellobjekts* ist der nächste Schritt bei der Modellierung. Dafür ist es erforderlich, das System des Modellobjekts gemäß des Modellzwecks von seiner Umgebung abzugrenzen, aber mögliche Beziehungen zwischen System und Umwelt zu berücksichtigen. Bei technischen Systemen ist dies häufig durch reale physikalische Schnittstellen (z.B. Außenhülle, Anschlüsse) möglich. Eine Grenzdefinition ist bei sozialwissenschaftlich geprägten Systemen schwieriger. Die Abgrenzung muss in diesem Fall so erfolgen, „*dass das System möglichst selbstständig funktioniert*“ [Töll10, S. 10]. Hierbei sind sozio-technische Systeme hervorzuheben, da die Systemgrenzen durch die technischen Merkmale eines

Systems bestimmt werden, durch das Verhalten des Menschen aber umfangreiche Beziehungen mit der Systemumwelt auftreten können.

Da es sich bei Modellen genauso wie bei den Originalen um Systeme handelt, müssen im Rahmen der Modellierung die Elemente und Beziehungen des Systems „Modell“ bestimmt werden. Dazu erfolgt eine Abstraktion der Attribute des Originals. Diese dient dazu, die Komplexität des betrachteten Gegenstandsbereichs zu reduzieren, um wichtige Aspekte gegenüber unwichtigen hervorzuheben [VDI3633]. Ein Modell sollte demnach „*so einfach wie möglich und so kompliziert wie nötig*“ sein [Helf16, S. 68]. Wie bei wissenschaftlichen Aussagen auch, gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten, um Modelle abzuleiten. Sie können sich zum einen aus empirischen Aussagen zusammensetzen oder sie können das Ergebnis eines analytischen Vorgehens sein. Empirische Aussagen und Modelle beziehen sich auf die Realität und entstehen durch Induktion. Bei der Induktion schließt man vom Besonderen auf das Allgemeine und leitet aus einer Gesamtheit von einzelnen Fällen allgemeine Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge ab. Eine empirische Modellbildung bietet den Vorteil, dass sie mit Hilfe von statistischen Methoden überprüft werden kann. Ihre Richtigkeit ist daher anhand der Realität überprüfbar. Dieses Vorgehen weist jedoch das Problem auf, dass die Beobachtungen, auf denen sie beruhen, sich nur begrenzt auf zukünftige Situationen oder andere Modellobjekte übertragen lassen und dass sie nicht zwangsläufig eine kausale Erklärung für den beobachteten Zusammenhang liefern. Ein analytisches Vorgehen nutzt die Deduktion, bei der vom Allgemeinen auf das Besondere geschlossen wird. Dazu nutzt man allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten, die in Kombination Aussagen über besondere Situationen zulassen. Ein solches Vorgehen weist das Problem auf, dass es kaum ausnahmslos geltende Gesetzmäßigkeiten für sozio-technische Systeme gibt und die Richtigkeit der Aussagen nur schwer überprüfbar ist [Helf16, S. 30ff.].

Unabhängig von der Art der Modellierung kommt der Modellvalidierung eine besondere Bedeutung zu. Sie überprüft, ob das Modell hinsichtlich des Modellziels das tatsächliche Verhalten des Originals in ausreichender Güte abbilden kann [VDI3633]. Statistische Tests können empirische Modelle validieren. Dazu wird häufig eine jeweilige Nullhypothese formuliert, die abgelehnt wird, wenn sie sich als sehr unwahrscheinlich erweist. Eine logische Überprüfung muss darüber hinaus einen kausalen Zusammenhang herstellen. Dadurch werden Fälle von vermeintlichen Zusammenhängen ausgeschlossen, die zwar häufig gemeinsam auftreten, allerdings keinen logischen Bezug zueinander aufweisen und eigentlich unabhängig voneinander sind. Analytische Modelle müssen hingegen zuerst logisch überprüft werden, da sie bereits auf kausalen Zusammenhängen bzw. Gesetzmäßigkeiten aufbauen. Dies führt zu Problemen, wenn die zugrunde liegenden Ge-

setzmäßigkeiten nicht oder nicht mehr zutreffen. In diesem Fall beschreibt ein Modell zwar die kausalen Zusammenhänge gemäß der Gesetzmäßigkeit korrekt, kann jedoch die Realität nicht oder nur schlecht abbilden. Um diesem Dilemma zu begegnen, sollte auf ein Zusammenspiel aus deduktivem und induktivem Vorgehen zurückgegriffen werden [Helf16, S. 37]. Dieses Vorgehen ist nicht auf eine spezifische Form der Modellbildung begrenzt. Bei einer empirischen Modellbildung erfolgt ein Teil der Validierung durch das deduktive Nachvollziehen der gefundenen Zusammenhänge. Ein Beispiel für ein solches Vorgehen ist die Modellierung von Betriebsparametern von Maschinen und Arbeitsergebnis. Durch die erhobenen Daten kann mit Hilfe eines empirischen Ansatzes ein Zusammenhang zwischen Betriebstemperatur und Werkstückqualität hergestellt werden, z.B., dass die Werkstückgüte mit steigender Temperatur abnimmt. Durch das Nachvollziehen der Werkstoffeigenschaften kann der statistische Zusammenhang um einen kausalen Zusammenhang im Einklang mit den zugrundeliegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten ergänzt werden.

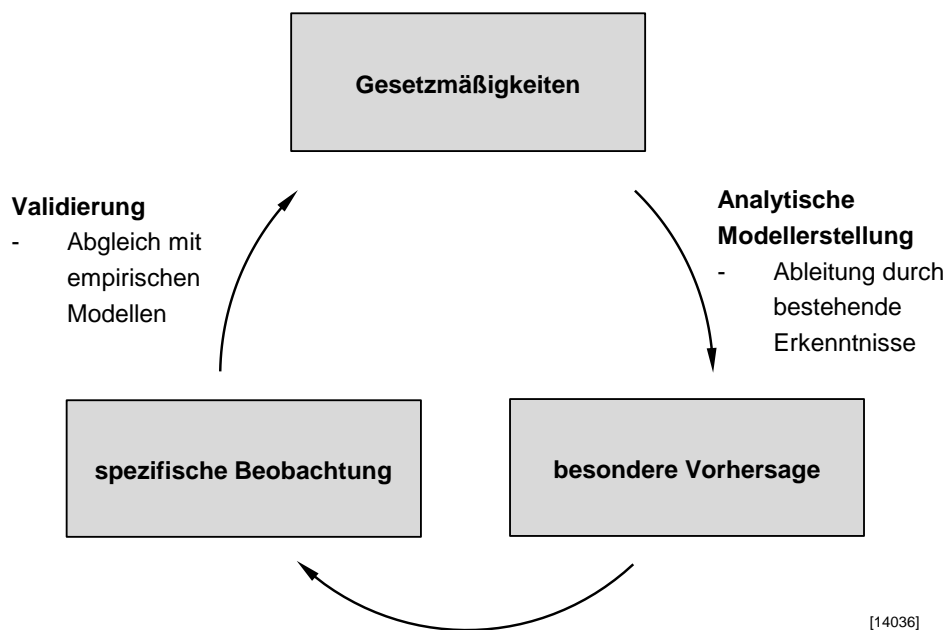


Abbildung 3: Zusammenwirken von Induktion und Deduktion bei der Modellbildung und -validierung in Anlehnung an Helfrich [Helf16, S. 32]

Abbildung 3 zeigt den Kreislauf aus Modellerstellung und Modellvalidierung für den Fall einer analytischen Modellerstellung. In diesem Fall erfolgt die Modellvalidierung durch spezifische Beobachtungen. Anhand erhobener Daten aus dem Modellobjekt kann so überprüft werden, ob die getroffenen besonderen Vorhersagen zutreffen. Dies ist mit Hilfe von Fallstudien möglich. Können keine oder nicht ausreichend viele Daten erhoben werden, ist es ebenfalls möglich, ein analytisch

erzeugtes Modell mit ähnlichen empirisch erzeugten Modellen zu vergleichen. Zeigt das empirische Modell zusätzliche Einflüsse oder ein anderes Verhalten auf, die nicht durch das analytische Modell abgebildet werden, so ist das erstellte Modell unvollständig.

Neben der Validierung der Modelle ist auch die Überprüfung der Zweckmäßigkeit bzw. der Anwendbarkeit des jeweiligen Modells ein wichtiger Schritt der Modellbildung [Helf16, S. 76]. Dies gilt im Besonderen für die Modelle, die erklären oder gestalterisch wirken sollen, und für solche mit wechselnden Modellsubjekten. Für erklärende Modelle bedeutet dies, dass die Modelle nicht nur formal richtig sein müssen, sondern bei den Nutzern auch das Verständnis über den modellierten Sachverhalt verbessern. Sollen Modelle reale Systeme optimieren, müssen sie sich in einen Verbesserungsprozess integrieren lassen. Die Zweckmäßigkeit von Modellen kann daher am besten durch die Befragung von Experten oder potentielle Nutzer überprüft werden.

2.2 Das Produktionsmanagement und seine Teilbereiche

Dieser Abschnitt erläutert zuerst das Produktionsmanagement und seine Teilbereiche und benennt ihren zugehörigen Zielgrößen (Abschnitt 2.2.1). Im Anschluss werden die identifizierten Zielgrößen der Teilbereiche erläutert und hinsichtlich der Zielstellung abgegrenzt. Abschnitt 2.2.2 widmet sich der Produktivität, während Abschnitt 2.2.3 die Zielgrößen der PPS beschreibt. Auf eine detaillierte Beschreibung der Qualität wird in Hinblick auf die Zielstellung der Arbeit verzichtet.

2.2.1 Das Produktionsmanagement

Für produzierende Unternehmen sind die Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität von besonderer Bedeutung [VDI2870; Domb15, S. 28]. Folglich ist es die Aufgabe des Produktionsmanagements, diese drei übergeordneten Zielgrößen zu beherrschen und zu verbessern. Im Produktionsmanagement adressieren verschiedene Teilbereiche diese Zielgrößen [Lödd14, S. 23]:

- Die PPS adressiert in erster Linie die Zielgröße Zeit. Ihre Aufgabe ist es, eine termingerechte Fertigstellung der Aufträge zu realisieren und Auftragsdurchlaufzeiten zu verkürzen.
- Das Produktivitätsmanagement adressiert in erster Linie die Produktionskosten. Aufgabe ist es, die Nutzung aller am Produktionsprozess beteiligten Ressourcen wie Arbeitskraft, Maschinen und Material optimal zu gestalten.
- Das Qualitätsmanagement in der Produktion adressiert die Zielgröße Qualität, d. h. Überwachung und Verbesserung der Produktionsprozesse und damit verbunden der Fertigwaren zur Vermeidung von Ausschuss und Nacharbeit.

Die Teilbereiche des Produktionsmanagements definieren wiederum weitere Unterziele. So stellen die verschiedenen Teilproduktivitäten Unterziele des Produktivitätsmanagements dar und die logistischen Zielgrößen (z.B. Termintreue und Durchlaufzeit) die der PPS (vgl. Abbildung 4).

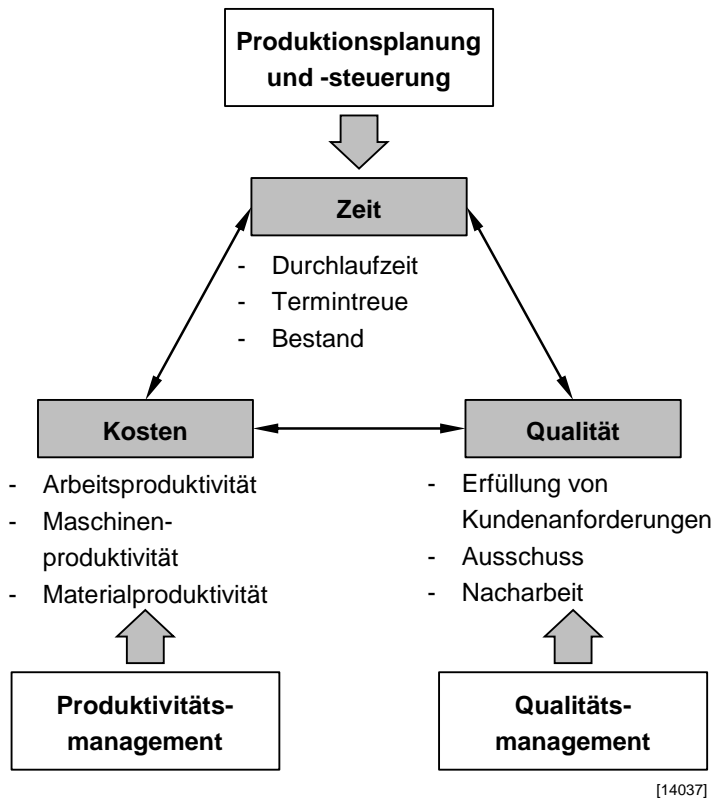


Abbildung 4: Das Produktionsmanagement und seine Teilbereiche in Anlehnung an [VDI2870]

Zwischen den Zielgrößen des Produktionsmanagements bestehen erhebliche Wechselwirkungen und Zielkonflikte. Ein Beispiel für einen solchen Zielkonflikt ist das Rüsten der Maschinen in den Arbeitssystemen. Häufiges Rüsten führt zu einer sinkenden Produktivität. Entscheiden sich Unternehmen jedoch dafür nur selten zu rüsten, entstehen große Lose und damit verbunden lange Durchlaufzeiten. Eine isolierte Betrachtung der Teilbereiche des Produktionsmanagements ist daher nur wenig sinnvoll [Lödd14, S. 25f.]. Vielmehr sollten die Teilbereiche des Produktionsmanagements als offene Systeme mit umfangreichen Umweltbeziehungen abgebildet werden.

2.2.2 Produktivität und Arbeitsproduktivität

Die Produktivität ist das Verhältnis von Output und Input [Suma84, S. 6f.; Neb102, S. 7] (Gl. 2.1). Der Output wird in Stück oder Vorgabestunden gemessen. Je nach Teilproduktivität ergeben sich unterschiedliche Inputgrößen. Die Arbeitsproduktivität ist eine Teilproduktivität und bezieht den Output auf die eingesetzte Arbeit. Andere relevante Teilproduktivitäten sind die Maschinen- oder Materialproduktivität [Tang05, S. 38; Neb102, S. 7f.]. Produziert ein Arbeitssystem beispielsweise 100 Stück eines Produktes und setzt dafür 200 Stunden bezahlter Arbeitszeit ein, so ist die Arbeitsproduktivität dieses Arbeitssystems 0,5 Stk./Std..

$$PRO_{\text{Arbeit}} = \frac{OUT}{IN} \quad 2.1$$

mit PRO : Produktivität
OUT : Output (geleistete Arbeit im Betrachtungszeitraum)
IN : Input (aufgewendete Menge des betrachteten Ressourcentyps)

Je nach Betrachtungsebene der Produktivitätskennzahl variiert der Umfang des einbezogenen Inputs und Outputs. Auf der Makroebene sind dies Input und Output ganzer Volkswirtschaften oder Erdregionen. Niedrigere Ebenen betrachten die Produktivität von Unternehmen und Unternehmensteilen bis hin zum einzelnen Arbeitsplatz. Im Kontext des Produktionsmanagements ist die größtmögliche Betrachtungsebene die einzelner Unternehmen.

Die Betrachtung von Teilproduktivitäten ist hilfreich bei der differenzierten Untersuchung von einzelnen Arbeitsbereichen oder -plätzen [Czum13, S. 8]. So spielt beispielsweise bei der Betrachtung eines vollständig automatisierten Arbeitsbereichs der Inputfaktor menschliche Arbeit nur eine untergeordnete Rolle, da die Lohnkosten kaum zu den Gesamtherstellungskosten beitragen. Das Einbeziehen dieser Größe gestaltet die Untersuchung dabei aufwändiger und trägt wenig zur Verbesserung der Zielgröße bei.

Für die Bewertung der Bezugsgrößen stehen verschiedene Einheiten zur Auswahl. Der Output der Arbeitsproduktivität kann prinzipiell in Mengen- oder Zeiteinheiten erfasst werden. Die Erfassung in *Mengeneinheiten* bietet den Vorteil, dass auch über einen längeren Zeitraum die Arbeitsproduktivität vergleichbar ist. Die Messung ist darüber hinaus sehr einfach, leicht verständlich und wird nicht durch eine Umrechnung erschwert oder verfälscht. Nachteil bei dieser Art der Bewertung ist, dass sich Kennzahlen von Arbeitsbereichen mit unterschiedlichen Produkten nicht vergleichen lassen, da der grundsätzliche Arbeitsaufwand durch das Produkt sehr unterschiedlich ausfallen kann. Dies gilt auch für einzelne Arbeitsbereiche,

wenn diese unterschiedliche Erzeugnisse herstellen. Die Erfassung des Outputs in Zeiteinheiten erlaubt hingegen einen Vergleich verschiedener Arbeitsbereiche bzw. heterogener Produkte. Für eine Erfassung in *Zeiteinheiten* werden der mengenbewertete Output und die produktspezifische Vorgabezeit multipliziert. Allerdings kann die Bewertung des Outputs mit Vorgabezeiten die Messung der Produktivität verfälschen. So führen Veränderungen der Vorgabezeiten in Folge von Verbesserungen nicht zu einer Veränderung der Produktivitätskennzahl, obwohl offensichtlich eine Veränderung der Produktivität stattgefunden hat [Czum13, S. 8f.].

Zur Bewertung des Inputfaktors Menschliche Arbeit bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten. Zum ist es möglich, die Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter pro Schicht zu betrachten. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass es einfach umzusetzen ist. Zudem spiegelt diese Erfassungsart häufig die Situation vieler Unternehmen wider, da für diese eine Produktivitätsveränderung erst dann relevant ist, wenn die Anzahl der Mitarbeiter reduziert werden kann. Dieses Vorgehen ist jedoch weniger in der Lage, kleine Veränderungen der Arbeitsproduktivität abzubilden. Um auch kleinere Änderungen zu messen, sollten die bezahlte Arbeitszeit oder die Anwesenheitsstunden im betrachteten Arbeitsbereich erfasst werden.

Die Betrachtung der Arbeitsproduktivität im jeweiligen Situationsbezug erlaubt die Unterscheidung von Ziel-, Plan- und Ist-Größen. Während für eine Messung oder die Verbesserung der Arbeitsproduktivität lediglich die Ist-Kennzahl von Interesse ist, spielen Plan- und Ziel-Kennzahlen oder ein Vergleich von Plan-Produktivität und Ist-Produktivität im Spannungsfeld von PPS und Produktivitätsmanagement eine wesentliche Rolle (vgl. Abschnitt 2.2.1) [Czum13, S. 9].

2.2.3 Logistische Zielgrößen und ihre Modellierung

Die PPS beeinflusst in erster Linie die Zielgröße Zeit. Sie trägt die Verantwortung für die termingerechte Auftragsfertigung und die Realisierung möglichst geringer Auftragsdurchlaufzeiten. In diesem Zusammenhang kann auch von der Logistikleistung gesprochen werden. Zu den Zielgrößen der Logistikleistung gehören die Durchlaufzeit, die Termintreue und die Terminabweichung. Darüber hinaus soll die PPS die Bestände in Produktion und Lager verringern. Dadurch trägt sie nicht nur zur Reduzierung der Zielgröße Zeit, sondern auch zu einer Senkung der Kosten bei [Lödd16, S. 21ff.].

Zu den Kernaufgaben der PPS zählen die Produktionsprogrammplanung, die Produktionsbedarfsplanung und die Planung und Steuerung der Eigenfertigung und

der Fremdbezüge [Lucz98, S. 16f.]. Löddings Modell der Fertigungssteuerung verknüpft die Zielgrößen Durchlaufzeit, Termintreue, Bestand und Auslastung mit den Aufgaben der PPS (vgl. Abbildung 5) [Lödd16, S. 8f.]:

- Die Produktionsplanung bestimmt die Planwerte von Zugang und Abgang der Fertigung und die Planreihenfolge. Wesentliche Aufgabe hierfür ist die Termin- und Kapazitätsplanung.
- Die Auftragsfreigabe bestimmt den Zeitpunkt für die Freigabe eines Fertigungsauftrags. Dadurch legt sie auch die Reihenfolge zur Freigabe der Fertigungsaufträge fest.
- Die Kapazitätssteuerung regelt die Fertigungskapazitäten. Dazu legt sie Anzahl und Arbeitszeiten der Mitarbeiter in einem Arbeitsbereich fest und bestimmt die Einsatzzeiten der jeweiligen Maschinen und Anlagen.
- Die Reihenfolgebildung bestimmt die Bearbeitungsreihenfolge der freigegebenen Aufträge in einem Arbeitsbereich.

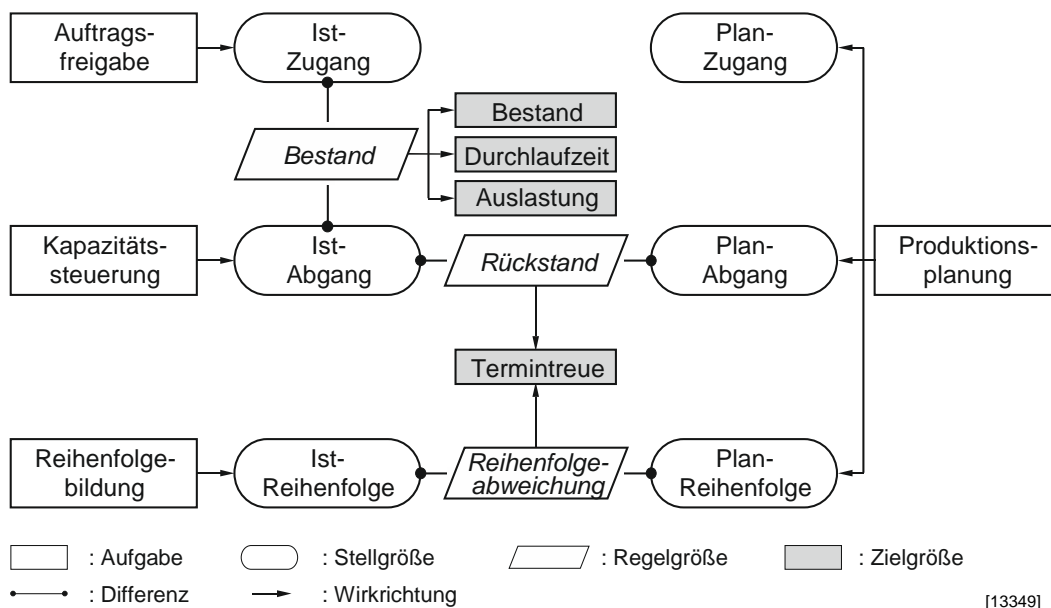


Abbildung 5: Modell der Fertigungssteuerung nach Lödding [Lödd16, S. 8]

Die *Terminabweichung* ist definiert als Differenz des Ist-Fertigstellungstermins zum Plan-Fertigstellungstermin eines Auftrags [Domb88, S. 25ff.] (Gl. 2.2).

$$TAA = TAE_{\text{ist}} - TAE_{\text{plan}}$$

2.2

mit TAA : Abgangsterminabweichung [BKT]
TAE_{ist} : Ist-Bearbeitungsende Auftrag [BKT]
TAE_{plan} : Plan-Bearbeitungsende Auftrag [BKT]

Sie ist abhängig vom Rückstand sowie der Reihenfolgebildung und Reihenfolgedisziplin des Arbeitssystems [Kuyu13, S. 46ff.]. Der *Rückstand* an einem Arbeitssystem entspricht dabei zu jedem Zeitpunkt der Differenz aus dem Plan- und Ist-Abgang (Gl. 2.3) [Pete96, S. 104].

$$RS(t) = AB_{ist}(t) - AB_{plan}(t) \quad 2.3$$

mit RS(t) : Rückstand zum Zeitpunkt t [Std.]
AB_{st}(t) : Ist-Abgang zum Zeitpunkt t [Std.]
AB_{plan}(t) : Plan-Abgang zum Zeitpunkt t [Std.]

Die *Termintreue* betrachtet das Verhältnis aus Aufträgen, die zu ihrem Plan-Termin beendet werden zur Gesamtheit der fertiggestellten Aufträge des Arbeitssystems (Gl. 2.4). In der Regel berücksichtigt die Termintreue eine gewisse Toleranz der erlaubten Terminabweichung [Lödd16, S. 79ff.; Kuyu13, S. 136ff.].

$$TT = \frac{\text{AnzAuf mit } TAA_{UG} \leq TAA \leq TAA_{OG}}{\text{AnzAuf}} \cdot 100 \quad 2.4$$

mit TT : Termintreue [%]
AnzAuf : Anzahl Aufträge [-]
TAA_{UG} : Untergrenze für die zulässige Abgangsterminabweichung [BKT]
TAA : Abgangsterminabweichung [BKT]
TAA_{OG} : Obergrenze für die zulässige Abgangsterminabweichung [BKT]

Die *Durchlaufzeit* eines Auftrags ist definiert als die Dauer zwischen Auftragsfreigabe und der Fertigstellung des Auftrags [Wien97, S. 36] (Gl. 2.5).

$$ZDL_{\text{Auftrag}} = TAE - TAB \quad 2.5$$

mit ZDL_{Auftrag} : Auftragsdurchlaufzeit [BKT]
TAE : Bearbeitungsende Auftrag [BKT]
TAB : Bearbeitungsanfang Auftrag [BKT]

Der Zusammenhang zwischen Leistung und Bestand des Arbeitssystems und der entsprechenden Durchlaufzeit kann mit Hilfe der Trichterformel und Little's Law

beschrieben werden. Gemäß der Trichterformel bestimmt der Quotient aus Bestand und Leistung eines Arbeitssystems die mittlere Reichweite und damit auch die mittlere (gewichtete) Durchlaufzeit der Aufträge [Bech84, S. 13ff.; Nyhu12, S. 28f.; Litt61, S. 383].

Der *Bestand* eines Arbeitssystems ergibt sich aus dem Arbeitsinhalt der Aufträge, die auf die Bearbeitung warten oder sich in Bearbeitung befinden. Der Bestand kann daher mit Hilfe der Zugänge und Abgänge eines Arbeitssystems innerhalb eines Bezugszeitraums berechnet werden (Gl. 2.6). Der Bestand ist von besonderer Bedeutung, da er die Durchlaufzeit und die Auslastung stark beeinflusst [Wien97, S. 91f.; Lödd16, S. 36ff.].

$$B_m = \frac{\int_{T_0}^{T_1} ZU(T)dT - \int_{T_0}^{T_1} AB(T)dT}{T_1 - T_0} \quad 2.6$$

mit B_m : mittlerer Bestand [Stk.]
 ZU : Zugang an Arbeitsinhalt im Bezugszeitraum [Std.]
 AB : Abgang an Arbeitsinhalt im Bezugszeitraum [Std.]
 T_1 : Ende des Bezugszeitraums [BKT]
 T_0 : Beginn des Bezugszeitraums [BKT]

Die *Auslastung* eines Arbeitssystems wird bestimmt durch die Ist-Leistung und die maximale möglichen Leistung (Gl. 2.7). Sie ist zum einen von der vorhandenen Fertigungskapazität eines Arbeitssystems und zum anderen vom Bestand an diesem Arbeitssystem abhängig [Nyhu12, S. 27].

$$A_m = \frac{L_m}{L_{\max}} \cdot 100 \quad 2.7$$

mit A_m : mittlere Auslastung [%]
 L_m : mittlere Leistung [Std./BKT]
 L_{\max} : maximal mögliche Leistung [Std./BKT]

Da der Bestand die Leistung bzw. die Auslastung und die Durchlaufzeit an einem Arbeitssystem in unterschiedlicher Weise beeinflusst, entsteht ein Zielkonflikt hinsichtlich der Festlegung des Bestandsniveaus. Ein geringes Bestandsniveau erlaubt kurze Durchlaufzeiten, da Aufträge nicht oder nur kurz auf ihre Bearbeitung warten müssen. Da jedoch nicht zu jedem Zeitpunkt ein Auftrag am Arbeitssystem vorhanden ist, führt dies zu Wartezeiten und einer sinkenden Auslastung [Nyhu12, S. 61ff.; Lödd16, S. 63ff.]. Dieser Zielkonflikt ist als das Dilemma der Ablaufplanung bekannt ([Gute83] nach [Lödd16, S. 37]).

Ein weit verbreitetes Modell zur Beschreibung der logistischen Zielgrößen ist das Trichtermodell mit dem Durchlaufdiagramm nach Bechte [Bech84]. Das Trichtermodell betrachtet analog zur Abbildung von Fließprozessen das Durchlaufverhalten von Arbeitssystemen anhand der Größen Zugang, Abgang und Bestand. Dabei bildet die Trichteröffnung den Bestand aus zugehenden und bereits wartenden Aufträgen ab. Die Trichteröffnung symbolisiert die Leistung des Arbeitssystems, die durch die Anpassung der Kapazität innerhalb des Kapazitätsrahmens variiert werden kann (Abbildung 6a) [Nyhu12, S. 25].

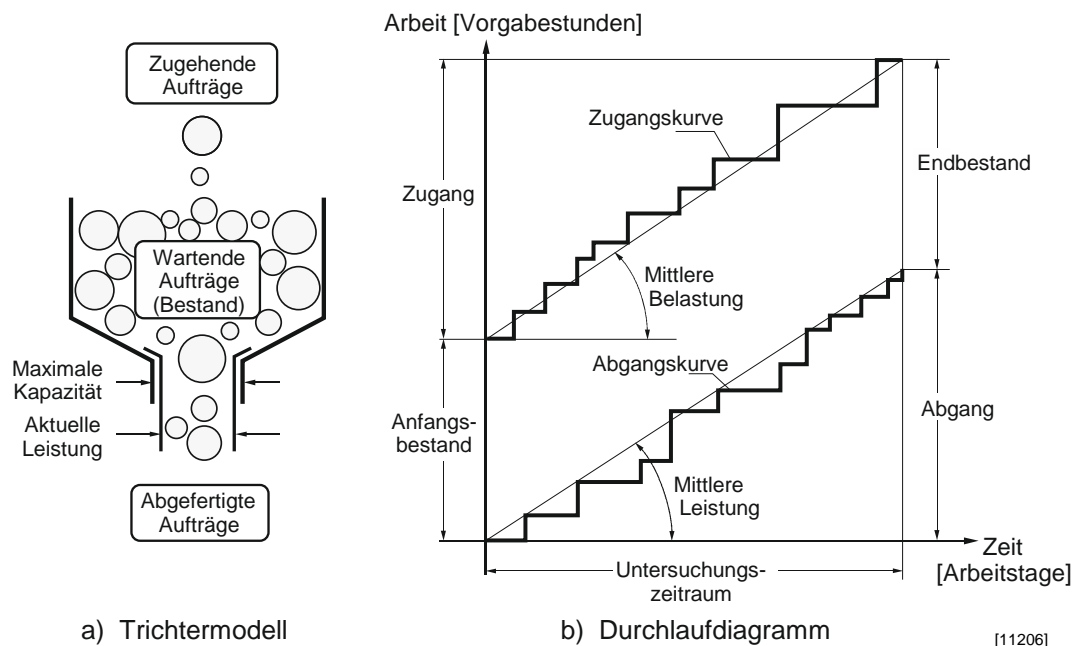


Abbildung 6: Trichtermodell und Durchlaufdiagramm nach Bechte [Nyhu12, S. 25]

Um das zugehörige Durchlaufdiagramm eines Arbeitssystems zu erzeugen, müssen der Zugang und der Abgang des Trichters gemessen und mit ihren Arbeitsinhalten in Stück oder Vorgabestunden kumuliert aufgetragen werden. Befindet sich zu Beginn des Untersuchungszeitraums bereits ein Anfangsbestand am Arbeitssystem, so beginnt die Zugangskurve vertikal versetzt um den Arbeitsinhalt des Anfangsbestands. Der vertikale Abstand zwischen der Zugangs- und Abgangskurve bildet zu jedem Zeitpunkt den Bestand des Arbeitssystems ab. Der horizontale Abstand zwischen den Kurven beschreibt die Reichweite des Arbeitssystems, die angibt, wie lange der Bestand ausreicht, um das Arbeitssystem mit Arbeit zu versorgen. Diese Größe ist eng mit der Durchlaufzeit des Arbeitssystems verknüpft und kann mit Hilfe der Trichterformel berechnet werden (Gl. 2.8) [Nyhu12, S. 25ff.].

$$R_m = \frac{B_m}{L_m} \quad 2.8$$

mit R_m : mittlere Reichweite [BKT]
 B_m : mittlerer Bestand [Std.]
 L_m : mittlere Leistung [Std./BKT]

Logistische Kennlinien bilden den Einfluss des Bestands auf die Durchlaufzeit bzw. die Reichweite und Leistung bzw. Auslastung eines Arbeitssystems detailliert ab.

Dazu nutzen die Kennlinien zwei wesentliche Konzepte:

- Der ideale Mindestbestand beschreibt das Bestandsniveau eines idealen Produktionsprozesses, an dem sich zu jedem Zeitpunkt genau ein Auftrag am Arbeitssystem befindet und bearbeitet wird. Der ideale Mindestbestand ist abhängig von der mittleren Auftragsgröße und ihrer Streuung [Nyhu12, S. 62ff.].
- Die maximale Leistung beschreibt die Leistung, die an einem Arbeitssystem ohne das Auftreten von Auslastungsverlusten möglich ist [Nyhu12, S. 66f.].

Logistische Kennlinien unterteilen die Bestandsniveaus in drei Bereiche: den Unterlast-, den Übergangs- und den Überlastbereich (vgl. Abbildung 7).

Im *Unterlastbereich* sind eine steigende Leistung bei noch geringer Auslastung und eine konstante und niedrige Durchlaufzeit zu beobachten. Im *Übergangsbereich* flacht die Leistungssteigerung ab, da die maximale Auslastung fast erreicht ist. Gleichzeitig steigen Durchlaufzeit und Reichweite an. Im *Überlastbereich* ist nur noch eine sehr geringe Leistungssteigerung zu beobachten. Stattdessen steigen Reichweite und Durchlaufzeit weiter linear mit zunehmenden Bestand an [Lödd16, S. 64].

Mit Hilfe des Modells der Fertigungssteuerung, dem Trichtermodell und dem Konzept der logistischen Kennlinien ist es möglich, den Einfluss der Aufgaben der PPS auf die logistischen Zielgrößen zu beschreiben.

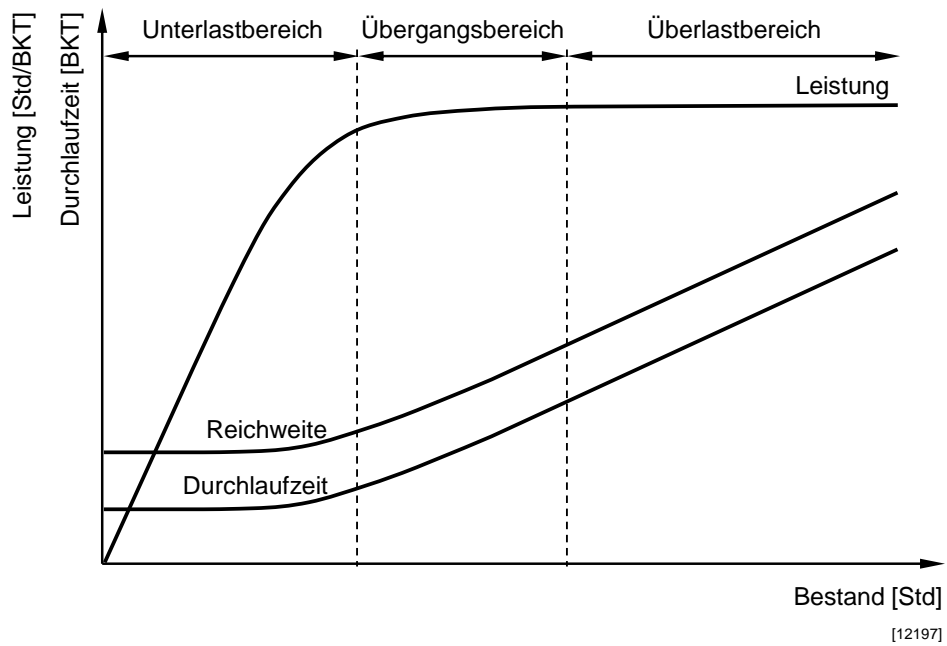


Abbildung 7: Kennlinienverlauf für ausgewählte Zielgrößen in Anlehnung an Nyhuis [Nyhu12, S. 37]

3 Bestehende Produktivitätsmodelle

Die (Arbeits-)Produktivität ist seit langer Zeit Gegenstand wissenschaftlicher und unternehmerischer Forschung. Anfänge zur Untersuchung der Arbeitsproduktivität finden sich bereits in Arbeiten zum Scientific Management [Tayl11]. Folglich existiert eine Reihe von Modellen zur Abbildung der Arbeitsproduktivität, von denen jedoch nur einige für die vorliegende Arbeit relevant sind. Auf Grund der Vielzahl vorhandener Publikationen ist eine systematische Analyse der Literatur erforderlich. Abschnitt 3.1 erläutert zunächst die Suche nach relevanter Literatur zum Thema Modellierung der Arbeitsproduktivität und beurteilt diese. In den Abschnitten 3.2 und 3.3 werden verschiedene bereits bestehende Ansätze erläutert und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht (Abschnitt 3.4).

3.1 Literaturrecherche

Um relevante Vorarbeiten zu finden, wird eine umfangreiche Recherche der Literatur durchgeführt. Hierfür wird ein systematisches Vorgehen genutzt. Die zu beurteilende Literatur umfasst Texte in deutscher und englischer Sprache und berücksichtigt Beiträge in Fachzeitschriften, Konferenzbänden und anderen Sammelwerken, die eine wissenschaftliche Qualitätssicherung (Peer Review) durchlaufen haben. Gleichfalls werden im Rahmen der Literaturrecherche Monografien berücksichtigt, die im Rahmen wissenschaftlicher Forschung entstanden sind (z.B. Dissertationen) sowie wissenschaftliche Lehrbücher.

Formen von Produktivitätsmodellen

Wie im Abschnitt 2.2.2 dargestellt, adressieren verschiedene Wissenschaftszweige das Thema Produktivität und Arbeitsproduktivität aus unterschiedlichen Perspektiven und mit unterschiedlichen Methoden. Eine systematische Recherche und Analyse der Literatur setzt deshalb voraus, dass die bestehenden Modellierungsansätze eingeordnet werden können. Die folgenden drei Dimensionen werden verwendet, um die Ansätze zu klassifizieren.

1. *Systemumfang*: Dieser bestimmt den Umfang des betrachteten Systems. In dieser Dimension kann beispielsweise zwischen Volkswirtschaften, Branchen, Unternehmen oder Arbeitssystemen unterschieden werden. Modelle auf Ebene ganzer Volkswirtschaften betrachten die Produktivität aller wirtschaftlichen Handlungen eines Staates oder eines Staatenverbunds (z.B. EU) und nehmen dabei keine weitere Differenzierung in Bezug auf die Art der Unternehmen, der Güter oder der Dienstleistungen vor. Modelle auf Branchenebene betrachten die Produktivität aller Unternehmen, die unabhängig von Produkt oder Dienstleistung einer Branche zuordenbar sind

- (z.B. Automobilindustrie). Produktivitätsmodelle auf der Ebene einzelner Unternehmen berücksichtigen das gesamte Unternehmen und umfassen in der Regel verschiedene Produkte und Dienstleistungen. Modelle auf Arbeitssystemebene betrachteten die Produktivität einzelner Arbeitssysteme.
2. *Form der Modellbildung*: Die Modellbildung kann analytisch oder empirisch erfolgen (vgl. Abschnitt 2.1.2). Die empirischen Modelle stützen sich dabei in der Regel auf Daten, die aus Beobachtungen oder Befragungen gewonnen werden. Analytische Modelle hingegen stellen aufgrund theoretischer Überlegungen oder Modelle einen formalen Zusammenhang zwischen der Produktivität und ihren Einflussfaktoren dar.
 3. *Betrachtete Produktionsfaktoren*. Es gibt Modelle, die die Produktivität als Ganzes betrachten, also die Transformation mehrerer oder aller verwendeten Inputfaktoren in alle Outputfaktoren. Andere Modelle untersuchen nur Teilproduktivitäten, wie die Arbeits- oder Maschinenproduktivität.

Mit Blick auf die Zielstellung der vorliegenden Arbeit, ein detailliertes und zugleich allgemeingültiges Modell der Arbeitsproduktivität für Arbeitssysteme zu entwickeln, müssen nicht alle Formen von Produktivitätsmodellen gleichermaßen berücksichtigt werden. Ansätze mit einer makroskopischen (volkswirtschaftlichen oder branchenweiten) Sicht auf die Arbeitsproduktivität können gegebenenfalls vernachlässigt werden. Stattdessen liegt der Fokus auf den Vorarbeiten, die die Produktivität von Arbeitssystemen thematisieren. Tabelle 2 zeigt für die verbleibenden Dimensionen auf, welche Modellformen für diese Arbeit relevante Vorarbeiten darstellen. Der Fokus der Literaturanalyse liegt auf den bestehenden Ansätzen zur Modellierung der Arbeitsproduktivität, unabhängig von der Art der Modellbildung. Die Analyse der Vorarbeiten bezieht jedoch auch Modellansätze der Maschinenproduktivität und multifaktorielle Modellansätze ein, da sie Hinweise auf relevante Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität liefern können.

Tabelle 2: Modellformen relevanter Vorarbeiten

Modellbildung/ Produktionsfaktoren	Empirisch	Analytisch
multifaktoriell	(X)	(X)
Arbeitsproduktivität	X	X
Maschinen- produktivität	(X)	(X)
Sonstige Teilproduktivitäten	–	–

X: voll berücksichtigt

(X): teilweise

– nicht berücksichtigt

berücksichtigt

Nicht berücksichtigt bleiben hingegen Ansätze zur Modellierung anderer Teilproduktivitäten, wie z.B. der Material- oder Kapitalproduktivität, weil sie weder aus methodischer noch aus thematischer Sicht einen Mehrwert für die Ableitung eines Arbeitsproduktivitätsmodells versprechen.

Vorgehen zur Literatursuche

Die Suche nach englischsprachiger Fachliteratur erfolgt mit der Datenbanken Scopus, da diese den größten Teil der wissenschaftlichen Veröffentlichungen umfasst, die Suche nach deutschsprachiger Literatur über den GVK-Katalog des gemeinsamen Bibliotheksverbunds (GBV) und des südwestdeutschen Bibliotheksverbunds (SWB). Darüber hinaus werden Querverweise aus bereits recherchierten Quellen auch in anderen Datenbanken wie Google Scholar gesucht.

Als Suchbegriffe werden dem Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit entsprechend die Arbeitsproduktivität und ihre Modellierung bzw. ihre Beeinflussung auf der Ebene von Arbeitssystemen oder einzelnen Arbeitsplätzen verwendet.

Primäre Suchbegriffe sind Produktivität und Arbeitsproduktivität. Um die Suche gezielt einzugrenzen, werden die Suchbegriffe um die Schlagwörter Modell (Modellierung) und Analyse (Messung, Erfassung) ergänzt. Zur weiteren Eingrenzung der Suchergebnisse werden die Schlagwörter um die Begriffe Fertigung, Unikatfertigung, Montage und manuelle Arbeit ergänzt. Für die Recherche nach englischsprachiger Literatur werden die Suchbegriffe übersetzt und um deren Synonyme ergänzt. Die resultierenden Suchbegriffe und Übersetzungen sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 3: Begriffe für die Suche und Eingrenzung deutschsprachiger Literatur

Primärer Suchbegriff	Ergänzender Suchbegriff	Weitere Schlagworte
Produktivität	Modell	Fertigung
Arbeitsproduktivität	Modellierung	Unikatfertigung
	Analyse	Montage
	Messung	Manuelle Arbeit
	Erfassung	Unternehmen

Tabelle 4: Begriffe für die Suche und Eingrenzung englischsprachiger Literatur

Primärer Suchbegriff	Ergänzender Suchbegriff	Weitere Schlagworte
Productivity	Model	Manufacturing
Labor/ Labour Productivity	Modeling/ Modelling	Construction
Work Performance	Analysis	Assembly
	Measurement	Manual Work
	Assessment	Company/ Companies

Für die Eingrenzung der Suchergebnisse werden zusätzlich die jeweiligen Zeitschriften und Veröffentlichungen untersucht und ungeeignete ausgeschlossen. Zeitschriften der Fachrichtungen Volkswirtschaftslehre sowie solche mit ausschließlich sozialwissenschaftlichem Fokus gelten als ungeeignet, da die entsprechenden Wissenschaftszweige die Arbeitsproduktivität nicht auf Ebene von Unternehmen und Unternehmensbereichen betrachten.

Ergebnis der Literaturrecherche

Für die Suche nach deutschsprachiger Literatur konnten mit den angegebenen Suchbegriffen 75 Quellen ermittelt werden. Basierend auf einer Analyse der jeweiligen Kurzbeschreibungen wurden 21 dieser Quellen als prinzipiell relevant eingestuft. Allerdings beschreiben nur drei der Quellen ([Neb102; Tiet16; Czum13]) ein Modell der Arbeitsproduktivität oder strukturiert Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität.

In den englischsprachigen Datenbanken konnten mit Hilfe der Suchbegriffe zunächst mehr als 5.600 Quellen identifiziert werden. Ein Großteil dieser Quellen ist dabei für die vorliegende Arbeit nicht relevant, da sie die Produktivität und Arbeitsproduktivität auf volkswirtschaftlicher Modellebene untersuchen (z.B. Dua und Garg [Dua19] oder Natrass und Seekings [Natt18]). Diese Suchergebnisse konnten mit Hilfe ergänzender Suchbegriffe und weiterer Schlagworte ausgefiltert wer-

den. Für die verbleibenden 344 Arbeiten erfolgte eine Analyse der Titel und Zusammenfassungen. Hiervon wurden 19 als prinzipiell relevant eingestuft (siehe Anhang I).

Die Ergebnisse der Literaturrecherche und -analyse zeigen ein differenziertes Bild der bestehenden Ansätze zur Modellierung der Arbeitsproduktivität. Zwar existiert eine Vielzahl von Arbeiten zum Thema Arbeitsproduktivität, allerdings beinhaltet nur ein Bruchteil dieser Arbeiten die Modellierung der Arbeitsproduktivität auf Ebene von Unternehmen oder einzelner Arbeitssystemen. Viele dieser Arbeiten untersuchen zudem nur den Effekt einzelner Einflüsse und Phänomene auf die Arbeitsproduktivität. Die Annahme, dass das Thema der Modellierung der Arbeitsproduktivität auf Unternehmensebene bereits umfangreich erforscht ist, kann durch eine detaillierte Analyse der Literatur daher nicht bestätigt werden.

Im Folgenden werden wesentliche bestehende Modellierungsansätze für die Produktivität vorgestellt. Die verschiedenen bestehenden Modelle werden gemäß den oben beschriebenen Dimensionen unterschieden. Um zu bewerten welche bestehenden Modellansätze geeignete Ausgangspunkte für die Modellierung der Arbeitsproduktivität in dieser Arbeit darstellen, müssen geeignete Kriterien für ihre Bewertung definiert werden. Die Kriterien folgen dabei den in Abschnitt 2.1.1 beschriebenen Merkmalen von Modellen und dem Modellzweck und orientieren sich an den allgemeinen Kriterien für die Modellbildung [Nyhu12, S. 8]. Die Analyse der bestehenden Modellansätze nutzt die nachfolgend beschriebenen Kriterien:

- *Vollständigkeit* der Modelle: Ein umfassendes Modell der Arbeitsproduktivität muss alle relevanten Einflussfaktoren auf die Arbeitsproduktivität beinhalten und diese möglichst realistisch abbilden (Abbildungsmerkmal). Hierbei ist es wichtig, dass die Modelle nicht nur solche Einflüsse aufzeigen, die auch durch das Produktivitätsmanagement adressiert werden. Stattdessen sollten Modelle der Arbeitsproduktivität auch explizit Einflüsse aufzeigen, die andere Unternehmensbereiche adressieren. Vor dem Hintergrund der Zielstellung dieser Arbeit ist es von Interesse, ob und wie bestehende Ansätze den Einfluss der PPS auf die Arbeitsproduktivität beschreiben.
- *Detaillierungsgrad* der Modelle: Neben der Vollständigkeit der beschriebenen Einflüsse ist auch der Detaillierungsgrad der Modelle von Bedeutung. Ein hoher Detaillierungsgrad erlaubt es, die Einflüsse differenziert zu untersuchen. Dies ist vorteilhaft für die Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität (Verkürzungsmerkmal). Da Modelle, die sowohl viele verschiedene Einflüsse abbilden, als auch einen hohen Detaillierungsgrad aufweisen, sehr umfangreich sind, gilt es einen geeigneten Detaillierungsgrad zu finden, der die Handhabung des Modells nicht zu sehr erschwert.

- *Allgemeingültigkeit* der Modelle: Damit ein Modell der Arbeitsproduktivität für verschiedene Arbeitssysteme und Arbeitsaufgaben gültig ist, muss es allgemeingültig sein. Nicht allgemeingültige Modelle müssen für die Nutzung in anderen Bereichen aufwändig angepasst werden. Dies erschwert ihre Nutzung (pragmatisches Merkmal). Für die folgenden Modelle wird daher untersucht, ob sie sich für verschiedenen Arbeitsaufgaben oder Formen der Produktion einsetzen lassen.
- *Durchgängigkeit der Modellierung*: Die Modellierung der Arbeitsproduktivität hat das Ziel, die Arbeitsproduktivität zu analysieren und gezielt zu verbessern (pragmatisches Merkmal). Dafür eignen sich Modelle, die durchgängig beschreiben, wie Aufgaben oder Maßnahmen Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität verändern und wie diese geänderten Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität als Zielgröße wirken.
- *Handhabbarkeit* der Modelle: Gute Modelle sollten leicht anzuwenden sein, indem sie leicht verständlich sind, aufzeigen, wie benötigte Daten erhoben und analysiert werden können und welche Möglichkeiten Unternehmen zur Verbesserung haben (Verkürzungsmerkmal, pragmatisches Merkmal).

3.2 Übergeordnete Produktivitätsmodelle

Übergeordnete Produktivitätsmodelle sind Modelle, die die Produktivität aller Produktionsprozesse unter Berücksichtigung sämtlicher dafür verwendeter Input-Faktoren und erzeugten Output-Faktoren abbilden. Beispielhaft für diese Modelltypen wird hier das Modell von Sumanth [Suma84] vorgestellt.

Das Produktivitätsmodell von Sumanth

Das Modell bezieht verschiedene Output-Elemente ein. Dazu zählen [Suma84, S. 153f.]:

- verkäufliche/nicht verkäufliche Fertigwaren
- verkäufliche/nicht verkäufliche Halbfertigwaren
- Dividenden von Kapitalsicherheiten
- Dividenden aus anderen Kapitalanlagen

Die einbezogenen Inputfaktoren sind [Suma84, S. 153f.]:

- Arbeitskraft (alle Arbeitskräfte in einem Unternehmen/ Unternehmensbereich)
- Kapital für Gebäude, Maschinen, Werkzeuge, Bestände, etc.
- Material (Rohmaterial, Kaufteile)
- Energie

- zusätzliche quantifizierbare Ausgaben (Forschung und Entwicklung, Marketing).

Um diese Faktoren vergleichbar zu machen, werden sie für das Modell monetär bewertet. Das Modell erfasst daher sowohl den Input als auch den Output in Geldeinheiten.

Üblicherweise betrachten übergeordnete Produktivitätsmodelle die Produktivität aller Produkte und Dienstleistungen des gesamten Unternehmens. Sumanth schlägt in seinem Modell jedoch vor, die Produktivität auf Ebene einzelner Funktionseinheiten zu erfassen und dann zu aggregieren. Diese Funktionseinheiten sind so definiert, dass sie einem Produkt oder einer Dienstleistung zugeordnet werden können. Die Gesamtproduktivität einer Funktionseinheit ist dabei der Quotient aller Output- und Input-Faktoren des Bereichs (vgl. 4.1 und 4.2) [Suma84, S. 156f.].

$$TP_i = \frac{O_i}{I_i} \quad 3.1$$

$$TPF = \frac{\sum O_i}{\sum I_i} \quad 3.2$$

- mit TPF : Gesamtproduktivität des Unternehmens [-]
TP_i : Gesamtproduktivität der Funktionseinheit i [-]
O_i : gesamter Output der Funktionseinheit i [GE]
I_i : gesamter Input der Funktionseinheit i [GE]

Darüber hinaus unterscheidet das Modell auf einer weiteren Ebene auch die jeweils einfließenden Teilproduktivitäten, also den Output einer Funktionseinheit bezogen auf den benötigten Input eines Ressourcentyps einer Funktionseinheit.

Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Produktivität einzelner Unternehmensbereiche zu vergleichen. Dadurch können Bereiche mit einer geringeren Produktivität ausgewählt werden, um dort eine Verbesserung anzustoßen. Die Betrachtung der Teilproduktivitäten auf Ebene der Funktionseinheiten erlaubt es zudem, die vorliegenden Problemstellungen weiter einzugrenzen. Die Aggregation zur Gesamtproduktivität verringert die Gefahr, eine bestimmte Teilproduktivität zu Lasten einer anderen Teilproduktivität zu verbessern. Wenn ein Unternehmen beispielweise Wartungspersonal oder weitere Maschinenbediener einsetzt, um die Maschinenproduktivität zu steigern, kann dies zu einer geringeren Arbeitsproduktivität und ggf. geringeren Gesamtproduktivität führen [Suma84, S. 151].

Produktivitätsmodelle, die verschiedene Inputfaktoren betrachten, weisen häufig den Nachteil auf, sowohl den Output als auch den Input der Produktivität monetär bewerten zu müssen. Dies kann die Aussagekraft der Produktivitätskennzahl verzerren, etwa wenn nicht klar ist, wie Gemeinkosten auf einzelne Funktionseinheiten aufzuteilen sind. Ein weiterer Nachteil ist der geringe Detaillierungsgrad. Zwar können die einzelnen Teilfaktoren für Input und Output theoretisch beliebig weit detailliert werden, allerdings erhöht dies den Aufwand für die Datenermittlung stark. Zusätzlich verstärkt sich die Problematik bei der Aufteilung von Gemeinkosten.

Lean Management und Ganzheitliche Produktionssysteme

Lean Management (LM) und Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) nehmen eine Sonderrolle bei den Produktivitätsmodellen ein. Zum einen, weil sie nach der Definition in Abschnitt 2.1.1 keine Modelle im engeren Sinne, sondern eher eine grundsätzliche Betrachtungs- und Herangehensweise zur Verbesserung der Produktion darstellen. Zum anderen, weil sie nicht nur die Produktivität, sondern alle Zielgrößen der Produktion adressieren. Trotzdem bilden die Ansätze nicht zuletzt auf Grund ihrer großen Verbreitung wichtige Grundlagen dafür, wie Unternehmen die Einflüsse auf die Produktivität verstehen und gezielt verbessern können.

Der Grundgedanke des Lean-Management-Ansatzes entstammt dem Toyota Produktionssystem [Ohno93]. Er sieht vor, Verschwendung in allen Bereichen der Produktion zu vermeiden. Dabei werden nur die für die Herstellung der erforderlichen Produkte notwendigen Aufgaben als Arbeit definiert und alle restlichen Aktivitäten als Verschwendung. Ohno benennt dazu 7 Arten von Verschwendung [Ohno93, S. 46]:

- Überproduktion
- Wartezeiten
- unnötige Transporte
- unnötige Bearbeitung
- große Lagerbestände
- überflüssige Bewegungen
- defekte Produkte

Das Lean Management betrachtet nur das als notwendige Arbeit, was einen Wert für den Kunden erzeugt, für den dieser zu bezahlen bereit ist. Ein weiterer Grundgedanke des Lean Management ist daher die Unterscheidung zwischen wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Arbeitsprozessen, wobei alle nicht-wertschöpfenden Prozesse Verschwendung darstellen [Woma04, S. 43f.].

Neben dieser grundsätzlichen Betrachtungsweise formuliert das Lean Management außerdem eine Reihe von Prinzipien und Methoden zur Verbesserung der Produktion. Beispielsweise stellt das Pull-Prinzip einen wesentlichen Bestandteil des Lean Managements dar [Woma04, S. 23ff.].

Ganzheitliche Produktionssysteme bilden ein methodisches Regelwerk zur umfassenden Gestaltung der Unternehmensprozesse, das auf den Grundgedanken des Lean-Management fußt und viele seiner Methoden übernimmt, jedoch um weitere Werkzeuge ergänzt [Domb06, S. 174; VDI2870]. Da die Umsetzung einzelner Methoden aus dem Lean Management in vielen Unternehmen nicht zu den erwarteten Verbesserungen führt, bilden GPS ein Rahmenwerk für eine abgestimmte Umsetzung von Methoden, gemäß der Unternehmensziele und -prozesse. GPS sind dabei unternehmensspezifisch, folgen aber einem einheitlichen Aufbau [Domb15, S. 28]. Gemäß der VDI 2870-1 setzen sich GPS einheitlich aus Zielen (z.B. Zeit, Kosten), Prozessen (z.B. Montage, Fräsen), Gestaltungsprinzipien (z.B. kontinuierlicher Verbesserungsprozess, Standardisierung) und Methoden und Werkzeugen (z.B. 5S-Methode, Spaghetti-Diagramm) zusammen [VDI2870]. Dabei verknüpfen GPS die einzelnen Elemente in stringenter Weise, sodass eine konkrete Zuordnung von Methoden und Gestaltungsprinzipien zu Prozessen und Zielen erfolgt [Domb15, S. 27].

Wie eingangs bereits erläutert, sind das Lean Management und GPS keine Produktivitätsmodelle. Nichtsdestotrotz liefert das Lean Management durch die Unterteilung in wertschöpfende und nicht wertschöpfende Prozesse eine Kategorisierung der Arbeitszeit und mit den Verschwendungsarten eine Beschreibung der negativen Einflüsse, wenngleich diese zum Teil wenig detailliert sind. GPS wiederum beschreiben eine durchgängige Vorgehensweise zur verbesserten Gestaltung der Unternehmensprozesse. Dies schließt auch die Verbesserung der Arbeitsproduktivität ein.

Ein wesentlicher Grundgedanke der Ansätze aus dem Lean Management und den GPS ist die ganzheitliche Betrachtungsweise. So betont Ohno beispielsweise die besondere Bedeutung der Kapazitätsplanung für die Vermeidung von Wartezeiten bzw. die Verbesserung der Produktivität [Ohno93, S. 45]. Die Abstimmung der verschiedenen Aktivitäten hinsichtlich der Unternehmensziele ist auch ein Kernaspekt von GPS, da andernfalls eine Verschlechterung der Ziele Zeit, Kosten und Qualität durch die Aktivitäten anderer Unternehmensbereiche droht [Domb15, S. 26].

3.3 Modelle der Arbeitsproduktivität

Weil der thematische Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Modellierung der Arbeitsproduktivität liegt, werden diese Ansätze detaillierter untersucht. Im ersten Schritt

werden empirische Arbeitsproduktivitätsmodelle (Abschnitt 3.3.1) und im Anschluss analytische Produktivitätsmodelle untersucht (Abschnitt 3.3.2).

3.3.1 Empirische Modelle der Arbeitsproduktivität

Bei der Analyse der bestehenden Literatur im Bereich der Arbeitsproduktivitätsmodelle können die meisten Vorarbeiten den empirischen Modellen zugeordnet werden. Mit der Bezeichnung „empirische Modelle“ ist die Art der Modellbildung gemeint. Diese Modelle nutzen Befragungen oder Beobachtungen von Arbeitsprozessen zur Erfassung zuvor ausgewählter Einflüsse. Mit Hilfe unterschiedlicher Regressionsverfahren oder auch Verfahren künstlicher neuronaler Netze (im Englischen als „artificial neural networks“ ANN bezeichnet), werden die Zusammenhänge der betrachteten Verfahren und der Arbeitsproduktivität untersucht.

Ein Teil der empirischen Vorarbeiten, wie Shayan und Sobhanallahi [Shay02], Kelley [Kell94] und Lanoi et al. [Lano01], untersucht dabei den Einfluss einzelner Maßnahmen oder einzelner Phänomene auf die Arbeitsproduktivität. Beispiele dafür sind die Untersuchung des Einflusses von Informationstechnologien [Kell94] oder Gruppenarbeit [Lano01] auf die Arbeitsproduktivität. Diese Studien bilden selbst zwar keine Modelle der Arbeitsproduktivität, weil sie nur Teilaspekte der Arbeitsproduktivität abbilden. Sie liefern in ihrer Summe jedoch Erkenntnisse über die relevanten Einflussgrößen.

Andere empirische Vorarbeiten erstellen umfangreiche Modelle und beziehen eine Vielzahl verschiedener Einflüsse ein. Bei diesen Arbeiten erheben und bewerten die Autoren Datensätze entweder selbst (Jang et al. [Jang11], Dissanayake et al. [Diss05]) oder fassen Studien anderer Autoren über einzelne Einflüsse zu einem vollständigen Modell zusammen (Goel et al. [Goel17]). Dieses Vorgehen greift mehrheitlich auf empirische Studien zurück, nutzt jedoch auch analytische Untersuchungen, sodass sich diese Vorarbeiten nicht eindeutig den empirischen Modellen zuordnen lassen. Aus diesem Grund wird hier beispielhaft für die existierenden empirischen Modelle das Modell von Jang et al. näher erläutert.

Das Arbeitsproduktivitätsmodell von Jang et al.

Jang et al. nutzen ein mehrstufiges Vorgehen zur Modellierung der Arbeitsproduktivität. Den Ausgangspunkt für das Modell von Jang et al. bilden Einflussfaktoren, die die Autoren durch eine strukturierte Literaturrecherche zusammentragen. Im Anschluss befragen die Autoren Angestellte und Arbeiter in Unternehmen auf Baustellen (Errichtung stahlverstärkter Betonkonstruktionen) in Korea. Für die Interviews nutzen sie Fragebögen, mit denen Informationen zu den gesammelten Faktoren ermittelt werden.

Die Methodik nutzt anschließend verschiedene statistische Verfahren, um [Jang11, S. 98]:

- unzuverlässige Datenpunkte zu entfernen
- Faktoren mit zu geringem Einfluss zu entfernen und
- Faktoren zu relevanten Komponenten zusammenzufassen, um die Modellgüte weiter zu steigern.

Um zu ermitteln welche Faktoren aus der Literaturanalyse relevant sind, nutzen die Autoren im ersten Schritt eine Korrelationsanalyse. Dabei wurden alle Einflussfaktoren verworfen, deren Signifikanz bei einem zweiseitigen Test den Wert von 0,05 überschritt. Die verbleibenden Einflüsse wurden mit Hilfe einer Faktoranalyse zu Gruppen zusammengefasst. Die Autoren bewerteten die statistische Aussagekraft der verbleibenden Faktoren mit Hilfe einer Regressionsanalyse. Dabei wurden wiederum die Gruppen mit einer geringen Aussagekraft verworfen [Jang11, S. 99ff.].

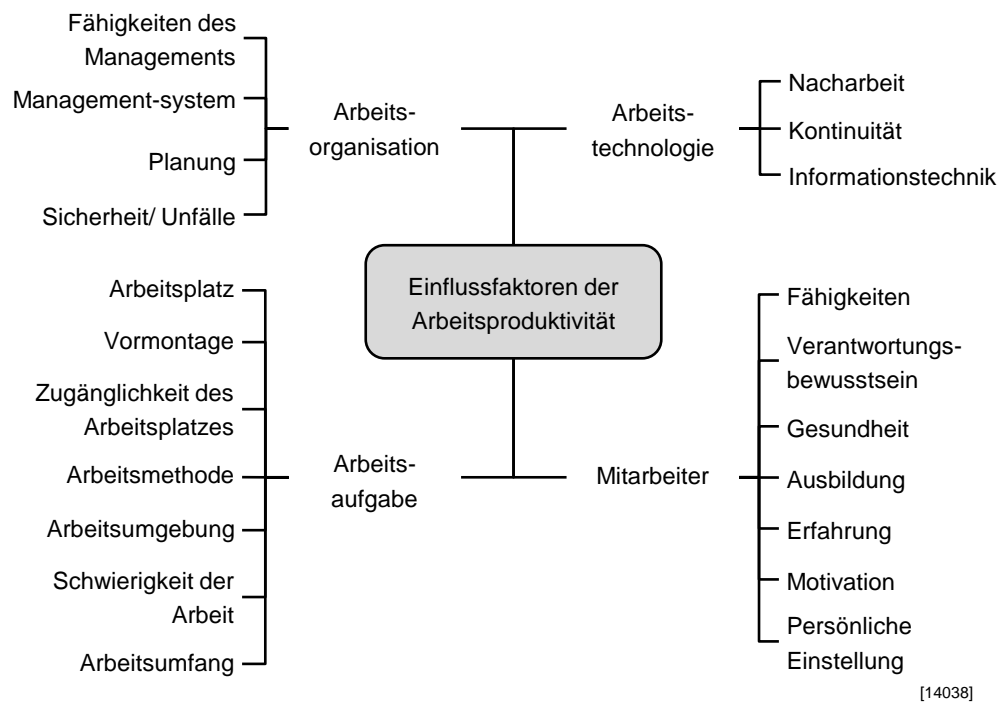


Abbildung 8: Relevante Einflussfaktoren auf die Arbeitsproduktivität nach Jang et al [Jang11, S. 105]

Das resultierende Modell definiert die Komponenten Arbeitsorganisation, Arbeitstechnologie, Arbeitsaufgabe und Mitarbeiter. Dabei vernachlässigen die Autoren

basierend auf einer Regressionsanalyse die Komponenten Material und Hilfsmittel, Arbeitsanleitung der Mitarbeiter und Verzögerungen im Arbeitsablauf, da anhand der Daten kein ausreichender Einfluss feststellbar ist (vgl. Abbildung 8). Die resultierende Regressionsgleichung weist eine statistische Aussagekraft von 48% auf.

Die statistisch evaluierte Modellgüte bzw. die berechnete Aussagekraft der empirischen Modelle ist ein großer Vorteil dieser Art der Modellbildung. Gleichzeitig erlauben empirische Modelle Aussagen darüber, welche Einflussfaktoren eine besondere Wirkung auf die Arbeitsproduktivität haben. Die Modelle erlauben es daher grundsätzliche Aussagen über die Bedeutung einzelner Einflüsse zu treffen. Diese können Unternehmen dann ohne weitere Datenanalyse adressieren, um die Produktivität zu verbessern. Bezogen auf das Modell von Jang et al. heißt das, dass Unternehmen eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität auf Baustellen eher erreichen, wenn sie die Faktoren *Arbeitsaufgabe* und *Arbeitstechnologie* adressieren, da diese einen großen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität haben. Die zugeordneten Faktoren erlauben es zudem, die Einflüsse auf die Faktoren differenzierter zu analysieren. Das Modell ist demnach detailliert und erlaubt es Unternehmen theoretisch die einzelnen Faktoren gezielt zu gestalten.

Ein Großteil der empirischen Vorarbeiten, die im Rahmen der Literaturanalyse ausgewertet wurden, thematisiert die Arbeitsproduktivität auf Baustellen. Die gefundenen Arbeiten beziehen sich dabei auf bestimmte Arbeitsprozesse, wie etwa Arbeiten an Betonkonstruktionen oder am Innenausbau. Die gefundenen Zusammenhänge gelten nicht grundsätzlich auch für andere Fertigungsformen, wenngleich das Vorgehen zur Modellierung übertragbar ist. Daher sind empirische Modelle nur innerhalb enger Grenzen allgemeingültig. Da die Modellbeziehungen durch statistische Zusammenhänge erstellt werden, besteht zudem die Herausforderung, auch kausale Zusammenhänge zwischen den Einflüssen und der Arbeitsproduktivität herzustellen. Dies ist erforderlich, um Handlungsempfehlungen für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität abzuleiten. Das Modell von Jang et al. weist beispielsweise den *Arbeitsplatz* und die *Arbeitsumgebung* als relevante Einflüsse aus. Ausgehend vom Modell ist jedoch unklar, wie diese Faktoren zusammenhängen und wie Unternehmen sie am besten beeinflussen können. Eine durchgängige Modellierung liegt daher nicht vor.

3.3.2 Analytische Arbeitsproduktivitätsmodelle

Anders als empirische Modelle nutzen analytische Modelle keine Daten für die Modellerstellung. Sie nutzen stattdessen ein deduktives Vorgehen, um Einflussfaktoren auf die Arbeitsproduktivität abzuleiten und zu beschreiben. Bei den analytischen Modellen der Arbeitsproduktivität lassen sich zwei Gruppen unterscheiden.

Faktormodelle wie das MPU-Modell bilden die Arbeitsproduktivität als Produkt weniger Faktoren ab. Diese Modelle fassen dazu verschiedene Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität zusammen, so etwa verschiedene Arten von Auslastungsverlusten. Die Faktoren unterscheiden zudem nicht zwischen Einflüssen auf den Input oder den Output.

Modelle der bezahlten Arbeitszeit hingegen beschreiben ausschließlich oder hauptsächlich den Input der Arbeitsproduktivität. Diese Betrachtungsweise beruht in der Regel auf zwei Annahmen: Zum einen wird argumentiert, dass aus der Perspektive des Produktivitätsmanagements der Output nicht oder nur bedingt beeinflussbar ist [Saka10, S. 50]. Zum anderen führen die entsprechenden Ansätze auf, dass sich der Output bei einigen Fertigungsformen nicht richtig erfassen lässt bzw. wenig aussagekräftig ist (z.B. Unikatproduktion) [Tiet16, S. 9].

Das MPU-Modell

Mit dem als MPU-Ansatz bekannten Modell existiert seit den 1960er Jahren ein Modell, das die Arbeitsproduktivität durch drei Faktoren abbildet, deren Produkt die Arbeitsproduktivität ist (vgl. 3.3).

$$\text{Produktivität} = M \cdot P \cdot U$$

3.3

Diese Faktoren sind [Sait01, S. 2154; Alms12, S. 298]:

- *Methode* (M): Der Faktor Methode beschreibt den Arbeitsinhalt der jeweiligen Arbeitsaufgabe. Er entspricht dem Inversen der Vorgabezeit und ist von der Arbeitsaufgabe selbst und ihrer Gestaltung abhängig. Der Faktor kann auch als ideale Produktivitätsrate bezeichnet werden, da der Methodenfaktor die erforderliche Arbeitszeit pro Stück beschreibt (z.B. 12 Min./ Stk.).
- *Performanz* (P): Der Faktor Performanz beschreibt die relative Arbeitsgeschwindigkeit, mit der die Mitarbeiter eine Arbeitsaufgabe durchführen. Dieser Faktor wird durch den Quotienten aus der Vorgabezeit und der tatsächlichen Bearbeitungszeit der Arbeitsaufgabe berechnet. Benötigen die Mitarbeiter die vorgesehene Bearbeitungszeit, ist der Performanz-Faktor 1. Arbeiten die Mitarbeiter schneller als geplant, steigt er über 1, arbeiten sie langsamer, sinkt der Faktor unter 1.
- *Auslastung* (U): Der Faktor Auslastung (engl. Utilization) beschreibt den Zeitanteil der geplanten Arbeitszeit, den die Mitarbeiter für die Durchführung von Arbeitsaufgaben nutzen. Störungen und Wartezeiten reduzieren die Auslastung. Wenn die Mitarbeiter die gesamte geplante Arbeitszeit für die Arbeitsaufgabe nutzen, nimmt die Auslastung den Maximalwert von 1 an.

Das MPU-Modell setzt die Nutzung von Systemen vorbestimmter Zeiten voraus. Zum einen sollten für den Methoden-Faktor möglichst genaue Planzeiten der Arbeitsaufgaben bestimmt werden. Zum anderen bezieht sich der Performanz-Faktor auf das Konzept der Normgeschwindigkeit. Systeme vorbestimmter Zeiten bestimmen die erforderliche Zeit, indem sie Tätigkeiten in einzelne Bewegungen zerlegen und mit Standardzeiten bewerten. Die Ermittlung der Standardzeiten erfolgt in der Regel experimentell. Der bekannteste Vertreter dieser Systeme ist das MTM-System [Alms12, S. 300].

Almström erweitert das MPU-Modell um Faktoren für die Qualität und das (Produkt-) Design (Gl. 3.4):

- *Qualität (Q)*: Der Faktor Qualität bildet den Einfluss des Ausschusses auf die Arbeitsproduktivität ab. Der Faktor wird durch den Quotienten aus der Ausbringungsmenge abzüglich des entstandenen Ausschusses und der gesamten Ausbringungsmenge bestimmt. Dieser Faktor nimmt den Maximalwert 1 an, wenn ein Arbeitssystem ohne Ausschuss produziert.
- *Design (D)*: Der Faktor Design greift die Ansätze aus der fertigungsgerechten Konstruktion oder Produktentwicklung und deren Einfluss auf die Arbeitsproduktivität auf. Dieser Faktor ist 1, wenn die Gestaltung eines Bauteils oder Produktes vollständig im Einklang mit den Prämissen der fertigungsgerechten Produktgestaltung entwickelt wurde.

$$\text{Produktivität} = M \cdot P \cdot U \cdot Q \cdot D$$

3.4

Das erweiterte MPU-Modell greift damit Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität auf, die den Input (Auslastung), den Output (Qualität) und die Transformation von Input in Output (Methode, Performanz, Design) adressieren. Es ist vollständig, was allerdings zum Teil darin begründet ist, dass die einzelnen Faktoren bewusst allgemein und grob gehalten sind und daher viele verschiedene Einflüsse aggregiert darstellen. Das Modell lässt folglich ohne weitere Detaillierung keine Schlüsse darüber zu, welcher Aspekt der Auslastung oder des Soll-Ablaufs der Arbeitsaufgabe zu Produktivitätsverlusten führt und wie die Produktivität verbessert werden kann [Alms12, S. 300].

Das Modell der Kapazitätsgrenzfunktion

Hedman und Almström überarbeiten daher das MPUQD-Modell und überführen es in ein detaillierteres Modell. Sie detaillieren die Faktoren Performanz und Auslastung und ordnet ihnen weitere Einflüsse zu (vgl. Tabelle 5 und Tabelle 6).

Tabelle 5: Performanz-Faktoren [Hedm16, S. 30]

Variable	Beschreibung
Mensch-bedingte Arbeitsgeschwindigkeit	bedingt durch die physische Fähigkeit und die Bereitschaft zur Durchführung der Aufgabe
Fähigkeits-bedingte Arbeitsgeschwindigkeit	bedingt durch Qualifikation und Erfahrung für die Durchführung der Aufgabe
Hilfsmittel-bedingte Arbeitsgeschwindigkeit	bedingt durch den Zustand der Hilfsmittel und die Fähigkeiten des Bedieners

Für den Performanz-Faktor definiert das Modell 3 untergeordnete Faktoren, die die Einflüsse der Fähigkeit und Bereitschaft der Mitarbeiter und die Arbeitsgeschwindigkeit der Hilfsmittel einbeziehen [Hedm16, S. 30].

Tabelle 6: Auslastungs-Faktoren [Hedm16, S. 30]

Variable	Beschreibung
Mensch-bedingte Auslastung	bedingt durch benötigte Erholungszeit der Mitarbeiter (z.B. bezahlte Pausen)
Arbeitssystem-bedingte Auslastung	bedingt durch die Abtaktung von Fertigungszellen oder die Materialbereitstellung
Störungs-bedingte Auslastung	bedingt durch Störungen der benötigten Hilfsmittel

Für den Auslastungs-Faktor definiert das Modell ebenfalls 3 untergeordnete Faktoren, die die Einflüsse von Erholungspausen, Abtaktung und Störungen einbeziehen.

Um die Produktivität als Ganzes zu modellieren, entwickelt Hedman eine Produktivitäts-Grenzfunktion in Anlehnung an die Leistungsgrenzfunktion nach Vastag [Vast00, S. 355] (vgl. Abbildung 9). Die Leistungsgrenzfunktion beschreibt die maximale Leistung, die ein Arbeitssystem bedingt durch die zugeordneten Ressourcen erreichen kann. Ihr gegenübergestellt wird die tatsächliche Leistung des Arbeitssystems, die geringer ist, da die Ressourcen nicht optimal genutzt werden können. Analog dazu stellt Hedman eine ideale Produktivitätsgrenze ausgehend von den Faktoren Design und Methode auf (oberer Graph in Abbildung 9). Die ideale Grenzfunktion bildet die obere Grenze der Produktivität und beschreibt daher eine Situation in der die Faktoren *Performanz*, *Qualität* und *Auslastung* den Wert 1 annehmen. Ihr gegenübergestellt wird eine reale Produktivitätsfunktion, die die reale Ausprägung der Faktoren *Performanz*, *Qualität* und *Auslastung* einbezieht (unterer Graph in Abbildung 9). Durch die Verbesserung der Faktoren Methode oder Design erhöht sich die Produktivitätsgrenzfunktion stufenweise. Da die Mitarbeiter direkt nach der Einführung eines neuen Produkts bzw. einer neuen Arbeits-

methode noch nicht sehr geübt sind, treten zu Beginn höhere Produktivitätsverluste auf und die reale Produktivitätsfunktion nähert sich erst nach einiger Zeit der idealen Produktivitätsgrenze an.

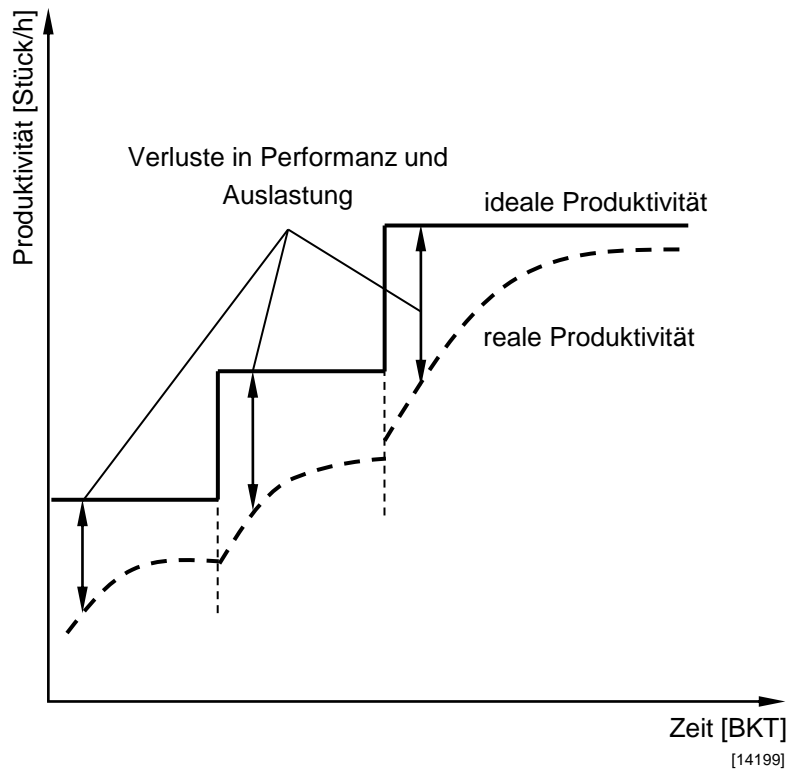


Abbildung 9: Konzept der Produktivitätsgrenze nach Hedman [Hedm16, S. 31]

Speziell die Faktormodelle von Almström und Hedman stellen vollständige und quantifizierbare Modelle der Arbeitsproduktivität dar. Ein Nachteil speziell dieser Modelle ist ein geringer Detaillierungsgrad. Hedmans detaillierteres Modell greift zwar diesen Nachteil auf, bleibt aber speziell in Bezug auf den Faktor Methode ebenfalls auf einer sehr groben Detailebene. So bleibt beispielsweise unklar, wie sich die Handhabung von Informationen auf die Arbeitsproduktivität auswirkt.

Die bestehenden Faktormodelle zeigen zudem nicht auf, wie Unternehmen die einzelnen Faktoren beeinflussen können. Eine Verknüpfung des Produktivitätsmanagements und anderer Unternehmensbereiche wie der PPS oder dem Qualitätsmanagement erfolgt ebenfalls nicht, obwohl durch den Faktor *Qualität* ein Zusammenhang beschrieben wird.

Die Nutzung der Faktormodelle setzt die Erhebung genauer Planzeiten voraus. Dies ist mit einem hohen Aufwand verbunden und reduziert die Handhabbarkeit der Modelle. Um dem zu begegnen entwickelt Hedman eine Methode, mit der Mitarbeiter in den Arbeitssystemen selbst Planzeiten aktualisieren können. Dazu nutzen sie ein System vorbestimmter Zeiten, dessen Nutzung durch zusätzliche Software vereinfacht wird.

Arbeitszeitkategorien des International Labour Office (ILO)

Der Ansatz der Arbeitszeitkategorien des ILO unterteilt die Arbeitszeit in die Grundanteile *Arbeitsinhalt* und *ungenutzte Zeit*. Der Arbeitsinhalt beschreibt die Zeit, die für die Fertigung oder Montage eines Produkts oder Bauteils erforderlich ist. Sie ist zudem unterteilt in die Anteile *notwendiger Arbeitsinhalt* und *zusätzliche Arbeitsinhalte*.

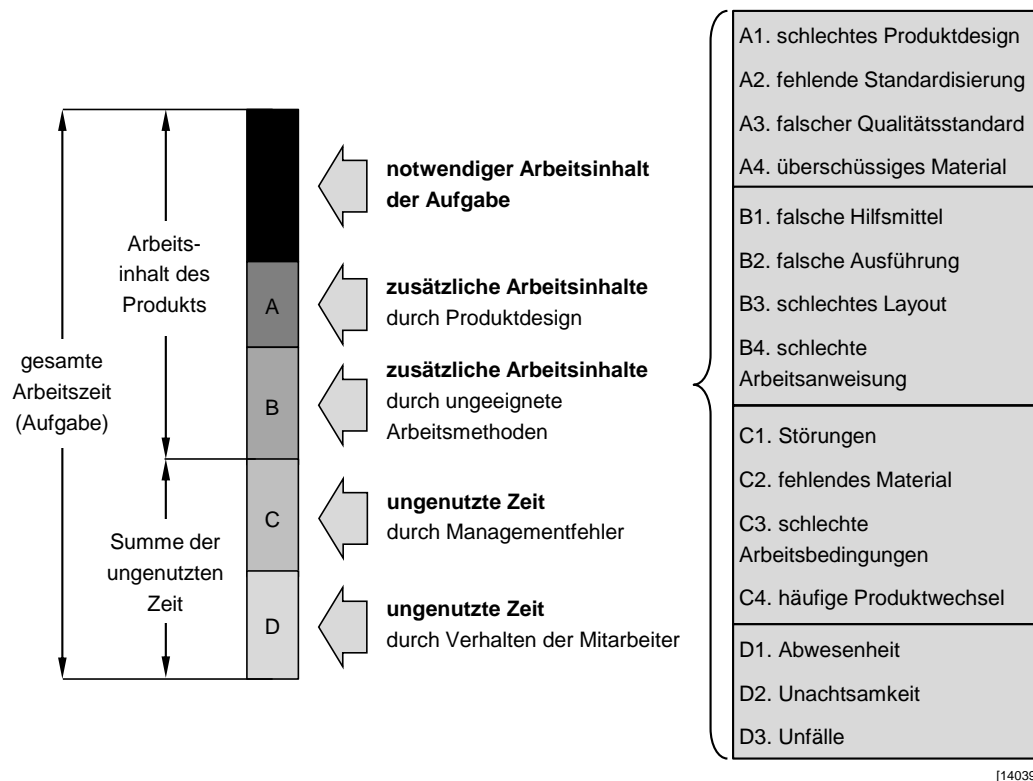


Abbildung 10: Arbeitszeitkategorien des ILO nach Sakamoto [Saka10, S. 51]

Diese resultieren entweder aus der Gestaltung des Produkts oder der Arbeitsmethode. Die *ungenutzte Zeit* führt das Modell entweder auf Fehler des Managements oder das Verhalten der Mitarbeiter zurück (vgl. Abbildung 10) [Saka10, S. 51f.].

Die Arbeitszeitkategorien des ILO-Modells bilden die bezahlte Arbeitszeit vollständig ab und berücksichtigt dabei in Teilen auch die Handhabung von Informationen (B4 schlechte Arbeitsanweisungen). Das Modell zeigt jedoch keine Zusammenhänge zwischen der Arbeitsproduktivität und der PPS auf. Zwar wird der negative Einfluss häufiger Produktwechsel auf die Produktivität dargestellt, es fehlt jedoch die Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten durch Überkapazitäten. Das Modell ist allgemeingültig und kann daher für verschiedene Arten von Arbeitssystemen eingesetzt werden. Allerdings ist das Modell wenig detailliert, sodass eine Zuordnung der tatsächlichen Ursachen für die verschiedenen aufgezeigten Zeitannteile schwer möglich ist. Zwar zeigt das Modell auf, welche Aspekte des betrachteten Arbeitssystems potenziell für die Verluste verantwortlich sind, im Rahmen einer Analyse kann dies jedoch nicht eingegrenzt werden. Die Handhabung wird zudem erschwert, da nicht klar ist, wie die erforderlichen Daten für das Modell in einem Arbeitssystem erhoben werden können. Dies betrifft insbesondere die Analyse des Einflusses des Produktdesigns auf die Arbeitsproduktivität.

Ablaufartengliederung nach REFA

Ein speziell in Deutschland weit verbreitetes Verfahren zur Beschreibung und Erfassung der Arbeitszeit ist die REFA-Systematik. Sie dient dazu verlässliche Soll- oder Plan-Zeiten zu bestimmen und misst dazu Ist-Zeiten mit Hilfe eines speziell ausgebildeten Zeitnehmers. Im Anschluss bewertet der Zeitnehmer, inwieweit die Arbeitsbedingungen sowie die Leistungsfähigkeit und -bereitschaft des beobachteten Mitarbeiters der Normleistung entsprechen und passt die gemessenen Ist-Zeiten gegebenenfalls an [REFA97, S. 81ff.].

Um die verschiedenen Tätigkeiten der Mitarbeiter für die Zeitaufnahme zu ermitteln, schlägt die REFA-Systematik verschiedene Ablaufarten vor (vgl. Abbildung 11).

Die REFA-Systematik bildet die bezahlte Arbeitszeit vollständig ab und ist für die Ablaufart „*im Einsatz*“ detaillierter als die Arbeitszeitkategorien des ILO-Modells. Allerdings bleibt auch bei der REFA-Systematik unklar, welche Einflüsse für die Dauer der Haupt- bzw. Nebentätigkeiten verantwortlich sind. Andere Teile der bezahlten Arbeitszeit werden nicht detailliert betrachtet.

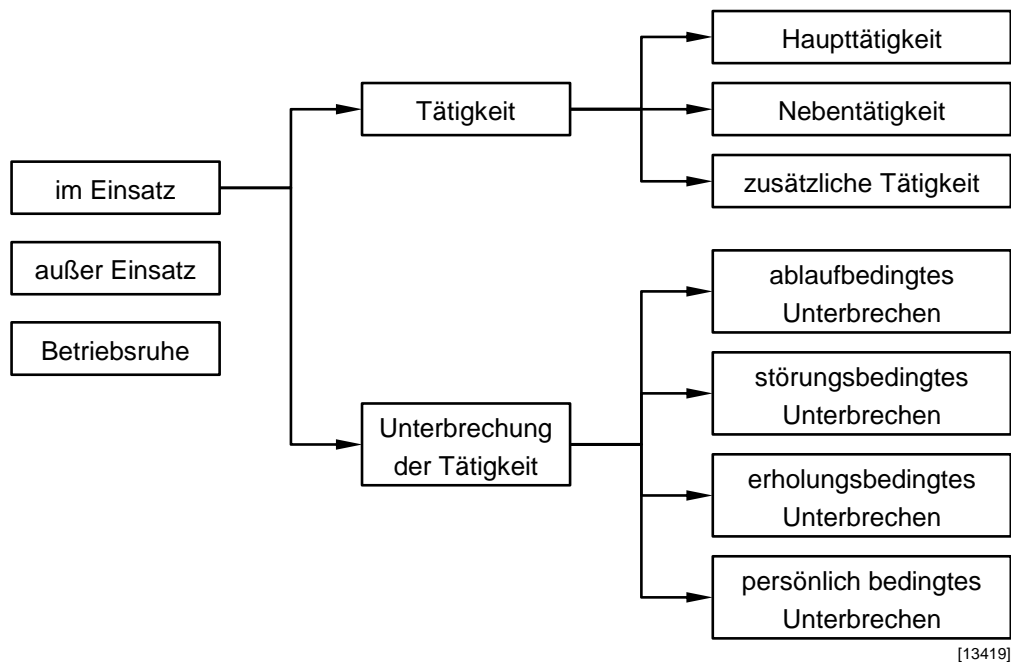


Abbildung 11: Ablaufartengliederung für den Menschen [REFA97, S. 23]

Speziell für die Ablaufart „*außer Einsatz*“ sind mögliche Verluste und deren Ursprung nicht eindeutig zu eruieren und damit deren Beseitigung schwierig. Unklar bleibt auch, wie Unternehmen die Ablaufarten beeinflussen können. Wechselwirkungen mit anderen Bereichen des Produktivitätsmanagements wie der PPS oder dem Qualitätsmanagement berücksichtigt die REFA-Systematik nicht.

Obwohl das Vorgehen und die Systematik für die Serienfertigung konzipiert wurden, sind die Ablaufarten selbst allgemeingültig für verschiedene Arten von Arbeitssystemen. Das vorgeschlagene Vorgehen zur Datenerhebung mit Zeitaufnahmen ist jedoch sehr aufwändig und daher nur im Kontext der Serienfertigung gut handhabbar. Zeitaufnahmen würden z.B. in der variantenreichen Kleinserienfertigung auf Grund der vielen Verschiedenen Arbeitsabläufe einen Aufwand verursachen, der den Nutzen solcher Erhebungen schnell übersteigt.

Methods-Time Measurement

Bei der MTM-Methodik handelt es sich um ein System vorbestimmter Zeiten zur Beschreibung von Arbeitsabläufen, d. h. die Sollzeiten ergeben sich nicht aus der Messung realer Abläufe, sondern werden aus ihren Einflussgrößen abgeleitet.

Unternehmen nutzen die MTM-Methodik zur [Bokr06, S. 63]:

- Bestimmung von Sollzeiten von Arbeitsprozessen
- Gestaltung von produktiven und menschengerechten Arbeitsprozessen

Das Grundprinzip basiert darauf, Arbeitsabläufe mit Hilfe von Prozessbausteinen zu modellieren, denen jeweils eine Normzeit zugeordnet ist. Die Prozessbausteine bilden dabei einzelne Bewegungen oder einfache Bewegungsfolgen ab. Die Normzeit für die Prozessbausteine ist dabei abhängig vom Bewegungstyp (z.B. „Hinlangen“), der Länge der Bewegung (z.B. 20 cm bis 50 cm), dem Bewegungsfall (z.B. „ungefähres Platzieren“), dem Kraftaufwand bzw. dem Gewicht des Werkstücks (z.B. 1kg bis 8kg) [Bokr06, S. 533f.]. Gemäß der MTM-UAS Normzeittabelle entfällt beispielsweise auf ein einfaches „Hinlangen und Platzieren“ eines Werkstücks von 2kg Gewicht über eine Länge von 30cm eine Normzeit von 65 TMU (Time Measurement Unit), was 2,34 Sekunden entspricht [Inte12, S. II22].

Darüber hinaus beinhaltet die MTM-Methodik ein System zur Gestaltung und Verbesserung der Arbeitsprozesse. Diese bestehen aus Gestaltungsprinzipien (z.B. Vereinfachen von Bewegungsfällen), Gestaltungsfeldern (z.B. Layout/Anordnung) und Gestaltungsgrundsätze (z.B. Standardisierung als Grundlage für Verbesserung) [Bokr06, S. 119]. Darüber hinaus stellt die MTM-Methodik Methoden und Hilfsmittel (z.B. Checklisten) zur Verfügung, die Unternehmen bei Gestaltung der Arbeitsprozesse unterstützen.

Die MTM-Methodik bildet jedoch nicht die gesamte bezahlte Arbeitszeit ab, sondern mit ihrer Fokussierung auf Vorgabezeiten nur die Zeit, die Mitarbeiter für die Arbeitsaufgabe verwenden. Dafür ist die Modellierung von Arbeitsprozessen mit der MTM-Methodik sehr detailliert und zeigt die relevanten Einflüsse auf diesen Zeitanteil auf. Die Modellierung der Arbeitsprozesse selbst ist zudem allgemeingültig für verschiedene Arbeitssysteme und Arbeitsaufgaben. Eine Einschränkung stellt dabei die Handhabung und Verarbeitung von Informationen im Arbeitsprozess dar, die die Methodik nur sehr eingeschränkt abbilden kann.

Durch die Abbildung der Einflüsse (Bewegungstyp, Bewegungslänge, Kraftaufwand, etc.) und die Verknüpfung mit dem System zu ihrer Gestaltung entsteht eine durchgängige Modellierung von den Einflussfaktoren und ihrer Gestaltung hin zur Wirkung auf die Normzeit. Dadurch bietet diese Form der Modellierung den Vorteil, dass Unternehmen ausgehend von einer Analyse konkrete Gestaltungsalternativen für die Verbesserung ableiten können. Ein wesentlicher Nachteil der MTM-

Methodik ist der große Aufwand für die Erfassung der Arbeitsprozesse. Dieser Ansatz ist daher häufig nur im Kontext einer Serienfertigung mit vergleichsweise wenigen verschiedenen Arbeitsaufgaben handhabbar.

Zustandsbasierte Arbeitszeitgliederung

Mit der Handlungsorientierten Analyse der Arbeitsproduktivität schafft Czumanski [Czum13] eine Modellierung der bezahlten Arbeitszeit auf Basis von Mitarbeiterzuständen.

Tabelle 7: Zustandshierarchie zur Modellierung der bezahlten Arbeitszeit
[Czum13, S. 39]

Kategorie	Zustand
wertschöpfend	Handmontage Verschrauben Bohren Kleben
Handhabung	Teilehandling Werkstückhandhabung Werkzeughandhabung Maschine be-/entladend
logistische Tätigkeiten	Verpacken Kommissionierung Werkstücktransport
Rüsten	Rüstvorbereitung Abrüsten Aufrüsten Probeläufe und Nachbereitung
Laufen/ Bewegen	
Warten	Warten auf Störungsbehebung Warten auf Material Warten auf Mitarbeiter prozessbedingtes Warten
Prüfen	
Dokumentieren	
geplante Unterbrechung	Pause Besprechung
ungeplante Unterbrechung	
Abwesenheit	Krankheit Urlaub Weiterbildung

Das Ziel der Modellierung ist die Analyse der bezahlten Arbeitszeit in der Serienproduktion und die anschließende Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Die Zustände bilden dazu die Aktivitäten der Mitarbeiter innerhalb der bezahlten Arbeitszeit ab. Diese umfassen sowohl alle wertschöpfenden als auch nicht wertschöpfenden Aktivitäten der Mitarbeiter [Czum13, S. 40ff.]. Tabelle 7 zeigt Beispiele für die verschiedenen Mitarbeiterzustände.

Czumanskis Modell der bezahlten Arbeitszeit enthält neben den verschiedenen Mitarbeiterzuständen auch eine Aggregationslogik, die es erlaubt, Zustände einzelner Arbeitsplätze oder Linien für ganze Segmente oder Werke zusammenzufassen und regelmäßig auftretende Zustände mit geringerem Aufwand zu erfassen. Los- oder zyklusgebundene Zustände erfasst das Vorgehen von Czumanski durch Zeitaufnahmen. Durch Multiplikation der erfassten Zeiten mit der Anzahl der Zyklen bzw. Lose kann die insgesamt auf diese Zustände entfallene Zeit berechnet werden [Czum13, S. 53ff.].

Zusätzlich verknüpft Czumanski die verschiedenen Zustände der Mitarbeiter mit einem Vorgehen, das es erlaubt, geeignete Methoden zur Verbesserung der Produktivität abzuleiten. Dazu definiert das Vorgehen Handlungsfelder, um die Ursachen für einen hohen Zeitanteil eines Mitarbeiterzustands zu finden. Czumanski schlägt vor die „5 Warum-Technik“ und das Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm) zu nutzen, um die Ursachen zu ermitteln. Methoden werden unter anderem anhand der adressierten Zustände, ihrer Wirkung und der von ihnen adressierten Ursachenkategorie klassifiziert und den Handlungsfeldern zugeordnet [Czum13, S. 99ff.].

Czumanskis Modell der Arbeitsproduktivität beschreibt die bezahlte Arbeitszeit vollständig und detaillierter als die REFA-Systematik oder das ILO-Modell. Allerdings vernachlässigt dieser Modellierungsansatz die Handhabung von Informationen durch die Mitarbeiter, die in der Serienfertigung häufig keinen relevanten Anteil an der bezahlten Arbeitszeit darstellt. Dadurch kann das Modell nur bedingt im Umfeld der variantenreichen Fertigung oder der Unikatfertigung eingesetzt werden, da die Handhabung von Informationen dort eine größere Bedeutung hat. Durch die Formulierung von Handlungsfeldern und der Zuordnung von Methoden zu diesen Handlungsfeldern entsteht zudem eine durchgängige Modellierung, die aufzeigt, wie Unternehmen die Zustände beeinflussen und so Zustandsanteile reduzieren können. Dabei betrachtet Czumanski auch, wie sich Methoden auf andere Zielgrößen als die Arbeitsproduktivität auswirken können. Den umgekehrten Fall, also die Beeinflussung der Arbeitsproduktivität durch andere Unternehmensbereiche (z.B. die PPS) untersucht er nicht.

Tietze [Tiet16] entwickelt ein ähnliches Vorgehen für die Unikatfertigung. Anders als in der Serienfertigung mit einer geringeren Bandbreite an Arbeitsaufgaben muss das Modell der bezahlten Arbeitszeit für die Unikatfertigung eine große Bandbreite verschiedener Arbeitsaufgaben abbilden können [Tiet16, S. 29]. Tietze erarbeitet dafür einen generischen Arbeitszyklus, der die Tätigkeiten von Mitarbeitern bei der Durchführung einer Arbeitsaufgabe in verschiedene Phasen unterteilt (vgl. Abbildung 12). Danach besteht jede Arbeitsaufgabe aus den Phasen *Vorbereitung*, *Durchführung* und *Nachbereitung* der Aufgabe. Die Vorbereitung ist dabei in die Teilphasen *Informationsbeschaffung und -verarbeitung*, *Material- und Hilfsmittelbeschaffung* und *Bauteil- und Arbeitsplatzvorbereitung* untergliedert. Durch die Repräsentation der Mitarbeiterzustände im generischen Arbeitszyklus gelingt es Tietze, Einflüsse auf die Zeitanteile zur Durchführung einer Arbeitsaufgabe – losgelöst von den spezifischen Zuständen – allgemeingültig zu definieren.

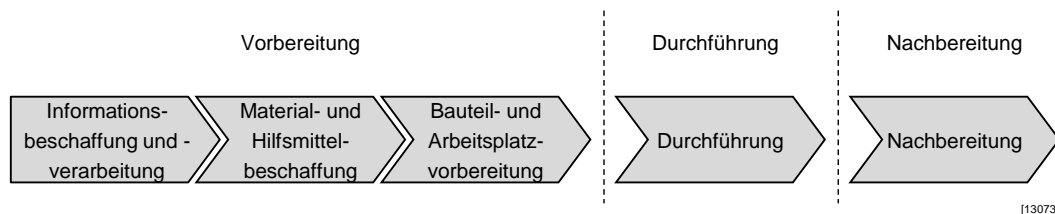


Abbildung 12: Generischer Arbeitszyklus für direkte Bereiche [Tiet16, S. 34]

Tietze schlägt vor, nicht nur die Mitarbeiterzustände, sondern auch beteiligte Objekte und weitere Bedingungsgrößen (z.B. den jeweiligen Arbeitsplatz) bei der Erfassung einzubeziehen, um ein detaillierteres Abbild der Mitarbeiterzustände zu erzeugen [Tiet16, S. 74ff.].

Tietzes Modellierungsansatz, bildet wie auch Czumanskis die bezahlte Arbeitszeit vollständig und detailliert ab. Anders als Czumanski beschreibt Tietze die Mitarbeiterzustände jedoch allgemeingültiger und bezieht auch die Informationshandhabung ein. Tietze verwendet ein ähnliches Vorgehen wie Czumanski, um geeignete Verbesserungsmethoden auszuwählen. Daher bietet sein Modell ebenfalls den Vorteil, dass es Möglichkeiten zur Verbesserung aufzeigt. Allerdings blendet auch Tietze die Einflussnahme anderer Unternehmensbereiche wie der PPS oder des Qualitätsmanagements auf die Arbeitsproduktivität aus.

Ein grundsätzliches Defizit aller Arbeitszeitmodelle liegt in der ausschließlichen Betrachtung der bezahlten Arbeitszeit als Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Die Modelle in diesem Abschnitt sind daher nicht vollständig und blenden den Ausschuss, aber zum Teil auch die Arbeitsmethoden, als Einflüsse aus.

3.4 Defizite bei der Modellierung der Arbeitsproduktivität

Die Analyse der Fachliteratur zeigt, dass ein Großteil der vorhandenen Literatur zum Thema Arbeitsproduktivität und ihrer Modellierung nicht auf die Zielstellung dieser Arbeit übertragbar ist. Insbesondere ist die Arbeitsproduktivität auf Ebene einzelner Arbeitssysteme und die Modellierung ihrer Einflussgrößen noch nicht hinreichend erforscht.

Trotzdem existiert eine Reihe von Modellen, die auf verschiedene Weise die Arbeitsproduktivität und ihre Einflüsse abbilden und für direkte Bereiche auf einer Arbeitssystemebene anwendbar sind. Aus der Untersuchung dieser Vorarbeiten ergeben sich die folgenden Defizite, die die Ausgangslage für das hier entwickelte Modell bilden.

Ungeeigneter Detaillierungsgrad/ Unvollständigkeit

Je nach Art des Modells zeigen die analysierten Ansätze ein Dilemma hinsichtlich des Detaillierungsgrades und der Vollständigkeit der Modelle auf. Multifaktorielle Modelle sind vollständig, weisen aber einen zu geringen Detaillierungsgrad auf. Mit ihren Arbeiten haben Tietze und Czumanski gezeigt, dass eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität eine detailliertere Abbildung der Einflussgrößen erfordert. Beide Ansätze betrachten jedoch vorrangig die bezahlte Arbeitszeit als Einfluss auf die Arbeitsproduktivität und blenden so z.B. den Ausschuss als Einfluss auf die Arbeitsproduktivität aus. Anderen Modelle (z.B. [Hedm16]) greifen diesen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität zwar auf, blenden jedoch andere relevante Einflüsse wie die Informationshandhabung aus oder können sie mit ihrem Detaillierungsgrad nicht abbilden. Auf Grund komplexer werdender Produkte und Prozesse ist die Handhabung von Informationen jedoch wesentlicher Bestandteil von Arbeitsprozessen [Tiet16, S. 35]. Ein vollständiges Modell mit einem ausreichenden Detaillierungsgrad fehlt.

Fehlende Allgemeingültigkeit

Viele der analysierten Ansätze modellieren die Arbeitsproduktivität im Kontext sehr spezifischer Fertigungsformen oder Arbeitsaufgaben. Dies gilt im Besonderen für die empirischen Arbeitsproduktivitätsmodelle. Diese weisen zwar zum Teil einen guten Detaillierungsgrad auf und sind für den untersuchten Fall sehr aussagekräftig und vollständig, sind jedoch nicht auf andere Arbeitsaufgaben und Fertigungsformen übertragbar. Tietze schafft mit dem generischen Arbeitszyklus hingegen eine Modelllogik, die Allgemeingültigkeit besitzt. Dieser Ansatz soll daher weiterverfolgt werden.

Fehlende Durchgängigkeit der Modellierung

Die analysierten Modellansätze konzentrieren sich darauf, die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität quantitativ zu beschreiben oder die bezahlte Arbeitszeit abzubilden. Ein Großteil der Modelle zeigt jedoch nicht auf, welche Aufgaben oder Maßnahmen Unternehmen adressieren müssen, um die Produktivität ausgehend von einer spezifischen Situation zu verbessern. Eine Ausnahme bilden die Ansätze von Czumanski und Tietze. Czumanski verknüpft die Ergebnisse einer Produktivitätsanalyse mit der Auswahl geeigneter Verbesserungsmethoden. Dies beschränkt sich jedoch auf bekannte Methodenansätze. Maßnahmen, die nicht durch standardisierte Methoden abgedeckt werden, bleiben davon unberücksichtigt. Vorteilhafter als die Zuordnung vieler Standardmethoden zu verschiedenen Gestaltungsfeldern scheint daher die Definition von wenigen Aufgaben, die Unternehmen für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität individuell wahrnehmen müssen.

Schlechte Handhabbarkeit

Ein Großteil der bestehenden Ansätze beschreibt nicht, wie die Daten für die Nutzung der Modelle erhoben werden können. Ausnahmen sind die Arbeiten von Czumanski [Czum13] und Tietze [Tiet16]. Für das in dieser Arbeit zu entwickelnde Modell soll daher auch beschrieben werden, wie die erforderlichen Daten erhoben und analysiert werden können.

Fehlende Kopplung mit anderen Bereichen des Produktionsmanagements

Neben den Einflüssen auf die Arbeitsproduktivität, die im Gestaltungsraum des Produktivitätsmanagements oder des Industrial Engineerings liegen, zeigen die bestehenden Modellierungsansätze bestimmte Einflüsse, die durch andere Bereiche des Produktionsmanagements adressiert werden. Die bestehenden Ansätze diskutieren diese Einflüsse aber nicht ausreichend. Es bleibt daher unklar, wie Zielkonflikte behandelt werden und wie ein abgestimmtes Management der Arbeitsproduktivität und anderer relevanter Zielgrößen des Produktionsmanagements möglich ist. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der PPS zu. Durch die weitreichende Planungskompetenz der PPS, sowohl über die Menge der erzeugten Produkte als auch über die verfügbare Kapazität, hat sie einen besonders großen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Bisher fehlt ein jedoch Modell, das den Einfluss der PPS auf die Arbeitsproduktivität und den Einfluss der Arbeitsproduktivität auf die logistischen Zielgrößen quantitativ beschreibt.

4 Modellierung der Arbeitsproduktivität

Dieses Kapitel beschreibt ein Modell der Arbeitsproduktivität, das die zuvor benannten Anforderungen aufgreift und die bestehenden Defizite nach Möglichkeit vollständig aufheben soll. Um die Modellbildung nachvollziehbar zu machen, beschreiben Abschnitt 4.1 zunächst die Anforderungen an das Modell. Im Anschluss beschreibt Abschnitt 4.2 das verwendete Vorgehen zur Modellierung und den grundsätzlichen Modellaufbau. Im Folgenden werden die verschiedenen Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität qualitativ herausgearbeitet und in einen formalen Zusammenhang gebracht (Abschnitt 4.3)².

4.1 Anforderungen an die Modellierung der Arbeitsproduktivität

Zu Beginn der Modellbildung steht die Frage nach dem Ziel bzw. Zweck des Modells. Basierend auf der Zielstellung dieser Arbeit können drei Modellziele formuliert werden:

1. Erklärung und Beschreibung der Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität

Das Modell der Arbeitsproduktivität soll durchgängig und nachvollziehbar erklären, wie produzierende Unternehmen die Arbeitsproduktivität beeinflussen können. Das Modell soll dazu einem sogenannten White-Box-Ansatz folgen, also nicht nur aufzeigen, welche Einflüsse existieren und wie diese die Arbeitsproduktivität beeinflussen, sondern auch darlegen, auf welche Weise die Arbeitsproduktivität beeinflusst wird. Diese Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität sollen möglichst detailliert dargestellt werden.

2. Unterstützung von zielgerichteten Verbesserungen der Arbeitsproduktivität

Das Erklärungsmodell soll sich als Ausgangspunkt für eine zielgerichtete Verbesserung der Arbeitsproduktivität eignen. Natürlich können Unternehmen auch ohne ein Erklärungsmodell die Produktivität steigern, die Kenntnis der unternehmensspezifischen Einflussgrößen soll jedoch eine zielgerichtete Verbesserung erlauben [Dorn14, S. 120]. Zu diesem Zweck soll das Modell Aufgaben formulieren, die für die Veränderung der Einflüsse notwendig sind. Zwar kann das Modell dadurch nicht direkt zu einer Verbesserung beitragen, aber es

² Teile dieses Kapitels wurden vorab veröffentlicht [Glöc17]. Um den Lesefluss nicht zu beeinträchtigen, wird auf eine explizite Kennzeichnung mit Einzelnachweisen *verzichtet*.

schaft eine theoretische Grundlage, die für ein strukturiertes Verbesserungsvorgehen genutzt werden kann.

3. Prognose der Produktivität

Das Modell soll eine Prognose der Produktivitätsänderungen in Folge veränderter Einflussgrößen erlauben. Dazu muss die Beziehung zwischen den Einflussgrößen und der Arbeitsproduktivität in quantitativer Form abgebildet sein.

Um den Defiziten bestehender Modelle zu begegnen, müssen zudem die folgenden Anforderungen erfüllt werden.

Allgemeingültigkeit des Modells

Es wird ein generisches und damit allgemeingültiges Modell der Arbeitsproduktivität angestrebt, das sich in verschiedenen Arbeitssystemen und für unterschiedliche Arbeitsaufgaben anwenden lässt. Es soll daher eine große Bandbreite an Einflussgrößen möglichst allgemeingültig beschreiben. Dazu sind neben den Tätigkeiten zur Fertigung und Montage von Produkten auch Tätigkeiten wie die Instandhaltung, das Rüsten und das Bedienen von Maschinen und Anlagen abzubilden, ebenso wie von den Produktionsmitarbeitern durchgeführte indirekte Tätigkeiten wie z.B. Dokumentation oder Besprechungen. Um Aussagen über die Arbeitsproduktivität spezifischer Unternehmen und Arbeitssysteme zu ermöglichen, ist die Anpassbarkeit des Modells unerlässlich. Daher sollen auch Vorgehen und Rahmenbedingungen für die Anpassungen beschrieben werden.

Vollständigkeit und Detaillierungsgrad des Modells und Handlungsbezug

Das Modell muss alle relevanten Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität beinhalten. Der Detaillierungsgrad, in dem das Modell die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität beschreibt, soll es Unternehmen ermöglichen, Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Um einen klaren Handlungsbezug herzustellen, soll das Modell den beschriebenen Einflüssen daher Aufgaben zuordnen. Jeder Einflussgröße soll nach Möglichkeit mindestens eine Aufgabe zugeordnet werden, zugleich soll die Anzahl der verschiedenen Aufgaben auf ein nötiges Minimum begrenzt werden.

Handhabbarkeit des Modells

Da die Modellierung der Arbeitsproduktivität darauf abzielt, Unternehmen bei der Analyse, Verbesserung und Prognose dieser Zielgröße zu unterstützen, sollte das entstehende Modell möglichst einfach zu handhaben sein. Dazu zählt, dass die formulierten Zusammenhänge leicht verständlich erläutert werden. Darüber hinaus soll das Modell an bestehende Verfahren für die Datenerhebung in Arbeitssystemen anknüpfen, um die Erfassung der benötigten Daten zu vereinfachen. Da das

Modell allgemeingültig formuliert werden soll, muss zudem beschrieben werden, wie Unternehmen das Modell möglichst einfach auf spezifische Arbeitssysteme übertragen können.

Kopplung mit anderen Bereichen des Produktionsmanagements

Um den Einfluss anderer Bereiche des Produktionsmanagements auf die Arbeitsproduktivität zu verdeutlichen, soll das Modell bei der Zuordnung von Aufgaben zu den Einflüssen zwischen Aufgaben des Produktivitätsmanagements und anderen Aufgaben unterscheiden. Zudem soll ein gesondertes Kopplungsmodell den Einfluss der PPS auf die Arbeitsproduktivität detailliert beschreiben (siehe Kapitel 7).

4.2 Vorgehen zur Modellbildung und Grundaufbau des Modells

Die Modellbildung erfolgt mit Hilfe eines analytischen Ansatzes. Ausgehend von der Definition der Arbeitsproduktivität als Verhältnis aus der bezahlten Arbeitszeit und dem erzeugten Output eines Arbeitssystems werden schrittweise detailliertere Einflüsse abgeleitet. Dabei wird auf bestehende Ansätze wie die Unterteilung der bezahlten Arbeitszeit nach Czumanski oder Tietze [Czum13; Tiet16] zurückgegriffen. Die Ausgangs- und Zielgröße Arbeitsproduktivität wird schrittweise in ihre Bestandteile und Teilgrößen zerlegt. Diese sollen dann mit Hilfe von mathematischen Operationen wieder in die Ausgangsgröße überführt werden können. Zum Beispiel lässt sich die bezahlte Arbeitszeit als Input der Produktivitätsgleichung in Zeitannteile für verschiedene Tätigkeiten unterteilen [Tiet16, S. 33]. Die Summe aller Zeitannteile wiederum bildet die bezahlte Arbeitszeit ab. Für die resultierenden Teilgrößen wird ermittelt, wie diese durch Aufgaben gezielt beeinflusst werden können. Im Hinblick auf den Modellzweck (Erklärmodell) bietet dieses Vorgehen gegenüber einer empirischen Vorgehensweise den Vorteil, dass Beobachtungen nicht in kausale Zusammenhänge überführt werden müssen. Der kausale Zusammenhang zwischen Einflussgröße und Arbeitsproduktivität ergibt sich vielmehr unmittelbar aus der Herleitung. Ein empirisches Vorgehen hätte zudem den Nachteil, dass ein allgemeingültiges Modell einen hohen Aufwand für die Datenerfassung erfordern würde, weil repräsentative Daten für viele verschiedene Arbeitssysteme erhoben und ausgewertet werden müssten.

Der Grundaufbau des Modells folgt dem analytischen Modellierungsansatz und führt ausgehend von der zentralen Zielgröße Arbeitsproduktivität vom Groben zum Detail. Das Modell unterscheidet zwei verschiedene Formen von Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität: Regel- und Stellgrößen. Die Bezeichnung Regel- und Stellgröße ist dabei bewusst der Regelungstechnik entnommen, auch wenn kein Zusammenhang zwischen dem Grundaufbau des Modells und einem Regelkreis

besteht. Das Modell sieht es vor, dass Stellgrößen direkt durch Aufgaben beeinflusst werden. Die Stellgrößen sind durch mathematische Operatoren miteinander verknüpft und bilden so die Regelgrößen. Diese sind daher nur mittelbar durch das Zusammenwirken der Stellgrößen beeinflussbar. So entsteht ein zweistufiger Modellansatz, der den Einfluss von Regelgrößen auf die Arbeitsproduktivität darstellt. Die zweite Modellebene bildet die Regelgrößen als Funktion der Stellgrößen ab. Diese Stellgrößen bilden die Gestaltungsfelder der Arbeitsproduktivität und können über definierte Aufgaben direkt beeinflusst werden (vgl. Abbildung 13).

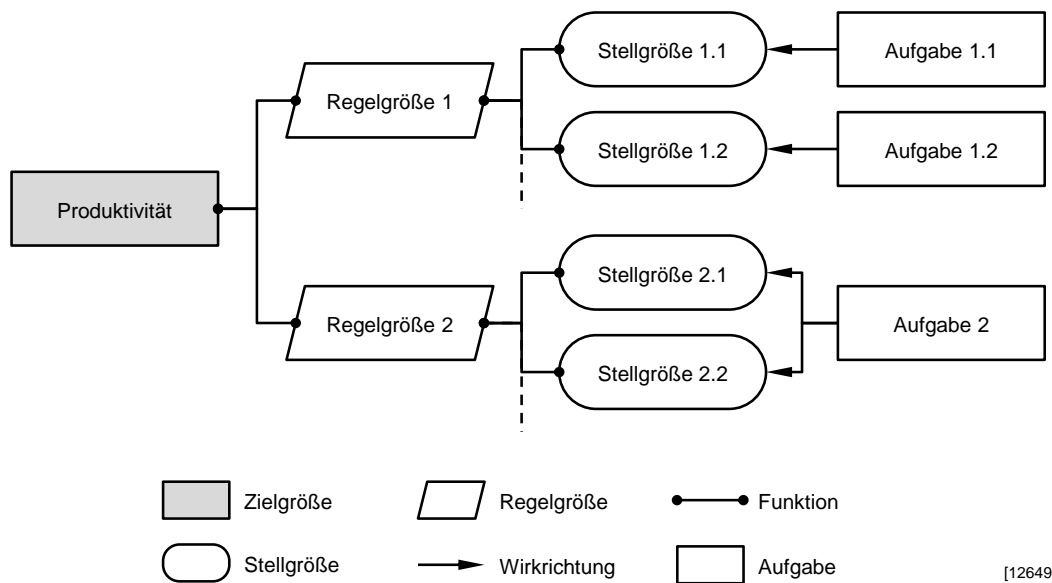


Abbildung 13: Grundaufbau des Modells der Arbeitsproduktivität

Diese Verknüpfung der Stellgrößen mit den Aufgaben des Produktivitätsmanagements stellt den Handlungsbezug zwischen den identifizierten Einflüssen und den relevanten Unternehmensfunktionen her. Um eine gute Übersichtlichkeit zu erreichen, wird versucht die Menge der unterschiedlichen Aufgaben zu begrenzen. Das Modell strebt daher ein 1:1-Verhältnis von Aufgaben und Stellgrößen an. Es ist allerdings auch möglich, dass eine Aufgabe mit mehreren Stellgrößen bzw. mehrere Aufgaben mit einer Stellgröße verknüpft sind. Die Verknüpfung von Aufgaben und Stellgrößen hilft aufzuzeigen, welche verschiedenen Unternehmensbereiche und Personen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität nehmen. Die Definition der Aufgaben orientiert sich in erster Linie an den Stellgrößen des Arbeitsproduktivitätsmodells und soll ebenfalls möglichst allgemein erfolgen.

4.3 Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität

In diesem Abschnitt werden, ausgehend von der Zielgröße Arbeitsproduktivität, die Regel- und Stellgrößen des Modells hergeleitet und beschrieben und zwar zuerst die Regelgrößen (Abschnitt 4.4.1) und dann die Stellgrößen (Abschnitt 4.4.2). Abschnitt 4.4.3 zeigt zudem die mathematischen Zusammenhänge zwischen Stell- und Regelgrößen und der Arbeitsproduktivität als Zielgröße auf.

4.3.1 Regelgrößen des Modells

Die Arbeitsproduktivität ist definiert als der Quotient aus der Menge der fertiggestellten Produkte (Output) und der Summe der bezahlten Arbeitszeit aller dem Arbeitsbereich zugeordneten Mitarbeiter (Input). Output und Input sind damit auf der größten Modellebene die Einflussfaktoren der Arbeitsproduktivität. Um Regelgrößen abzuleiten, werden Output und Input weiter detailliert. Abbildung 14 zeigt die resultierenden Regelgrößen für den Input und den Output.

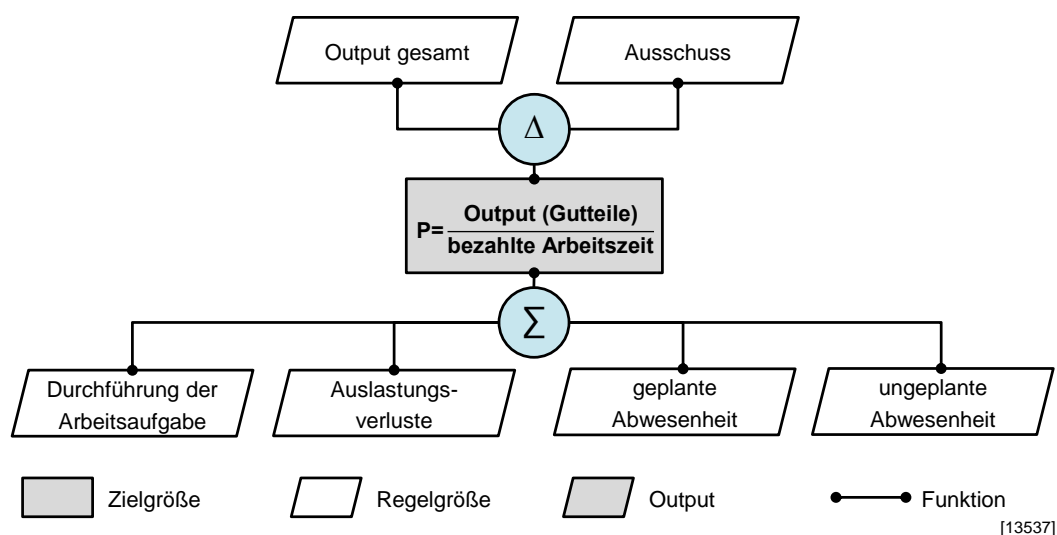


Abbildung 14: Modell der Arbeitsproduktivität (Regelgrößen)

Input – bezahlte Arbeitszeit

Die Zusammensetzung der bezahlten Arbeitszeit wird bereits von bestehenden Ansätzen speziell zur Analyse der Arbeitsproduktivität untersucht [REFA97; Tiet16; Czum13]. Der Grundgedanke einer solchen Betrachtungsweise ist, dass sich die erforderlichen Zeitannteile reduzieren lassen, um die Produktivität zu erhöhen. Die bezahlte Arbeitszeit in einem Arbeitssystem umfasst die gesamte Zeit, für die die Mitarbeiter des Arbeitssystems entlohnt werden. Sie beinhaltet damit nicht nur die

Zeit für die Bearbeitung von Fertigungsaufträgen, sondern umfasst auch andere Tätigkeiten, wie z.B. Schulungen und Weiterbildung sowie Urlaub und Pausen. Auch Krankentage müssen der bezahlten Arbeitszeit zugeschrieben werden. Eine Zerlegung der bezahlten Arbeitszeit sollte also mindestens zwischen der Anwesenheitszeit und der Abwesenheitszeit der Mitarbeiter unterscheiden. Urlaub und Weiterbildungen oder Schulungen, die außerhalb des Unternehmens durchgeführt werden, sowie (bezahlte) Pausen sind im Gegensatz zu Krankheitstagen planbare Zeitanteile. Dadurch unterscheidet sich auch, welchen Einfluss das Produktionsmanagement auf diese Zeitanteile nehmen kann. Das Modell unterscheidet daher zwischen Regelgrößen der geplanten und ungeplanten Abwesenheit der Mitarbeiter (vgl. Abbildung 14).

Die Anwesenheitszeit der Mitarbeiter umfasst nicht nur die Durchführung der eigentlichen Arbeitsaufgabe. Mitarbeiter müssen auch andere Aufgaben im Rahmen der Anwesenheitszeit erfüllen. Dazu gehören beispielsweise die Teilnahme an Besprechungen wie Shop-Floor-Meetings oder Verbesserungs-Workshops, die Mitarbeit in anderen Fertigungsbereichen oder die Wartung von Maschinen und Anlagen. Weitere wichtige Anteile der Anwesenheitszeit sind häufig Nacharbeit, Störungsbehebung und Wartezeiten. In Anlehnung an die Modelle von Saito und Almström können diese Tätigkeiten als Auslastungsverluste zusammengefasst werden [Sait01; Alms12]. Das Modell unterteilt folglich die Anwesenheitszeit in die Regelgrößen *Durchführung der Arbeitsaufgabe* und *Auslastungsverluste* (vgl. Abbildung 14).

Output – Menge der produzierten Gutteile

Als Output beeinflusst auch die Menge der erzeugten Produkte oder Werkstücke die Produktivität. Die Menge der fertiggestellten Produkte in einem Betrachtungszeitraum setzt sich zusammen aus der Menge der Produkte mit guter oder ausreichender Qualität und der Menge des produzierten Ausschusses. Da nur die Produkte mit einer ausreichenden Qualität auch weiterverarbeitet oder verkauft werden können, bildet die Menge der Gutteile die Outputgröße für die Arbeitsproduktivität. Mindestens langfristig wird die Menge des Outputs von der Nachfrage nach einem Produkt bestimmt [Saka10, S. 54]. Darüber hinaus ist der Output eines Arbeitssystems auch abhängig von der aufgewandten und für die Arbeitsaufgabe benötigten Arbeitszeit. Weil die Produktion häufig keinen Einfluss auf die Nachfrage hat und die Arbeitszeit durch die Input-orientierten Regelgrößen abgebildet wird, stellt der gesamte Output im Modell keine Regelgröße dar, sondern dient als Bezugsgröße. Die einzige Regelgröße im Modell mit Bezug zum Output ist daher der Ausschuss (vgl. Abbildung 14).

4.3.2 Stellgrößen des Modells

Der folgende Abschnitt leitet für die zuvor formulierten Regelgrößen Stellgrößen ab und beschreibt ihren Einfluss. Die Stellgrößen entstehen aus einer weiteren Zerlegung der Regelgrößen. Sie detaillieren damit die Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität und bilden den Ansatzpunkt für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Sie werden daher zu einem späteren Zeitpunkt um zugehörige Aufgaben ergänzt.

Durchführung der Arbeitsaufgabe

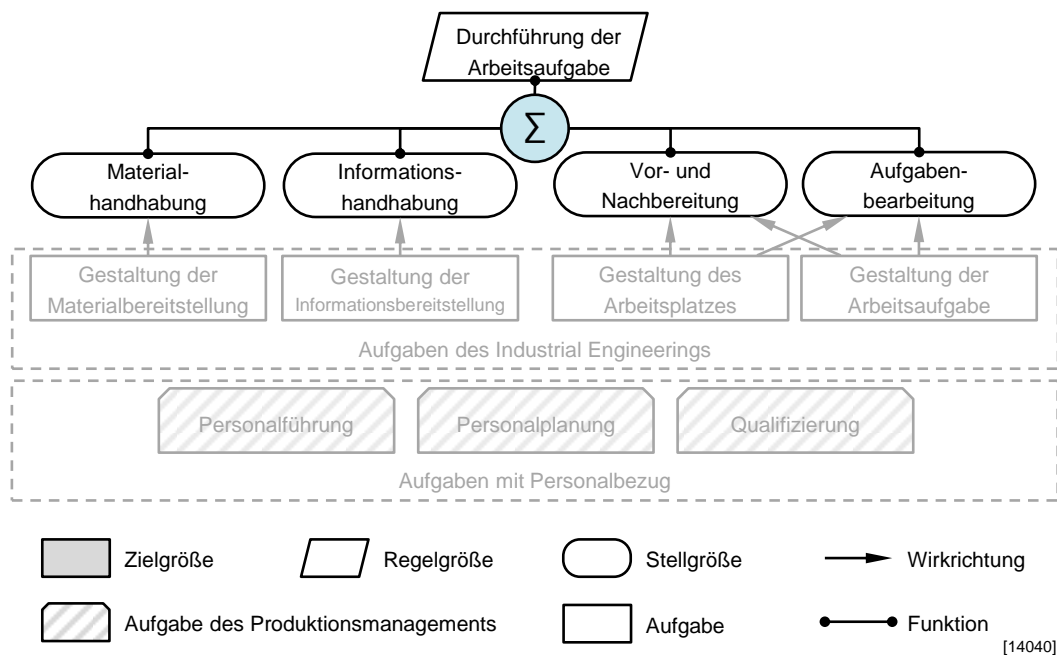


Abbildung 15: Stellgrößen und Aufgaben - Durchführung der Arbeitsaufgabe

Die Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* umfasst alle Zeitanteile, die Mitarbeiter für die geplante Arbeit im Sinne des Produktionsziels aufwenden. Abbildung 15 zeigt die Regelgröße mit ihren zugehörigen Stellgrößen und Aufgaben.

Nach Tietze bzw. Tietze und Lödding [Tiet16; Tiet14] kann der Zeitanteil der Durchführung in die folgenden Bestandteile zerlegt werden [Tiet16, S. 33ff.]:

- Die *Materialhandhabung* umfasst die Zeit, die für den Transport, das Entpacken und Verpacken sowie das Vorbereiten des notwendigen Materials erforderlich ist. Dies schließt kurze Transporte vom Ort der Bereitstellung an einer Arbeitsstation zum eigentlichen Arbeitsplatz ein. Die Tätigkeiten umfassen

- auch das Zusammenstellen benötigter Werkzeuge und ggf. auch Prüftätigkeiten wie etwa eine manuelle Sichtprüfung nach dem Entpacken.
- Die *Informationshandhabung* umfasst die Zeit, die für das Zusammenstellen, Verarbeiten und die Weitergabe von Informationen erforderlich ist. Dies schließt z.B. das Lesen von Arbeitsanweisungen und das Suchen und Erfassen von Informationen aus technischen Zeichnungen ein, ebenso die Erfassung und Dokumentation von Prüfergebnissen im Rahmen der Arbeitsaufgabe oder das Zurückmelden des Arbeitsfortschritts. Die Informationshandhabung ist nicht auf bestimmte Informationsträger beschränkt, sondern bezieht sich auf Dokumente aus Papier, digitale Medien und Gespräche zwischen Mitarbeitern.
 - Die *Vor- und Nachbereitung* umfasst die Zeit, die für die Vorbereitung und das Aufräumen und Reinigen des jeweiligen Arbeitsplatzes erforderlich ist. Dies schließt insbesondere das Rüsten von Maschinen, das Vorbereiten von Werkzeugen und anderen Hilfsmitteln und das Aufräumen der Hilfsmittel ein.
 - Die *Aufgabenbearbeitung* umfasst die Zeit, die für die eigentliche Bearbeitung der Arbeitsaufgabe und damit die im engeren Sinne wertschöpfenden Tätigkeiten, erforderlich sind. Je nach Art der Arbeitsaufgabe kann dies verschiedene Tätigkeiten z.B. das Trennen und Fügen oder das Prüfen von Bauteilen beinhalten.

Weil sich in der Evaluierung des Modells gezeigt hat, dass Modellanwender zum Teil Probleme damit hatten, Prüftätigkeiten (vgl. Abschnitt 6.4) in die Systematik einzuordnen, sei an dieser Stelle kurz darauf eingegangen:

Ob eine bestimmte Tätigkeit der Mitarbeiter eines Arbeitssystems der *Aufgabenbearbeitung* zugeordnet wird, ist davon abhängig, wie die Arbeitsaufgabe selbst definiert ist. Unabhängig von der Unterscheidung zwischen wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten sollten Prüftätigkeiten der *Aufgabenbearbeitung* zugeordnet werden, wenn diese regulärer Bestandteil der Arbeitsaufgabe sind. Solche geplanten Arbeitstätigkeiten sind jedoch von ungeplant auftretenden und störungsbedingten Tätigkeiten und von Nacharbeit zu trennen. Zwar umfasst die Nacharbeit theoretisch alle Tätigkeiten, die auch im Rahmen einer regulären Bearbeitung der Arbeitsaufgabe anfallen, sie stellt jedoch eine zusätzliche Tätigkeit dar, die für die Arbeitsaufgabe zunächst nicht vorgesehen ist (vgl. Abbildung 15).

Auslastungsverluste

Die Regelgröße *Auslastungsverluste* fasst die Zeitanteile zusammen, in der die Mitarbeiter eines Arbeitssystems zwar am Arbeitsort anwesend, aber nicht mit der eigentlichen Arbeitsaufgabe beschäftigt sind. Abbildung 16 zeigt die zugehörigen Stellgrößen.

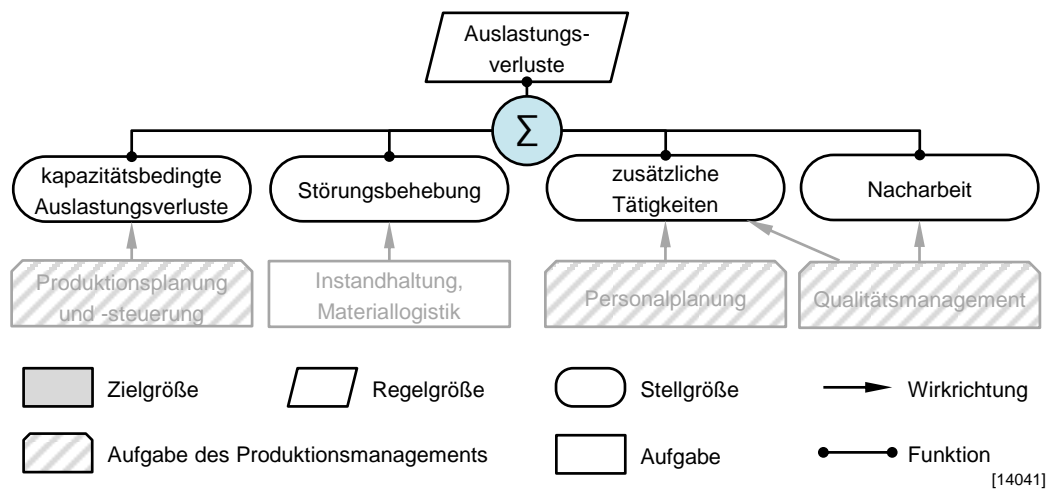


Abbildung 16: Stellgrößen der Regelgröße Auslastungsverluste

Die Anwesenheitszeit der Mitarbeiter, die diese nicht für die Durchführung der Arbeitsaufgabe nutzen, kann in die Bestandteile Störzeiten, zusätzliche Tätigkeiten, Nacharbeit und kapazitätsbedingte Auslastungsverluste zerlegt werden [Hedm16, S. 30ff.]:

- Die *Störzeiten* umfassen alle Zeitanteile, in denen die Mitarbeiter auf Grund von Störungen ihre Arbeitsaufgabe nicht durchführen können. Dies beinhaltet Störungen an Betriebs- und Hilfsmitteln (z.B. Maschinenausfälle), Störungen der Material- und Informationsbereitstellung (z.B. fehlendes Material, fehlende Zeichnungen) und Störungen im Arbeitsprozess (z.B. Störungen durch falsches Werkzeug). Als Störzeiten gelten sowohl Zeiten, in denen die Mitarbeiter Störungen beheben als auch Zeiten, in denen sie auf eine Störungsbehebung warten.
- Die *zusätzlichen Tätigkeiten* umfassen alle Zeitanteile, in denen Mitarbeiter Tätigkeiten nachgehen, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Arbeitsaufgabe stehen. Dies beinhaltet etwa die Teilnahme an Besprechungen (z.B. Shop-Floor-Meetings), Wartungstätigkeiten, Arbeiten zur Veränderung des Arbeitssystems (z.B. Bau von Hilfsmitteln) oder die Erstellung von Arbeitsanweisungen.
- Die *Nacharbeit* umfasst alle Zeitanteile, die Mitarbeiter für Nacharbeit verwenden und beinhaltet prinzipiell alle Tätigkeiten, die auch im Rahmen der regulären Durchführung der Arbeitsaufgabe erfolgen. Sie kann an regulären Arbeitsplätzen oder an speziellen Nacharbeitsplätzen erfolgen.
- Die *kapazitätsbedingten Auslastungsverluste* umfassen alle Zeitanteile, in denen Mitarbeiter auf Grund einer zu geringen Belastung des Arbeitssystems auf die Durchführung weiterer Arbeitsaufgaben warten. Dieser Ein-

fluss ist von z.B. störungsbedingten Wartezeiten zu trennen, da hier unterschiedliche Ursachen vorliegen. *Kapazitätsbedingte Auslastungsverluste* entstehen, weil nicht genügend Fertigungsaufträge am Arbeitssystem verfügbar sind.

Ungeplante Abwesenheit

Die Regelgröße *ungeplante Abwesenheit* fasst die Zeitanteile zusammen, an denen Mitarbeiter ungeplant nicht am Arbeitsplatz zur Verfügung stehen. Abbildung 17 zeigt die Regelgröße mit den zugeordneten Stellgrößen.

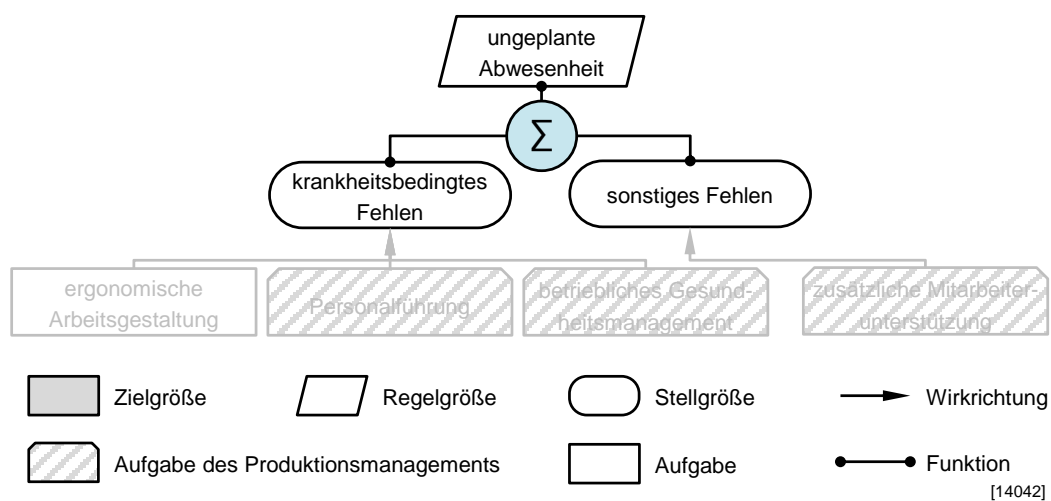


Abbildung 17: Stellgrößen der Regelgröße ungeplante Abwesenheit

Die *ungeplante Abwesenheit* von Mitarbeitern lässt sich im Wesentlichen auf krankheitsbedingtes Fehlen zurückführen.

- Das *krankheitsbedingte Fehlen* beschreibt die Fehlzeiten des Mitarbeiters auf Grund einer Erkrankung. Dies umfasst arbeitsbedingte Erkrankungen, z.B. durch unergonomische Arbeitsbedingungen und natürliche Erkrankungen wie grippale Infekte.
- Das *sonstige Fehlen* fasst alle weiteren Zeitanteile für die ungeplante Abwesenheit von Mitarbeitern zusammen. Für diese Form der Abwesenheit kommen unterschiedliche Gründe in Frage wie z.B. die Betreuung eines erkrankten Kindes.

Diese Zeitanteile bilden die Stellgrößen für die *ungeplante Abwesenheit*. Unternehmen können sie nicht so unmittelbar beeinflussen wie andere Stellgrößen. Dennoch ist ihr Einfluss auf die Arbeitsproduktivität zum Teil hoch.

Geplante Abwesenheit

Die Regelgröße *geplante Abwesenheit* beschreibt die Zeit, in der Mitarbeiter nicht für den Einsatz an ihrem Arbeitsplatz eingeplant sind. Abbildung 18 zeigt die zugehörigen Stellgrößen.

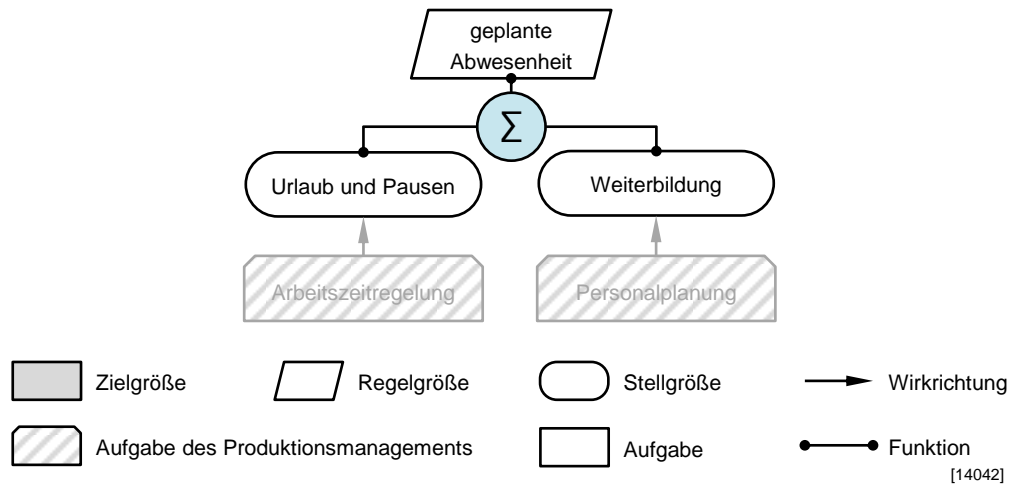


Abbildung 18: Stellgrößen der Regelgröße geplante Abwesenheit

Die Zeit für die *geplante Abwesenheit* der Mitarbeiter setzt sich zusammen aus den Zeiteilen für Urlaub und bezahlte Pausen und betriebliche Weiterbildungen.

- *Urlaub und Pausen* dienen der Erholung der Mitarbeiter. Sind Pausen und Urlaub unbezahlt, so wird dies nicht abgebildet, da diese Zeiteile nicht innerhalb der bezahlten Arbeitszeit liegen. Die Dauer für diese Zeiteile ist durch die Arbeitsverträge der Mitarbeiter festgeschrieben.
- *Weiterbildungen* umfassen alle Zeiteile, in denen Mitarbeiter im Auftrag des Unternehmens an Weiterbildungen und Trainings teilnehmen.

Ausschuss

Der Ausschuss ist der Anteil der Produktionsmenge, die nicht den an sie gestellten Qualitätsanforderungen entspricht (vgl. Abbildung 19).

ZUA : ungeplante Abwesenheit [Std.]

Tabelle 8: Regel- und Stellgrößen der Arbeitsproduktivität

Regelgröße	Stellgröße	Beispiel
Ausschuss	Prozessfähigkeit	Fehleranfälligkeit des Produktions-/ Montageprozesses
geplante Abwesenheit	Urlaub und Pausen	Urlaub und Pausen innerhalb der bezahlten Arbeitszeit
	Weiterbildung	Schulungen, Zertifizierung
ungeplante Abwesenheit	krankheitsbedingtes Fehlen	Grippe, arbeitsbedingte Krankheit/ Unfälle
	sonstiges Fehlen	familiär bedingtes Fehlen
Auslastungsverluste	Nacharbeit	Verbesserung fehlerhafter Produkte
	kapazitätsbedingte Auslastungsverluste	Warten auf Aufträge
	Störzeiten	Warten auf Material, Warten auf Instandsetzung gestörter Betriebsmittel
	zusätzliche Tätigkeiten	Teilnahme an Besprechungen
Durchführung der Arbeitsaufgabe	Aufgabenbearbeitung	Montage, Bedienen, Verpacken
	Materialhandhabung	Entpacken, Transportieren
	Informationshandhabung	Lesen, Erklären, Dokumentieren
	Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes	Rüsten, Vorbereiten, Aufräumen

Die Menge der ausgebrachten Gutteile als Output kann durch Subtraktion des Ausschusses von der gesamten ausgebrachten Menge berechnet werden (vgl. 4.2). Alle Größen werden dabei mengenmäßig erfasst (Stück).

$$AB_{\text{gut}} = AB - AU \quad 4.2$$

- mit AB_{gut} : Menge Gutteile (Abgang Gutteile) [Stk.]
 AB : gesamte produzierte Menge (Abgang) [Stk.]
 AU : Ausschuss [Stk.]

Alternativ zur Erfassung des Abgangs in Stück ist auch eine Erfassung in Vorgabestunden möglich (vgl. Abschnitt 2.2.2). Um die Darstellung übersichtlich zu halten, wird hier jedoch nur die Erfassung in Stück erläutert. Durch Einsetzen der Größen und der zugehörigen Gleichungen für die bezahlte Arbeitszeit und den Output ergibt sich (Gl. 4.3):

$$PRO_{\text{Arbeit}} = \frac{AB_{\text{gut}}}{ZAR_{\text{bez}}} = \frac{AB - AU}{ZD + ZA + ZPA + ZUA} \quad 4.3$$

- mit PRO_{Arbeit} : Arbeitsproduktivität [Stk./ Std]
 AB_{gut} : Menge Gutteile (Abgang Gutteile) [Stk.]
 AB : gesamte produzierte Menge (Abgang) [Stk.]
 AU : Ausschuss [Stk.]
 ZD : Durchführung der Arbeitsaufgabe [Std.]
 ZA : Auslastungsverluste [Std.]
 ZPA : geplante Abwesenheit [Std.]
 ZUA : ungeplante Abwesenheit [Std.]

Bezogen auf das Regelgrößenmodell für die bezahlte Arbeitszeit in Gl. 4.1 ist dies durch das Verringern einzelner oder aller Stellgrößen möglich. Eine solche Verringerung ist jedoch an Bedingungen geknüpft, da ein Zusammenhang zwischen der bezahlten Arbeitszeit und der produzierten Menge an Gutteilen besteht. Je nach Gestaltung der Regelgrößen ist eine spezifische Menge bezahlter Arbeitszeit erforderlich, um eine bestimmte Menge an Produkten zu erzeugen. Der Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da innerhalb dieser Regelgröße die Transformation von Arbeitszeit in produzierte Menge erfolgt (vgl. Abschnitt 4.4). Die anderen Regelgrößen mit Bezug zur bezahlten Arbeitszeit tragen hingegen nicht zu dieser Transformation bei und stellen daher lediglich Verluste dar. Diese Verluste lassen sich in Anlehnung an die OEE in einem Wasserfalldiagramm darstellen (vgl. Abbildung 20).

Dabei ist die Anwesenheitszeit die Differenz aus der bezahlten Arbeitszeit und der geplanten und ungeplanten Abwesenheit. Die Durchführungszeit ergibt sich aus der Differenz der Anwesenheitszeit und der Auslastungsverluste (vgl. Gl. 4.4 und 4.6).

$$ZAN = ZAR_{\text{bez}} - (ZPA + ZUA) \quad 4.4$$

$$ZDA = ZAN - ZA = ZAR_{\text{bez}} - (ZA + ZPA + ZUA) \quad 4.5$$

mit ZAN : Anwesenheitszeit [Std.]
 ZAR_{bez} : bezahlte Arbeitszeit [Std.]
 ZPA : geplante Abwesenheit [Std.]
 ZUA : ungeplante Abwesenheit [Std.]
 ZA : Auslastungsverluste [Std.]
 ZDA : Durchführung der Arbeitsaufgabe [Std.]

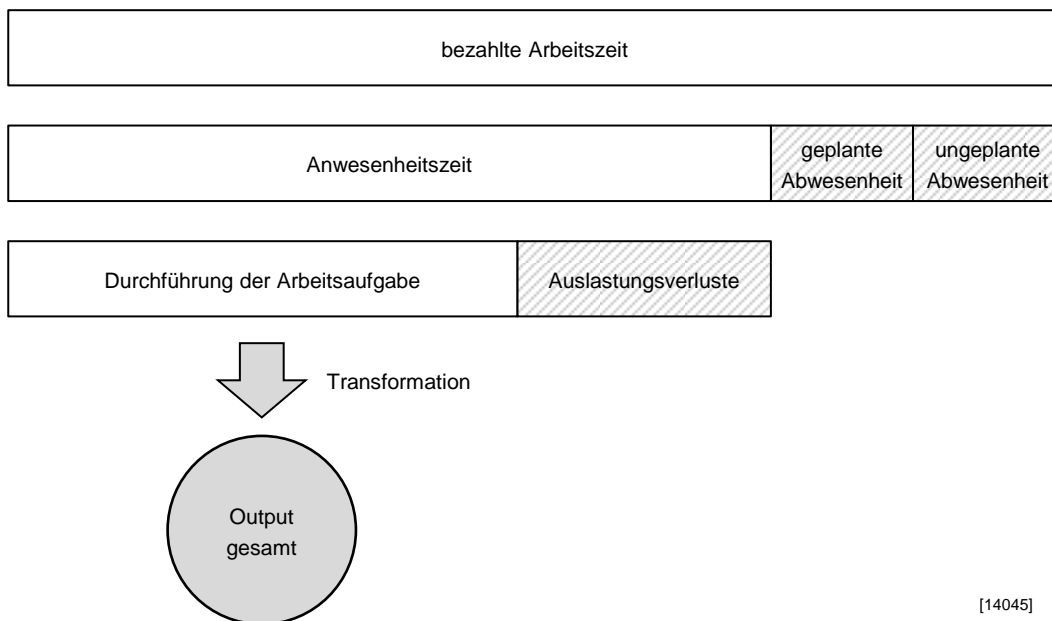


Abbildung 20: Einfluss der inputbezogenen Regelgrößen

Folglich ist eine Reduzierung der bezahlten Arbeitszeit durch eine Verringerung der Regelgrößen *Auslastungsverluste*, *geplante* und *ungeplante Abwesenheit* ohne weitere Bedingungen in Bezug auf den Output möglich. Auch sie erfordern jedoch Verbesserungsmaßnahmen.

Da sich die Stellgrößen aus einer weiteren Zerlegung der Regelgrößen ableiten, berechnen sich die Regelgrößen aus der Summe ihrer Stellgrößen (vgl. Gl. 4.6 - 4.8).

$$ZA=ZS+ZZ+ZN+ZKA \quad 4.6$$

- mit ZA : Auslastungsverluste [Std.]
 ZS : Störungsbehebung [Std.]
 ZZ : zusätzliche Tätigkeiten [Std.]
 ZN : Nacharbeit [Std.]
 ZKA : kapazitätsbedingte Auslastungsverluste [Std.]

$$ZUA=ZKF+ZSF \quad 4.7$$

- mit ZUA : ungeplantes Fehlen [Std.]
 ZKF : krankheitsbedingtes Fehlen [Std.]
 ZSF : sonstiges Fehlen [Std.]

$$ZPA=ZU+ZW \quad 4.8$$

- mit ZPA : geplante Abwesenheit [Std.]
 ZU : Urlaub und Pausen [Std.]
 ZW : Weiterbildungen [Std.]

Falls die übrigen Regelgrößen des Modells unverändert bleiben, führt eine Reduzierung der Stellgrößen aus den Gleichungen 4.6 bis 4.8 zu einer höheren Arbeitsproduktivität.

Eine Reduzierung der Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* kann ebenfalls dazu beitragen die Produktivität zu steigern. Entscheidend ist dabei die erforderliche Durchführungszeit für eine Arbeitsaufgabe bzw. ein Produkt (Gl. 4.9).

$$ZD_{\text{erf}} = \frac{ZD}{AB} \quad 4.9$$

- mit AB : gesamte produzierte Menge (Abgang) [Stk.]
 ZD_{erf} : erforderlicher Arbeitsaufwand [Std./ Stk]
 ZD : Durchführung der Arbeitsaufgabe [Std.]

Die Senkung der aufzuwendenden Zeit für die Durchführung der Arbeitsaufgabe ist wie bei den anderen Regelgrößen über die Reduzierung der Stellgrößen möglich, da sich die Regelgröße aus der Summe der Stellgrößen berechnen lässt (vgl. 4.10).

$$ZD=ZMH+ZIH+ZVN+ZBE$$

4.10

mit	ZD	: Durchführung der Arbeitsaufgabe [Std.]
	ZMH	: Materialhandhabung [Std.]
	ZIH	: Informationshandhabung [Std.]
	ZVN	: Vor- und Nachbereitung [Std.]
	ZBE	: Aufgabenbearbeitung [Std.]

Die Stellgrößen können auf zwei unterschiedliche Arten reduziert werden. Durch eine Umgestaltung des Arbeitssystems und der Arbeitsprozesse können Unternehmen die erforderliche Durchführungszeit der jeweiligen Arbeitsaufgabe reduzieren, etwa indem Material- und Informationshandhabung entfallen oder vereinfacht werden indem bessere Werkzeuge und Hilfsmittel den Aufwand verringern. Zum anderen kann die Arbeitsgeschwindigkeit erhöht werden, um die erforderliche Arbeitszeit zu reduzieren. Dies ist häufig jedoch nur möglich, wenn die eingesetzten Mitarbeiter eine Arbeitsaufgabe noch nicht vollständig beherrschen, sodass Trainings oder der Einsatz bereits geschulter Mitarbeiter zu einer Verbesserung führen.

Als output-bezogene Regelgröße identifiziert das Modell den *Ausschuss*. Dieser reduziert die produzierte Menge des Outputs, der sich für die weitere Bearbeitung oder den Verkauf eignet (vgl. Gl. 4.11).

$$\text{Out}_{\text{gut}} = \text{Out}_{\text{ges}} - \text{AU}$$

4.11

mit	AU	: Ausschuss [Stk.]
	Out _{ges}	: Anzahl produzierter Einheiten gesamt [Stk.]
	Out _{gut}	: Anzahl guter produzierter Einheiten [Stk.]

Jeder Ausschuss führt daher zu einem reduzierten Output und beeinflusst die Arbeitsproduktivität negativ (vgl. Abbildung 21).

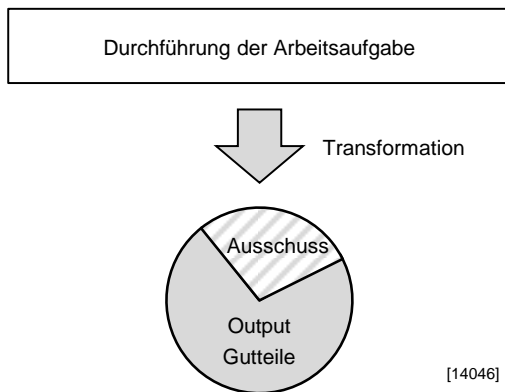


Abbildung 21: Einfluss des Ausschusses

Anders als die input-bezogenen Regelgrößen setzt sich der Ausschuss nicht aus der Summe seiner Stellgrößen zusammen, sondern resultiert aus der Prozessfähigkeit des jeweiligen Arbeitssystems.

4.4 Aufgaben des Arbeitsproduktivitätsmodells

Letzter Schritt für die Erstellung des Arbeitsproduktivitätsmodells ist die Definition von geeigneten Aufgaben und die Zuordnung zu den entsprechenden Stellgrößen des Modells. Die Stellgrößen bilden den Handlungsrahmen, in dem Unternehmen die Arbeitsproduktivität beeinflussen. Die Aufgaben des Modells der Arbeitsproduktivität sollen daher die folgenden Anforderungen erfüllen:

- *Benennen von Verantwortlichen:* Die Aufgaben sollen zunächst aufzeigen, welche Personen oder Unternehmensbereiche für die einzelnen Stellgrößen verantwortlich sind. Durch die Verknüpfung von Stellgrößen und Aufgaben wird so auch aufgezeigt, welche Stellgrößen im Verantwortungsbereich des Produktivitätsmanagements liegen und welche anderen Teilbereiche des Produktionsmanagements die Stellgrößen maßgeblich beeinflussen.
- *Schaffung einheitlicher Vorgehensweisen:* Die Aufgaben des Modells sollen Unternehmen helfen, Vorgehensweisen zu entwickeln, um die Stellgrößen systematisch zu steuern. Entwickelt ein Unternehmen für eine Aufgabe ein erfolgreiches Vorgehen, so kann dieses im Rahmen der Aufgabe auf verschiedene andere Arbeitssysteme übertragen werden.
- *Bündelung von Maßnahmen:* Die Aufgaben des Modells sollen bestehende Maßnahmen und Methoden bündeln, die eine konkrete Stellgröße adressieren. Auf diese Weise zeigen die Aufgaben konkrete Ansätze zur Beeinflussung der verschiedenen Stellgrößen auf.

4.4.1 Definition der Aufgaben

Der folgende Abschnitt beschreibt die verschiedenen Aufgaben, mit denen Unternehmen die Arbeitsproduktivität beeinflussen können. Die Definition der Aufgaben bezieht sich explizit auf die Beeinflussung der Arbeitsproduktivität. Die hier genannten Aufgaben können noch weitere Aspekte von Arbeitssystemen adressieren, die jedoch für das Modell der Arbeitsproduktivität zunächst nicht relevant sind. Insgesamt definiert das Modell 18 Aufgaben. Die Aufgaben werden im Folgenden möglichst allgemeingültig und aus Gründen der Übersichtlichkeit auch kurz formuliert. Die Nutzung des Modells erfordert einen Abgleich der Modellaufgaben mit den Aktivitäten einzelner Unternehmen in diesem Bereich und ggf. eine Anpassung der Begriffe (vgl. Abschnitt 5.2.2).

Die Aufgabe *Gestaltung der Materialbereitstellung* umfasst alle Maßnahmen zur Gestaltung des Materialflusses am Arbeitssystem und beinhaltet unter anderem die Gestaltung der Bereitstellungspunkte für das Material (z.B. Ort, Größe), die Form der Bereitstellung (z.B. gebündelt, vereinzelt) und den Zustand der Materialien (z.B. verpackt, vormontiert). Die Aufgabe thematisiert außerdem, wie fertige oder halbfertige Produkte weitergegeben werden.

Die Aufgabe *Gestaltung der Informationsbereitstellung* umfasst alle Maßnahmen zur Gestaltung des Informationsflusses am Arbeitssystem, unter anderem die Form der Informationsträger (z.B. Papier, digitales Medium), die Art und Anzahl der Information (z.B. schriftlich Arbeitsanweisung, Foto, Zeichnung) und die Informationsdarstellung und Verarbeitung (z.B. schriftliche Erfassung, digitale oder mündliche Rückmeldung). Die *Gestaltung der Informationsbereitstellung* adressiert nicht nur die Art und Weise, wie Mitarbeiter Informationen aufnehmen und verarbeiten, sondern auch, wie sie Informationen bewahren oder weitergeben können.

Die Aufgabe *Gestaltung des Arbeitsplatzes* umfasst alle Maßnahmen zur Gestaltung der Arbeitsplätze und der (ortsfesten) Betriebsmittel bzw. der Werkzeuge an den Arbeitsplätzen und beinhaltet unter anderem die Anordnung von Einzelarbeitsplätzen in Fertigungszellen und die Art der Betriebs- und Hilfsmittel (z.B. Handwerkzeuge, teilautomatisierte Werkzeuge/Maschinen).

Die Aufgabe *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* legt unter anderem die Arbeitsschritte und ihre Reihenfolge fest. In Hinblick auf die Arbeitsproduktivität ist es das Ziel dieser Aufgabe, einen Ablauf zu erarbeiten, der eine möglichst kurze Bearbeitungszeit der Aufgabe erlaubt. So verhindert eine optimale Arbeitsreihenfolge, dass vorgelagerte Arbeitsschritte wie z.B. die Montage sperriger Teile, weitere Arbeitsschritte behindern, weil sie etwa den vorhandenen Bauraum einschränken. Die *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* ist eng an die Beschaffenheit bzw. die Gestaltung

der Produkte geknüpft. Etablierte Konzepte wie „Design for Manufacturing and Assembly (DfMA)³“ erlauben es bereits bei der Produktentstehung, Aspekte der Produzierbarkeit einzubeziehen und wirken sich daher positiv auf die Arbeitsproduktivität aus.

Die Aufgaben *Gestaltung des Arbeitsplatzes* und *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* stehen in einem sehr engen Zusammenhang, da die Arbeitsaufgabe bestimmt, welche Betriebsmittel und Werkzeuge an einem Arbeitssystem erforderlich sind. Beispielsweise ist das Montieren von Sprengringen ohne eine geeignete Zange nicht möglich.

Die oben genannten Aufgaben bilden den Kernaspekt des Industrial Engineerings [Dorn14, S. 45f.]. In vielen Unternehmen existieren für diese Aufgaben spezialisierte Abteilungen. Trotzdem unterscheidet sich die Handhabung der einzelnen Aufgaben. Unternehmen konzentrieren sich dabei häufig auf die *Gestaltung der Arbeitsaufgabe*, *der Hilfsmittel* und *der Materialbereitstellung*. Daher existieren verschiedene Methoden für eine systematische Erfüllung der Aufgaben. Die Aufgabe *Gestaltung der Informationsbereitstellung* wird hingegen weniger stark verfolgt, fällt jedoch thematisch in dieses Aufgabenfeld.

Um auch die Mitarbeiter in den Arbeitssystemen entsprechend zu berücksichtigen, formuliert das Modell eine zusätzliche Gruppe von Aufgaben mit Personalbezug.

Die *Personalführung* umfasst alle Aufgaben, die durch entsprechende Führung, Anreizgestaltung und das Einbinden der Mitarbeiter in den Arbeitsprozess zur Motivation der Mitarbeiter beitragen [Rudo11, S. 321ff.]. Durch die meist hierarchische Organisation der Fertigungsbereiche in Unternehmen fällt diese Aufgabe häufig in die Verantwortung der Team-, Linien oder Schichtleiter. Sie können durch den persönlichen Kontakt mit den Mitarbeitern ein gutes Arbeitsumfeld erzeugen, indem sie auf Vorschläge und Wünsche der Mitarbeiter eingehen. Darüber hinaus können Akkord- oder Prämienlöhne einen finanziellen Anreiz für eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit schaffen.

Die *Personalplanung* beinhaltet die Auswahl und Rekrutierung von Mitarbeitern und ihre Zuteilung zu den einzelnen Arbeitssystemen und Arbeitsaufgaben. Ziel der Aufgabe ist es, Mitarbeiter auszuwählen, die sowohl über die erforderliche

³ Für eine detaillierte Darstellung der Konzepte von DfMA siehe [Poli01, Kuo01].

Qualifikation verfügen als auch physisch für die geforderte Arbeit geeignet sind. Die *Personalplanung* bestimmt zudem, welche anderen Tätigkeiten ein Mitarbeiter durchführt und wie häufig [Spen19, S. 22ff.]. Die Aufgabe wird in Unternehmen häufig von verschiedenen Abteilungen wahrgenommen. Die Personalabteilung unterstützt bei der Auswahl und Rekrutierung von neuen Mitarbeitern. Die Zuordnung der Mitarbeiter zu den Arbeitssystemen bzw. Arbeitsaufgaben erfolgt hingegen durch die Kapazitätsplanung und -steuerung. Welche zusätzlichen Tätigkeiten die Mitarbeiter wahrnehmen, kann sowohl auf strategischer oder operativer Ebene bestimmt werden. Ob die Mitarbeiter der Arbeitssysteme auch Teile der Instandhaltung selbst durchführen, sollten Unternehmen strategisch entscheiden. Ob ein Mitarbeiter an einer Besprechung teilnimmt, kann vom direkten Vorgesetzten entschieden werden.

Die *Qualifizierung* beinhaltet die Auswahl und Gestaltung von geeigneten Maßnahmen, die die Qualifikation der Mitarbeiter im Arbeitssystem ausgehend vom ermittelten Qualifikationsbedarf analysieren und verbessern [Beck05, S. 36ff.]. Dazu gehören Weiterbildungsmaßnahmen wie Schulungen und Trainings, aber auch Maßnahmen zur Ausbildung der Mitarbeiter an ihren Arbeitsplätzen (Training on the job) [Beck05, S. 45ff.]. Neben der fachlichen Befähigung der Mitarbeiter, eine spezifische Aufgabe überhaupt erst wahrnehmen zu können, hat die Einarbeitung der Mitarbeiter eine besondere Bedeutung für die Arbeitsproduktivität. Mitarbeiter, die bereits geübt in der Durchführung einer Aufgabe sind, können diese schneller durchführen. Unternehmen nehmen diese Aufgabe dabei auf sehr unterschiedliche Weise wahr.

Die *Instandhaltung* umfasst alle Maßnahmen, die zu einer durchgängigen Nutzbarkeit der Arbeitsplätze sowie der Betriebs- und Hilfsmittel beitragen. Dies umfasst die Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung der Arbeitsplätze und Betriebsmittel [DIN4426]. Ziel der Aufgabe ist es, einen störungsfreien Produktionsablauf zu gewährleisten. Treten Störungen auf, so sollten diese schnellstmöglich behoben werden können, um hohe Produktivitätsverluste zu vermeiden. Für die Aufgabe bestehen prinzipiell vier Ausprägungen [DIN31051]:

- Instandsetzung nach Ausfall
- periodische Instandhaltung mit festen Intervallen
- zustandsorientierte Instandhaltung
- vorausschauende Instandhaltung durch eine Prognose der Zustandsentwicklung

Wie Unternehmen die Aufgabe wahrnehmen sollten, ist abhängig von der Art und Beschaffenheit der Betriebsmittel und Arbeitsplätze. In vielen Unternehmen gibt es

jedoch eine spezialisierte Abteilung, die die Instandhaltung plant und zumeist aufwändige Instandhaltungsmaßnahmen durchführt.

Die *innerbetriebliche Logistik* ist dafür zuständig, die ständige Versorgung der Arbeitssysteme mit den benötigten Materialien mit möglichst geringem Aufwand zu sichern. Sie trägt zu einer hohen Produktivität bei, indem sie Wartezeiten durch fehlendes Material verhindert und – falls dies nicht gelingt – fehlendes Material schnell bereitstellt.

Das *Qualitätsmanagement* umfasst alle Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität der Arbeitsprozesse und der erzeugten Produkte. Von besonderer Bedeutung für die Arbeitsproduktivität ist dabei die Verbesserung der Arbeitsprozesse zur Vermeidung von Ausschuss und Nacharbeit. Eine mögliche Maßnahme in diesem Bereich kann z.B. die Gestaltung von Bauteilen und Abläufen nach dem Poka-Yoke-Prinzip sein. Viele Unternehmen betreiben ein systematisches Qualitätsmanagement in Anlehnung an entsprechend ausgeführte Normen wie z.B. DIN EN ISO 9000 [DIN9000] und benennen dem entsprechend verantwortliche Personen in den einzelnen Produktionsbereichen. Unternehmen verfolgen das *Qualitätsmanagement* mit dem vorrangigen Ziel, eine hohe Qualität ihrer Produkte zu gewährleisten. Der Einfluss auf die Arbeitsproduktivität wird häufig nicht (ausreichend) betrachtet.

Die *Produktionsplanung und -steuerung (PPS)* plant und steuert die Fertigungs- und Montageprozesse unter Berücksichtigung der Termin-, Kapazitäts- und mengenbezogenen Anforderungen. Zu ihren Kernaufgaben zählen die Produktionsprogrammplanung, die Produktionsbedarfsplanung und die Eigenfertigungsplanung und -steuerung [Lucz98, S. 29]. Von besonderer Bedeutung für die Arbeitsproduktivität ist die Planung und Steuerung der Fertigungskapazität. Die PPS legt mit der Plan-Produktionsmenge und der Plan-Kapazität einen Planwert für die Arbeitsproduktivität fest, was vielen Unternehmen nicht bewusst ist, weil häufig logistische Zielgrößen wie die Durchlaufzeit oder die Termintreue im Fokus der PPS stehen. Unternehmen stehen bei der Kapazitätsplanung vor einem Dilemma: Planen sie mit zu viel Kapazität, um Rückstände zu vermeiden, führt die zu einer verringerten Arbeitsproduktivität. Überschätzen Unternehmen hingegen Produktivitätssteigerungen und unterschätzen den Kapazitätsbedarf, verursachen sie einen Rückstandsaufbau und gefährden die Kundenversorgung. Auf Grund dieser besonderen Bedeutung für die Arbeitsproduktivität untersucht Kapitel 7 das Zusammenwirken der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen gesondert mit einem Kopplungsmodell.

Die Stellgrößen mit Bezug zur *ungeplanten Abwesenheit* beschreiben die gesundheitliche und private Situation der Mitarbeiter. Schwerpunkt ist meist die Vermeidung arbeitsbedingter Erkrankungen. Da diese Einflüsse zum Teil sehr individuell durch die Mitarbeiter selbst bedingt sind, lassen sie sich nur teilweise im Rahmen des Produktions- oder Produktivitätsmanagements beeinflussen.

Die *ergonomische Arbeitsgestaltung* umfasst alle Maßnahmen für eine menschengerechte Gestaltung des Arbeitssystems. Die Aufgabe soll die physische und psychische Belastung der Mitarbeiter durch die Arbeitsaufgabe reduzieren, da eine hohe Belastung der Mitarbeiter zu arbeitsbedingten Erkrankungen führen kann. Die *ergonomische Arbeitsgestaltung* kann dabei nicht als einzelne Aufgabe betrachtet werden, sondern muss im Rahmen der anderen Aufgaben zur Gestaltung des Arbeitssystems wie der *Gestaltung des Arbeitsplatzes* und der *Gestaltung der Materialbereitstellung* erfolgen. Unternehmen benennen häufig verantwortliche Mitarbeiter, um ergonomische Aspekte bei der Gestaltung der Arbeitssysteme ausreichend zu berücksichtigen.

Das *betriebliche Gesundheitsmanagement* umfasst Maßnahmen, die die Mitarbeiter zu einem gesundheitsorientierten Verhalten anleiten. Dazu zählen Maßnahmen wie Ernährungsprogramme, Betriebssport oder das Angebot einer Gripeschutzimpfung.

Das Aufgabenfeld *zusätzliche Mitarbeiterunterstützung* fasst alle weiteren Maßnahmen zusammen, die die *ungeplante Abwesenheit* von Mitarbeitern verhindern. Ein entsprechendes Beispiel wäre ein betriebliches Kinderbetreuungsangebot.

Die *Arbeitszeitregelung* bestimmt die Urlaubs- und Pausenzeiten der Mitarbeiter. Dabei handelt es sich jedoch nicht um eine Aufgabe, die Unternehmen uneingeschränkt wahrnehmen können. Urlaubs- und Pausenzeiten sind in der Regel durch gesetzliche Vorgaben oder Vereinbarungen mit Gewerkschaften und Tarifverträge definiert. Unternehmen können jedoch im Rahmen der Standortwahl auf diese Stellgröße Einfluss nehmen.

4.4.2 Verknüpfung von Stellgrößen und Aufgaben

Dieser Abschnitt soll die zuvor definierten Aufgaben mit den Stellgrößen des Modells verbinden und so aufzeigen, wie Unternehmen die Arbeitsproduktivität gezielt beeinflussen können. Die Beschreibungen der Aufgaben im vorangegangenen Abschnitt zeigen, dass verschiedene Unternehmensbereiche die Produktivität beeinflussen. Ein Ziel der Arbeit ist es auch, den Einfluss unterschiedlicher Unternehmensbereiche auf die Arbeitsproduktivität herauszustellen. Das Aufgabenmodell unterscheidet dazu den Aufgabenbereich des Produktivitätsmanagements und

den übergeordneten Aufgabenbereich des Produktionsmanagements. Aufgaben die in erster Linie oder sogar ausschließlich das Ziel verfolgen, Arbeitssysteme produktiver zu gestalten, ordnet das Aufgabenmodell dem Produktivitätsmanagement zu. Diese Aufgaben werden in Unternehmen häufig von spezialisierten Abteilungen wahrgenommen [Dorn14 S. 48f.]. Die Aufgaben des Produktivitätsmanagements schließen das Industrial Engineering hier explizit mit ein.⁴ Andere Aufgaben, die zwar die Arbeitsproduktivität beeinflussen, aber originär andere Zielsetzungen verfolgen, ordnet das Modell dem Produktionsmanagement als übergeordneter Aufgabenkategorie zu.

Aufgaben mit Bezug zur Durchführung der Arbeitsaufgabe

Den Stellgrößen mit Wirkung auf die *Durchführung der Arbeitsaufgabe* können zwei verschiedene Gruppen von Aufgaben zugeordnet werden. Die erste Aufgabengruppe besteht aus den Aufgaben des Industrial Engineerings. Diese Aufgaben adressieren die Gestaltung des Arbeitssystems. Die zweite Aufgabengruppe besteht aus den Aufgaben *Personalführung*, *Qualifizierung* und *Personalplanung*. Diese Aufgaben weisen einen Personalbezug auf und bilden dadurch einen weiteren Einfluss auf die Arbeitsproduktivität ab; die Arbeitsgeschwindigkeit. Sie beschreibt, wie schnell ein Mitarbeiter eine zugewiesene Arbeitsaufgabe bewältigen kann und ist abhängig von der Fähigkeit und Bereitschaft der Mitarbeiter [Bokr06, S. 4]. Tätigkeiten lassen sich jedoch nicht beliebig schnell durchführen. Es ist daher erforderlich, die individuelle Arbeitsgeschwindigkeit in Relation zu einer Normgeschwindigkeit zu betrachten. Erreichen die Mitarbeiter in einem Arbeitssystem die Normgeschwindigkeit nicht, kann dies auf ungenügende Fähigkeit oder Bereitschaft der Mitarbeiter zurückzuführen sein. In diesem Fall können Unternehmen die Arbeitsgeschwindigkeit durch die aufgezeigten Aufgaben verbessern. Anders als die Aufgaben des Industrial Engineerings lassen sich die Aufgaben mit Personalbezug nicht einer Stellgröße zuordnen. Sie wirken stattdessen global auf die gesamte *Durchführung der Arbeitsaufgabe* (vgl. Abbildung 22).

⁴ Für eine detaillierte Beschreibung und Abgrenzung der Bereich Produktivitätsmanagement und Industrial Engineering siehe [Dorn14, S. 44ff.]

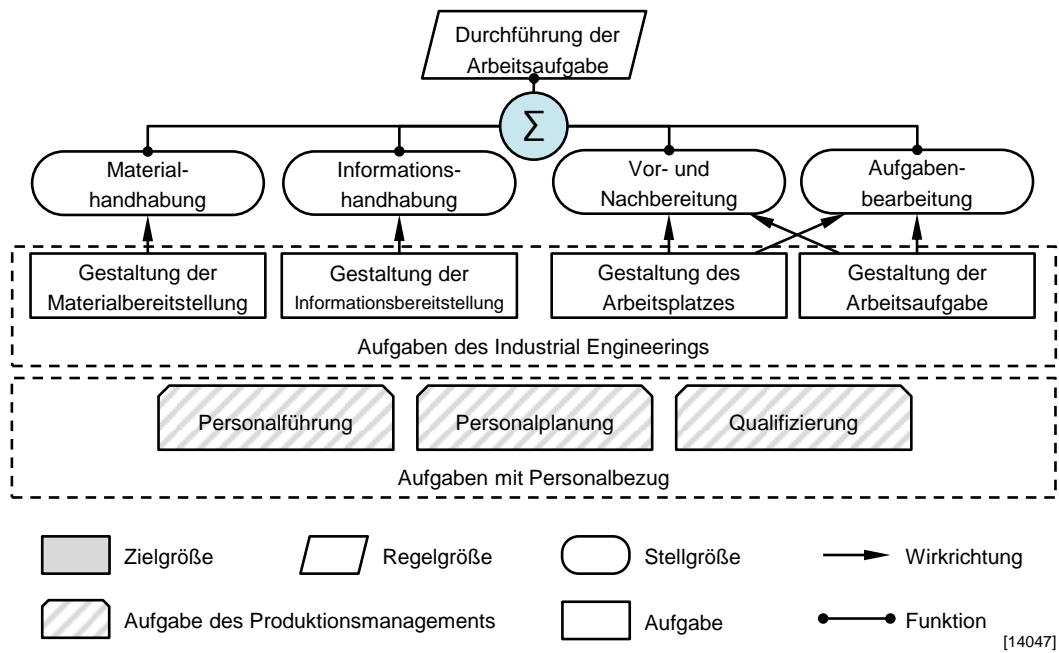


Abbildung 22: Aufgaben mit Bezug zur Durchführung der Arbeitsaufgabe

Aufgaben mit Bezug zu Auslastungsverlusten

Die Stellgrößen für die Regelgröße *Auslastungsverluste* sind sehr heterogen, was sich in den sehr unterschiedlichen zugeordneten Aufgaben widerspiegelt (vgl. Abbildung 23).

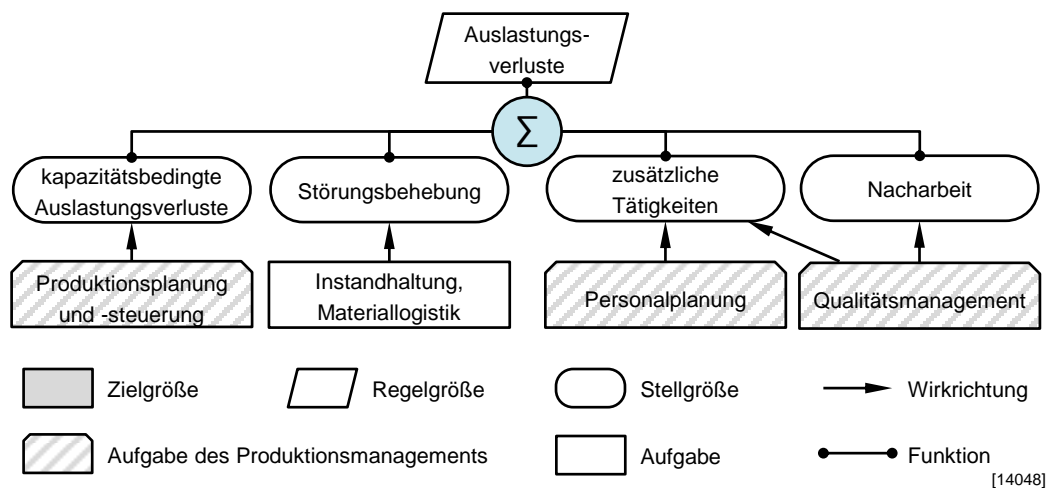


Abbildung 23: Aufgaben mit Bezug zu Auslastungsverlusten

Der Einfluss der PPS auf die Arbeitsproduktivität besteht im Wesentlichen in der Planung und Steuerung der Fertigungskapazität. Wird einem Arbeitssystem zu viel Kapazität in Form von bezahlter Arbeitszeit zugeordnet, so müssen die Mitarbeiter regelmäßig auf neue Aufträge warten. Diese Aufgabe ist daher der Stellgröße *kapazitätsbedingte Auslastungsverluste* zugeordnet. Müssen die Mitarbeiter des Arbeitssystems auf Grund von Störungen oder fehlendem Material warten oder ihre Arbeit unterbrechen, so wird dies stattdessen durch die Aufgaben *Instandhaltung* und *Materiallogistik* adressiert. Welche *zusätzlichen Tätigkeiten* die Mitarbeiter eines Arbeitssystems wahrnehmen müssen, bestimmt die *Personalplanung*. Haben die *zusätzlichen Tätigkeiten* einen Qualitätsbezug z.B. bei Prüftätigkeiten, so beeinflusst auch das *Qualitätsmanagement* diese Stellgröße. Einen stärkeren Einfluss hat das *Qualitätsmanagement* in der Regel jedoch auf die Stellgröße *Nacharbeit*.

Aufgaben mit Bezug zur geplanten Abwesenheit

Die Regelgröße *geplante Abwesenheit* setzt sich aus den Stellgrößen *Urlaub und Pausen* und *Weiterbildung* zusammen. *Urlaub und Pausen* der Mitarbeiter werden durch *Arbeitszeitregelung* gesteuert, *Weiterbildungen* durch die *Personalplanung* geplant (vgl. Abbildung 24).

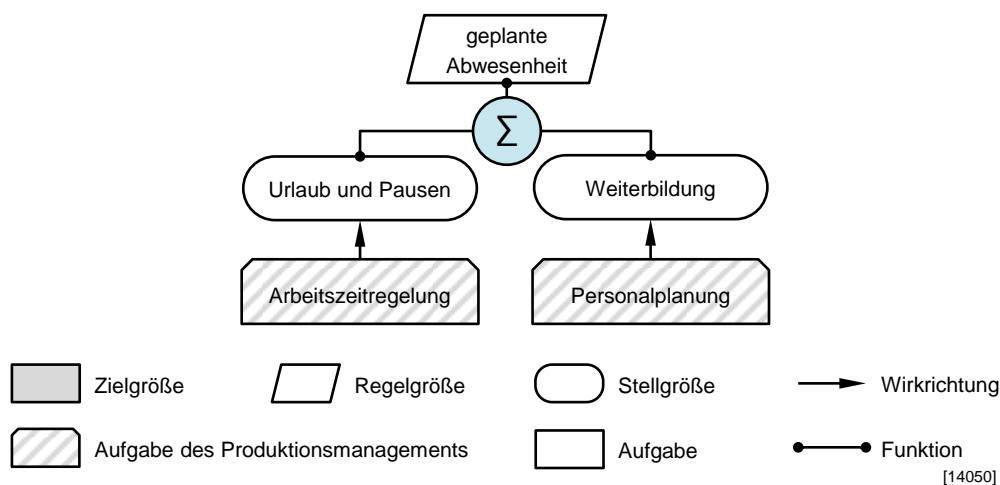


Abbildung 24: Aufgaben mit Bezug zur geplanten Abwesenheit

Aufgaben mit Bezug zur ungeplanten Abwesenheit

Die Stellgrößen mit Bezug zur ungeplanten Abwesenheit sind sehr individuell durch die Mitarbeiter selbst bedingt. Sie lassen sich daher nur mittelbar durch Unternehmen beeinflussen. Dabei wirken die Aufgaben *ergonomische Arbeitsgestal-*

tion, Personalführung und betriebliches Gesundheitsmanagement auf die Stellgröße *krankheitsbedingtes Fehlen* (vgl. Abbildung 25). Unternehmen können die Krankenquote verringern, wenn sie die genannten Aufgaben wahrnehmen [Rudo11, S. 322]. Wie groß der tatsächliche Einfluss auf diese Stellgröße ist, ist jedoch von Arbeitssystem zu Arbeitssystem unterschiedlich. Die Bedeutung dieser Aufgaben für die Arbeitsproduktivität ist daher strittig. Unstrittig hingegen ist die Bedeutung dieser Aufgaben aus ethischer, legaler und sozialer Sicht, da die Gesundheit der Mitarbeiter wichtiger ist als eine hohe Produktivität. Die Schaffung gesundheitlich unbedenklicher Arbeitssysteme sollte daher zuerst aus der Führsorgepflicht für die Mitarbeiter und der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und Standards motiviert sein und erst dann aus Produktivitätsüberlegungen. Auf Grund der ethischen, legalen und sozialen Aspekte dieser Aufgaben müssen Unternehmen auf bestimmte Maßnahmen in diesem Bereich verzichten. Dazu zählt z.B. die Kündigung älterer und chronisch kranker Mitarbeiter, die sich zwar positiv auf das *krankheitsbedingte Fehlen* auswirken könnte, jedoch ethisch nicht vertretbar und mit geltendem Arbeitsrecht meist unvereinbar ist. Diese Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität bleiben daher vom Modell auch unberücksichtigt.

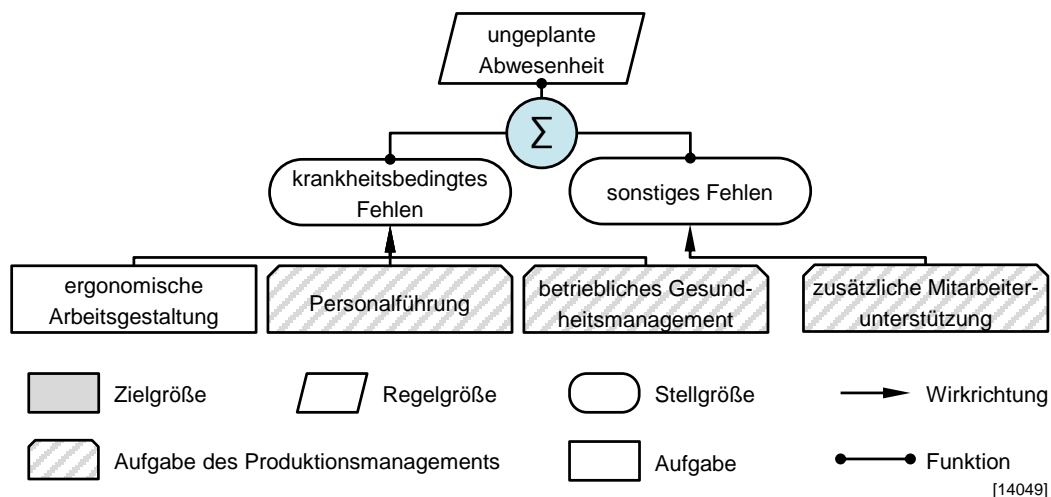


Abbildung 25: Aufgaben mit Bezug zur ungeplanten Abwesenheit

Die Stellgröße *sonstiges Fehlen* wird durch die Aufgabe *zusätzliche Mitarbeiterunterstützung* adressiert (vgl. Abbildung 25).

Aufgaben mit Bezug zum Ausschuss

Der *Ausschuss* ist abhängig von der Prozessfähigkeit eines Arbeitssystems und wird daher wie die Nacharbeit durch das *Qualitätsmanagement* beeinflusst (vgl. Abbildung 26).

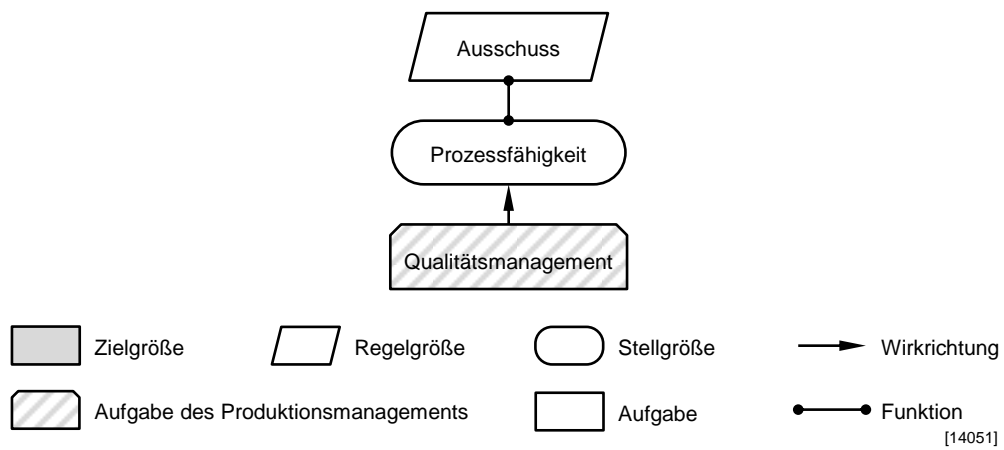


Abbildung 26: Aufgaben mit Bezug zum Ausschuss

5 Konzept zur Nutzung des Arbeitsproduktivitätsmodells

Diese Kapitel soll erläutern, wie das Modell der Arbeitsproduktivität die Verbesserung der Arbeitsproduktivität von spezifischen Arbeitssystemen unterstützen kann. Die Nutzung des Modells ist dabei in zwei Teilschritte untergliedert. Der erste Schritt ist die Übertragung des Modells auf den entsprechenden Untersuchungsbereich (Abschnitt 5.2). Danach folgt die eigentliche Modellnutzung. Sie besteht aus der Datenerhebung (Abschnitt 5.3) und der modellbasierten Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität (Abschnitt 5.4). Zuvor Beschreibt Abschnitt 5.1 das grundsätzliche Vorgehen für die Nutzung des Modells.

5.1 Vorgehen zur Modellnutzung

Ein erfolgreiches Produktivitätsmanagement muss in der Lage sein, geeignete Maßnahmen abzuleiten, um die Produktivität zu verbessern. Dafür sind eine geeignete Datengrundlage und ein systematisches Vorgehen erforderlich [Grab20, S. 59]⁵. Das Modell der Arbeitsproduktivität kann sowohl eingesetzt werden, um die Datengrundlage zu strukturieren, als auch Maßnahmen systematisch abzuleiten und zu bewerten. Da das Modell der Arbeitsproduktivität die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität in generischer Form abbildet, muss es für die Nutzung für spezifische Arbeitssysteme angepasst werden.

Das grundsätzliche Vorgehen wird durch Abbildung 27 skizziert. Ausgangspunkt für die Nutzung ist das in Kapitel 4 erläuterte generische Modell mit den Stell- und Regelgrößen und seinen Aufgaben. Zuerst erfolgt die Anpassung des Modells an das betrachtete Arbeitssystem. Im Fokus der Anpassung stehen die betrachtete Arbeitsaufgabe und die Modellaufgaben. Das resultierende spezifische Modell ist wiederum Ausgangspunkt für die Schaffung einer geeigneten Datengrundlage und die Ableitung geeigneter Verbesserungsmaßnahmen.

⁵ Bei der hier zitierten Quelle handelt es sich um eine Dissertation, die zu diesem Zeitpunkt zur Begutachtung vorgelegt, jedoch noch nicht veröffentlicht ist.

Auf Grund der ähnlichen Arbeitsprozesse ist auch der Arbeitsaufwand der verschiedenen Varianten vergleichbar. Meist fertigen die Mitarbeiter 20 bis 30 Geräte hintereinander. Das erforderliche Material entnehmen sie einem nahen Bereitstellungslager entsprechend der jeweiligen Stückliste selbst und bringen es in größeren Transportkisten zum Arbeitsplatz. Die Mitarbeiter des Produktionsbereichs nehmen ergänzend an wöchentlichen Besprechungen teil, um aktuelle Probleme in der Montage, Verbesserungsmaßnahmen oder Produktionsziele zu besprechen.

Die Abteilung für Arbeitsvorbereitung plant im Unternehmen die Arbeitsabläufe und gestaltet die Arbeitsplätze. Darüber hinaus unterstützt sie die Teamleiter der Produktionsbereiche dabei Verbesserungsmaßnahmen umzusetzen z.B. bei der Gestaltung von geeigneten Hilfsmitteln. Die Qualitätssicherungsabteilung betreut die Prüfstationen der Produktionsbereiche. Die Hauptaufgabe dieser Abteilung besteht darin, die Prüfsoftware für die Funktionstests zu konfigurieren.

5.2 Übertragung des Modells an den Untersuchungsbereich

Ziel der Anpassungen ist es, das Modell auf die Arbeitsaufgabe des betrachteten Produktionsbereichs zu übertragen und die formulierten Aufgaben anzupassen. Dies ist wichtig, um die Mitarbeiterzustände den Regel- und Stellgrößen richtig zuzuordnen zu können. Ein einfaches Beispiel für diese Anpassung ist der Vergleich von Arbeitsaufgaben in der Montage und in der Qualitätskontrolle: Während es die primäre Arbeitsaufgabe in der Montage ist, Bauteile zu Baugruppen oder einem fertigen Produkt zu montieren, überprüft die Qualitätskontrolle die Eigenschaften der hergestellten Produkte. Die jeweiligen spezifischen Modelle sollen die Arbeitsproduktivität für diese verschiedenen Aufgaben abbilden (Abschnitt 5.2.1).

Ähnlich verhält es sich mit den Aufgaben, die das Modell für die Beeinflussung der Arbeitsproduktivität definiert. Hier sollte das spezifische Modell eine möglichst große Überschneidung zwischen den vom Modell der Arbeitsproduktivität definierten unspezifischen Aufgaben und den Aufgaben des Produktivitätsmanagements im jeweiligen Unternehmen herstellen.

5.2.1 Beschreibung der Arbeitsaufgabe

Um das Modell einzusetzen, muss zunächst die Arbeitsaufgabe beschrieben werden. Dazu ist es hilfreich, den Output zu bestimmen, da dieser das Ergebnis der Arbeitsaufgabe darstellt. Tabelle 9 zeigt Beispiele für die verschiedenen Arbeitsaufgaben und den möglichen zugehörigen Output.

Tabelle 9: Arbeitsaufgaben und zugehöriger Output

Arbeitsaufgabe	möglicher Output
Fertigung/Montage	Menge der produzierten Teile
Qualitätskontrolle	Anzahl der durchgeführten Kontrollen
Wartung	Anzahl der durchgeführten Wartungen
sonstige Arbeitsaufgaben	Anzahl der durchgeführten Aufgaben

Für standardisierte Arbeitssysteme, beispielsweise in der Serienfertigung mit mechanischen und regelmäßig durchzuführenden Arbeitsaufgaben, lassen sich die entsprechenden Arbeitsaufgaben leicht beschreiben. Eine Anpassung ist in diesem Fall sehr einfach möglich bzw. kaum erforderlich. In Abhängigkeit von der Fertigungsform und der Arbeitsaufgabe kann es jedoch schwierig sein, Aufgaben und Output klar zu definieren. Bei sehr umfangreichen Arbeitsaufgaben, etwa in der Unikatfertigung, ist es daher sinnvoll, verschiedene Teilaufgaben zu definieren und somit auch verschiedene Formen des Outputs zu berücksichtigen. Ein Beispiel im Schiffbau könnte die Arbeitsaufgabe „*Rohrleitungen montieren*“ mit dem zugehörigen Output „*Länge der montierten Rohrleitungen*“ sein.

Wenn der Output und damit das Ziel der Arbeitstätigkeit bestimmt ist, können alle Arbeitstätigkeiten, die für die Erzeugung des Outputs erforderlich sind, als Arbeitsaufgabe zusammengefasst werden. In der Fertigung bzw. Montage bilden die Arbeitspläne die geeignete Basis dafür. Bei der Qualitätskontrolle oder der Wartung können die Arbeitsaufgaben entsprechend aus Prüf- oder Wartungsplänen abgeleitet werden. Liegen standardisierte Arbeitsinformationen nicht vor, sind die Arbeitstätigkeiten bei den Mitarbeitern zu erfragen.

Im Beispiel der TouchSys GmbH ist die Bestimmung von Output und Arbeitsaufgabe einfach: Der Output des Arbeitssystems ist die Anzahl der fertiggestellten Geräte. Zur Arbeitsaufgabe gehören folglich die im Arbeitsplan aufgeführten Tätigkeiten zur Montage der Geräte. Da die Funktionsprüfung der Geräte standardmäßig bei jedem Gerät erfolgt, gehörten auch diese Prüftätigkeiten, sowie die Dokumentation der Prüfergebnisse zur Arbeitsaufgabe. Genauso verhält es sich mit der Materialbereitstellung, die die Mitarbeiter im Produktionsbereich selbst durchführen.

5.2.2 Abgleich der Modellaufgaben

Zweiter wesentlicher Schritt zur Schaffung des spezifischen Modells ist es, die im Modell vorgesehenen Aufgaben anzupassen, mit denen Unternehmen die Stellgrößen der Arbeitsproduktivität beeinflussen. Ziel dieses Schritts ist es in erster Linie zu überprüfen, ob und wie die vom Modell vorgesehenen Aufgaben im Unter-

nehmen wahrgenommen werden. Diese Erfassung des Ist-Zustands der produktivitätsrelevanten Aufgaben bildet die Grundlage für die spätere systematische Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen. Vor diesem Hintergrund muss das Produktivitätsmanagement drei Fragestellungen beantworten:

- Welche Modellaufgaben werden bereits bewusst, das heißt gemäß ihrer Wirkung auf die Arbeitsproduktivität, wahrgenommen?
- Welche Mitarbeiter oder Unternehmensbereiche sind für eine Aufgabe verantwortlich?
- Wie werden die Aufgaben im betrachteten Produktionsbereich durchgeführt und existiert ein systematisches Vorgehen für die Durchführung der Aufgabe?

Im Idealfall existiert im Unternehmen ein Produktivitätsmanagement, das alle vom Modell der Arbeitsproduktivität beschriebenen Aufgaben bereits wahrnimmt. Entscheidend dabei ist, dass die jeweiligen Aufgaben hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Arbeitsproduktivität wahrgenommen werden. Die Verantwortlichkeiten für die Aufgaben sollten zudem klar beschrieben sein und für die Aufgaben sollte eine systematische Vorgehensweise bestehen.

Bestimmte Aufgaben können im Unternehmen in anderer Form durchgeführt werden, als im generischen Modell beschreiben. Beispielsweise können Aufgaben der PPS, wie beispielsweise die Planung der Mitarbeiterkapazität, im Anlagenbau auch im Rahmen des Projektmanagements wahrgenommen werden. Es kann also vorkommen, dass eine Aufgabe unter einem anderen Namen oder in einem Zusammenhang wahrgenommen wird. Hier ist es erforderlich, die Kernaspekte der jeweiligen Modellaufgabe (siehe dazu Abschnitt 4.4.2) auf die existierenden Unternehmensaufgaben zu übertragen. Gegebenenfalls müssen Modellaufgaben auf mehrere Unternehmensaufgaben aufgeteilt oder mehrere Modellaufgaben in einer Unternehmensaufgabe zusammengefasst werden. Um die Nutzung des Modells für die beteiligten Mitarbeiter zu vereinfachen, sollten für die Modellaufgaben unternehmensspezifische Bezeichnungen übernommen werden.

Existiert für eine Modellaufgabe keine Entsprechung im Produktivitätsmanagement des Unternehmens, muss die Modellaufgabe implementiert werden. Je nach Bedeutung der entsprechenden Stellgröße für das spezifische Arbeitssystem ist dafür ein kleinerer oder größerer Aufwand gerechtfertigt. In jedem Fall sollten aber mindestens eine verantwortliche Person oder ein verantwortlicher Bereich definiert und der Aufgabenumfang beschrieben werden. Dies ist hilfreich, da die Modellaufgaben in Unternehmen in der Regel von verschiedenen Abteilungen wahrgenommen werden (z.B. Arbeitsvorbereitung, Produktionsplanung, etc.). Häufig ist daher eine abteilungsübergreifende Zusammenarbeit erforderlich, die durch klare Verantwortlichkeiten erleichtert wird.

Im Beispielunternehmen übernimmt die Arbeitsvorbereitung die Aufgaben *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* und *Gestaltung des Arbeitsplatzes*. Die Arbeitsaufgabe ist dabei so gestaltet, dass die Montagereihenfolge spätere Arbeitsschritte nicht erschwert. Die Komponenten werden so eingebracht, dass die Schnittstellen zugänglich bleiben, die für weitere Arbeitsschritte relevant sind. Die Arbeitsplätze sind nach ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet und mit geeigneten Werkzeugen und Hilfsmitteln ausgestattet, die eine schnelle Bearbeitung der Arbeitsaufgabe zulassen. Die Aufgaben *Gestaltung der Materialbereitstellung* und *Gestaltung der Informationsbereitstellung* fallen auch in die Zuständigkeit der Arbeitsvorbereitung. Die Abteilung nimmt diese Aufgaben jedoch nicht in vollem Umfang wahr. Zwar erstellt die Arbeitsvorbereitung die erforderlichen Arbeitspläne und plant gemeinsam mit der innerbetrieblichen Logistik die Bereitstellung der Materialien im Bereitstellungslager, allerdings werden die Fertigungsunterlagen nicht hinsichtlich einer einfachen Handhabung durch die Mitarbeiter gestaltet und die Anordnung der Materialien an den Arbeitsplätzen liegt in der Verantwortung der Mitarbeiter. Für andere Modellaufgaben existieren im betrachteten Arbeitsbereich keine klaren Verantwortlichkeiten. Ein Beispiel dafür ist die Instandhaltung. Im Beispielunternehmen sind die Mitarbeiter der Instandhaltung ausschließlich für die Wartung und Reparatur der automatisierten Anlagen in anderen Arbeitsbereichen zuständig. Die Wartung und Reparatur der Werkzeuge und Hilfsmittel in der Montage ist dagegen keiner Abteilung zugeordnet.

5.3 Erfassung von Produktivitätsdaten

Die Erfassung von geeigneten Produktivitätsdaten ist der erste Schritt bei der eigentlichen Nutzung des Modells der Arbeitsproduktivität. Ziel ist es, mit Hilfe der Daten den Handlungsbedarf für den betrachteten spezifischen Produktionsbereich zu ermitteln. Dazu ist es erforderlich, die definierten Stellgrößen mit den erfassbaren Daten des Arbeitssystems zu verknüpfen (Abschnitt 5.3.1). Anschließend ist ein geeignetes Vorgehen zur Datenerfassung auszuwählen (Abschnitt 5.3.2).

5.3.1 Definition der relevanten Produktivitätsdaten

Um eine geeignete Datengrundlage für das Modell der Arbeitsproduktivität zu schaffen, sind zwei verschiedene Arten von Daten zu erfassen. Die output-bezogenen Stellgrößen bzw. die Bezugsgröße des Outputs bilden den gesamten Abgang eines Arbeitssystems ab. Diese Größen werden über die entsprechenden Stückzahlen erfasst. Für die Stellgröße Ausschuss ist es dabei wichtig, dass nur solche Teile erfasst werden, die nicht durch Nacharbeit repariert werden (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Daten zur Erfassung der output-bezogenen Stell- und Bezugsgrößen

Stellgröße	Daten
gesamter Output (Bezugsgröße)	Menge der produzierten Teile in Stk.
Ausschuss	Menge des produzierten Ausschusses in Stk.

Wie eingangs beschrieben, ist eine Erfassung des Outputs ebenfalls in Form von Vorgabestunden oder durch eine monetäre Bewertung möglich. Eine Erfassung durch Vorgabestunden ist unter anderem dann empfehlenswert, wenn die Produktivität für ein heterogenes Produktspektrum vergleichbar erfasst werden soll (siehe Abschnitt 2.2.2) und verlässliche Vorgabezeiten vorliegen.

Die input-bezogenen Stellgrößen bilden die bezahlte Arbeitszeit der Mitarbeiter in einem betrachteten Arbeitssystem ab. Dazu werden die verschiedenen Mitarbeiterzustände den einzelnen Stellgrößen zugeordnet. Die Mitarbeiterzustände sind dabei im Wesentlichen durch die Aktivitäten der Mitarbeiter bestimmt. Führt ein Mitarbeiter eine Aktivität aus, so nimmt er den Zustand „Aktivität ausführen“ ein, wartet der Mitarbeiter, nimmt er den Zustand „wartet“ ein. Auf diese Weise kann die bezahlte Arbeitszeit jedes einzelnen Mitarbeiters als die Summe der Mitarbeiterzustände abgebildet werden.

Um die Stellgrößen *krankheitsbedingtes Fehlen* und *sonstiges Fehlen* zu erfassen, sind die Abwesenheitszeiten der Mitarbeiter auf Grund von Krankheit oder sonstigen Gründen zu erfassen. Die Mitarbeiterzustände „ist im Urlaub“, „pausiert“ oder „nimmt an Weiterbildung teil“ werden den Stellgrößen *Urlaub und Pausen* und *Weiterbildung* zugeordnet (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Mitarbeiterzustände für geplantes und ungeplantes Fehlen

Stellgröße	Daten (Mitarbeiterzustände)
krankheitsbedingtes Fehlen	abwesend wegen Krankheit
Sonstiges Fehlen	abwesend wegen sonstiger Gründe
Urlaub und Pausen	im Urlaub, pausiert
Weiterbildung	abwesend wegen Weiterbildung

Der Zustand „führt Nacharbeit durch“ ist mit der Stellgröße *Nacharbeit* verknüpft. Die Mitarbeiterzustände „behebt Störung“ und „wartet auf Störungsbehebung“ sind der Stellgröße *Störungsbehebung* zuzuordnen (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Mitarbeiterzustände für Auslastungsverluste

Stellgröße	Daten (Mitarbeiterzustände)
Nacharbeit	führt Nacharbeit durch
Störungsbehebung	wartet auf Störungsbehebung
	behebt Störung
kapazitätsbedingte Auslastungsverluste	wartet auf Aufträge
Zusätzliche Tätigkeiten	nimmt am Meeting teil
	prüft Bauteil
	wartet Maschine

Ist das Kapazitätsangebot an einem Arbeitssystem höher als der Kapazitätsbedarf, so müssen Mitarbeiter zwischenzeitlich auf neue Aufträge warten. Der Stellgröße *kapazitätsbedingte Auslastungsverluste* sind daher die Mitarbeiterzustände zuzuordnen, die auf fehlende Fertigungsaufträge zurückzuführen sind. Dafür kommt „wartet auf Aufträge“ als Zustand in Frage (vgl. Tabelle 12).

Der Stellgröße *zusätzliche Tätigkeiten* sind verschiedene Mitarbeiterzustände zugeordnet. Die zugehörigen Zustände werden durch die Tätigkeiten bestimmt, die nicht in die Durchführung der Arbeitsaufgabe fallen. Dazu gehören in aller Regel die Teilnahme an Besprechungen (z.B. „nimmt an Besprechung teil“). Je nach Umfang der eigentlichen Arbeitsaufgabe am untersuchten Arbeitssystem sind auch Tätigkeiten der Qualitätskontrolle (z.B. „prüft Produkt/Teil“) oder der Wartung (z.B. „wartet Maschine/Anlage“) der Stellgröße *zusätzliche Tätigkeiten* zuzuordnen (vgl. Abschnitt 4.4).

Alle Mitarbeiterzustände, die aus Aktivitäten der geplanten Arbeitsaufgabe des betrachteten Arbeitssystems resultieren, sind den Stellgrößen der *Durchführung der Arbeitsaufgabe* zuzuordnen. Im Hinblick auf die Stellgrößen sind die Zustände danach zu unterscheiden, ob sie eine Handhabung von Material oder Informationen, die Vor- oder Nachbereitung des Arbeitsplatzes oder die Bearbeitung des Bauteils oder Produkts beinhalten (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Mitarbeiterzustände für die Stellgrößen der Durchführung der Arbeitsaufgabe

Stellgröße	Daten (Mitarbeiterzustände)
Informationshandhabung	handhabt Information
Materialhandhabung	handhabt Material
Vor- und Nachbereitung	führt Vor- oder Nachbereitung durch
Aufgabenbearbeitung	bearbeitet Arbeitsaufgabe

Darüber hinaus sollten die entsprechenden Mitarbeiterzustände auch so gewählt werden, dass sie leicht zu erfassen sind. Zwar ist es möglich, allgemeingültige Zustände wie „Fügen“ und „Trennen“ zu nutzen. Allerdings ist es hilfreich, möglichst spezifische Mitarbeiterzustände zu definieren, die genau den verschiedenen Aktivitäten der Mitarbeiter entsprechen. Tietze empfiehlt dazu, nicht nur die Aktivität der Mitarbeiter einzubeziehen, sondern auch die Objekte, mit denen sie interagieren, für die Definition der Mitarbeiterzustände zu erfassen [Tiet16, S. 45ff.].

Am Beispielarbeitssystem der TouchSys GmbH treten im Rahmen der *Informationshandhabung* die Zustände „Lesen von Arbeitsplänen oder Stücklisten“, „Betrachten von Zeichnungen“ und „Dokumentieren von Prüfergebnissen“ auf. Innerhalb der *Materialhandhabung* treten die Zustände „Material holen“, „Bauteile entpacken“ und „Geräte weitergeben“ auf. Die Aufgabenbearbeitung ist durch die im engeren Sinne wertschöpfenden Tätigkeiten geprägt. Dazu zählen Aktivitäten wie Montieren, Reinigen von Bauteilen, Verkleben und Testen. Auf die *zusätzlichen Tätigkeiten* entfällt im Beispiel nur der Zustand „an Besprechung teilnehmen“.

5.3.2 Erhebung der Produktivitätsdaten

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Daten für die Stellgrößen des Modells können mit Hilfe von verschiedenen Methoden erhoben werden. Ausschlaggebend ist, dass die jeweilige Methode Daten mit dem erforderlichen Detaillierungsgrad erheben kann. Für die Erfassung der Daten, die den input-bezogenen Stellgrößen zugeordnet sind, eignen sich grundsätzlich Methoden wie Multimomentaufnahmen (MMH), Zeitaufnahmen oder Systeme vorbestimmter Zeiten. Die Daten für die output-bezogenen Stell- und Bezugsgrößen erfassen Unternehmen häufig mit Hilfe von Rückmeldungen bearbeiteter Aufträge mit Hilfe von Systemen zur Betriebsdatenerfassung (BDE).

Da mit den input-bezogenen Stellgrößen die gesamte bezahlte Arbeitszeit abgebildet werden soll, ist es häufig nicht möglich bzw. sehr aufwändig die erforderlichen Daten mit einer einzelnen Erfassungsmethode zu erheben. Beispielsweise können mit Systemen vorbestimmter Zeiten Daten für die *Durchführung der Arbeitsaufgabe* detailliert erfasst werden. Dieses Vorgehen ist jedoch ungeeignet, um Zeitdauern von Störungen oder zusätzlichen Tätigkeiten wie Besprechungen zu erfassen. Mit den Analysemethoden von Czumanski, Tietze und Grabner et al. [Czum13; Tiet16; Grab18] existieren drei Ansätze, die verschiedene Erhebungsmethoden nutzen und so eine geeignete Datenaufnahme bei vertretbarem Aufwand ermöglichen (vgl. Tabelle 14).

Czumanski schlägt mit der Integralen Handlungsorientierten Produktivitätsanalyse vor, die Mitarbeiterzustände mit unterschiedlichen Erhebungsmethoden zu erfassen. Diese sind [Czum13, S. 57ff.]:

- reduzierte Zeitaufnahmen (RZA)
- Selbstaufschreibungen durch die Mitarbeiter (SA)
- Betriebsdatenerfassungssysteme

Tabelle 14: Datentypen und Erfassungsart bestehender Analyseverfahren

Daten (Mitarbeiterzustand)	Erfassungsmethode		
	Czumanski	Tietze	Grabner
abwesend wegen Krankheit	BDE	BDE	SA (Meister)
abwesend wegen sonstiger Gründe	BDE	BDE	SA (Meister)
im Urlaub, pausiert	BDE	BDE	SA (Meister)
abwesend wegen Weiterbildung	BDE/ SA	BDE/ Liste	SA (Meister)
führt Nacharbeit durch	SA	MMH	MMH
wartet auf Störungsbehebung	SA	MMH	MMH
behebt Störung	SA	MMH	MMH
wartet auf Aufträge	SA	MMH	MMH
wartet auf Material (in Folge eines fehlenden Auftrags)	SA	MMH	MMH
wartet auf Hilfsmittel (in Folge eines fehlenden Auftrags)	SA	MMH	MMH
nimmt an Meeting teil	SA	BDE/ Liste	MMH
bearbeitet Prototypen	SA	BDE/ Liste	MMH
prüft Bauteil	RZA/ SA	MMH	MMH
wartet Maschine	SA	MMH	MMH
handhabt Information	RZA	MMH	MMH
handhabt Material	RZA	MMH	MMH
führt Vor- oder Nachbereitung durch	RZA	MMH	MMH
bearbeitet Arbeitsaufgabe	RZA	MMH	MMH
Menge der produzierten Teile in Stk.	BDE	n. e.	SA (Meister)
Menge des produzierten Ausschusses in Stk.	BDE	n. e.	SA (Meister)

- BDE Betriebsdatenerfassung
 SA Selbstaufschrieb
 RZA reduzierte Zeitaufnahmen
 MMH Multimoment-Häufigkeitsstudie

Das Verfahren reduziert den Erfassungsaufwand, indem es die Dauer periodisch auftretender Zustände durch Multiplikation mit der Häufigkeit der Zustände berechnet. Unregelmäßig auftretende Zustände werden durch Selbstaufschreibung möglichst vollständig erfasst. Darüber hinaus wird die Betriebsdatenerfassung zur Erfassung der Abwesenheit von Mitarbeitern genutzt. Daten für den Output werden über zurückgemeldete Aufträge erfasst.

Tietzes Methode sieht für die Erfassung der Dauer von Mitarbeiterzuständen sogenannte mehrdimensionale Multimomentaufnahmen vor [Tiet16, S. 62ff.]. Diese erfassen sowohl die Tätigkeit als auch zugehörige Objekte oder die jeweilige Arbeitsaufgabe und Gruppenzugehörigkeit des Mitarbeiters. Auf diese Weise lassen sich Mitarbeiterzustände als Kombination aus Tätigkeiten und Objekten und sogenannten Bedingungsgrößen darstellen. MMH-Verfahren dokumentieren stichprobenartig die Zustände der Mitarbeiter im Untersuchungsbereich. Dazu führen Beobachter zu unterschiedlichen und zufällig gewählten Zeitpunkten Rundgänge durch und nehmen die jeweiligen Zustände der Mitarbeiter auf. Alternativ können auch die Mitarbeiter selbst ihren Mitarbeiterzustand erfassen. Im Ergebnis liefert die Multimomentaufnahme Zeitanteile der beobachteten Zustände, bezogen auf die Anwesenheitszeit. Tietze schlägt auch vor, Zeitaufnahmen für unübersichtliche Arbeitsbereiche durchzuführen und fehlende Daten notfalls zu schätzen.

Grabners Methode greift wie die von Czumanski und Tietze auf verschiedene Erfassungsmechanismen zurück, nutzt jedoch hauptsächlich das Multimoment-Häufigkeits-Verfahren für die Datenerhebung. Anders als bei den Methoden von Czumanski und Tietze nutzt das Konzept von Grabner nicht die Betriebs- und Maschinendatenerfassung. Das Konzept sieht stattdessen vor, dass Teamleiter oder Meister der jeweiligen Bereiche die Abwesenheit von Mitarbeitern erfassen. Andere Mitarbeiterzustände werden mit Hilfe des MMH-Verfahrens erfasst. Dazu nutzt das Verfahren eine Software auf mobilen Endgeräten wie Tablets oder Smartphones. Der Beobachter erfasst zuerst die jeweilige Arbeitsstation und wird anschließend durch eine mehrstufige Beurteilung des Mitarbeiterzustands geführt (vgl. Abbildung 28). Dabei erfasst der Beobachter zuerst, ob der Mitarbeiter am Arbeitsplatz anwesend oder abwesend ist. Ist der Mitarbeiter abwesend (vgl. Abbildung 28 unten), erfasst der Beobachter den Grund für die Abwesenheit. Ist der Mitarbeiter anwesend, erfasst der Beobachter den entsprechenden Mitarbeiterzustand. Da die Erfassung der Mitarbeiterzustände, durch die besondere Abfragemethodik erleichtert wird, können auch Beobachter ohne besondere Vorkenntnisse die Beobachtungen durchführen. Insbesondere können auch Mitarbeiter aus den ausgewählten Arbeitsbereichen die Daten erfassen. Die Erfassung der output-bezogenen Daten erfolgt durch Eingabe der entsprechenden Stückzahlen aus den Rückmeldesystemen.

Alle hier aufgezeigten Methoden sind prinzipiell geeignet, die erforderlichen Daten für die Nutzung des Arbeitsproduktivitätsmodells zu ermitteln. Bei der Auswahl der Erfassungsmethode sind insbesondere die Eigenschaften des jeweiligen Arbeitssystems zu berücksichtigen. So eignet sich die Methode von Czumanski vornehmlich für die Serienfertigung, Tietzes Vorgehen dagegen ist besser für die Anwendung in der Unikatfertigung geeignet. Grabners Ansatz ist an dieser Stelle besonders hervorzuheben, da sein Vorgehen das Modell der Arbeitsproduktivität explizit berücksichtigt [Grab18, S. 120].

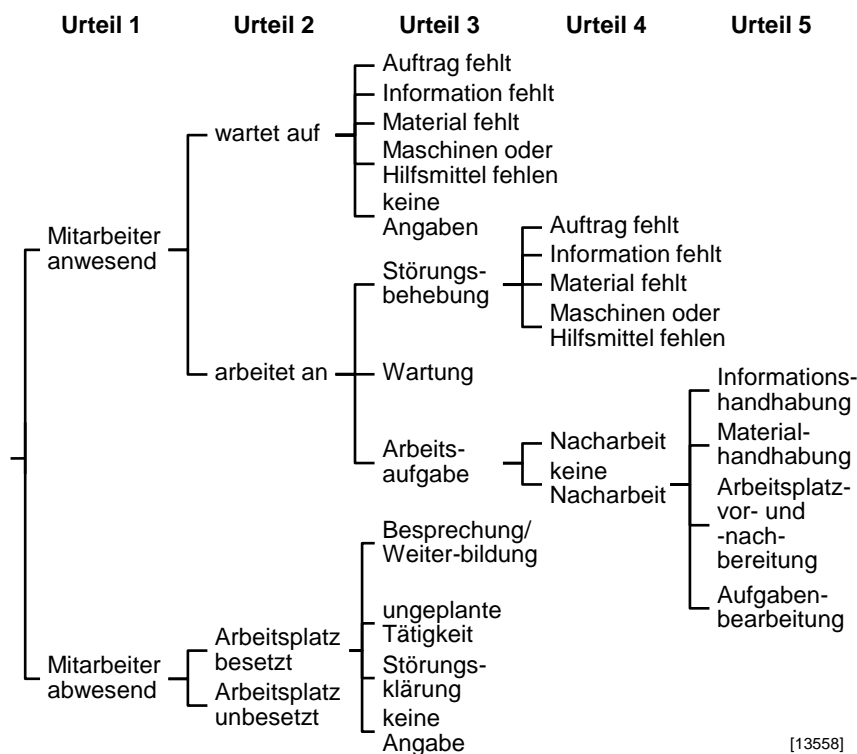


Abbildung 28: Entscheidungsbaum für Multimomentaufnahmen nach Grabner et al. [Grab18, S. 121]

5.4 Modellbasierte Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität

Mit Hilfe des Modells der Arbeitsproduktivität ist es möglich, die Produktivitätsdaten auf verschiedene Weise und für unterschiedliche Zwecke zu interpretieren. Dazu zählen unter anderem [Grab20, S. 83]:

- Bewertung der Bedeutung der Aufgaben, Stell- und Regelgrößen (Abschnitt 5.4.1),
- die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen (Abschnitt 5.4.2),
- die Bewertung der Maßnahmenwirkung (Abschnitt 5.4.3)
- die Erfolgskontrolle umgesetzter Maßnahmen (Abschnitt 5.4.4)

5.4.1 Datenauswertung und -analyse

Durch die Erfassung der Daten für die Stellgrößen des beschriebenen Modells ist es möglich, für ein spezifisches Arbeitssystem den jeweiligen Einfluss der Regel- und Stellgrößen zu bestimmen. Das erste Ziel der Datenauswertung und -interpretation mit dem Modell ist es, die Stellgrößen und damit verbundenen Aufgaben zu finden, die die Arbeitsproduktivität am stärksten beeinflussen.

Fiktives Anwendungsbeispiel zur Veranschaulichung der Modellnutzung zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität (Fortsetzung):

Um die Produktivität des Produktionsbereichs zielgerichtet zu verbessern, werden über einen Zeitraum von 8 Wochen Produktivitätsdaten erhoben und ausgewertet. Innerhalb des Betrachtungszeitraums wurden insgesamt 2.920 Geräte produziert. Davon wurden 75 wegen verschiedener Mängel als Ausschuss aussortiert.

Die bezahlte Arbeitszeit im Untersuchungszeitraum betrug 3.000 Stunden. Von dieser Zeit entfielen 75 Stunden (2,5% der bezahlten Arbeitszeit) auf eine eintägige Weiterbildung der Mitarbeiter des Bereichs. Weitere 38 Stunden (1,3%) entfielen auf Urlaub von Mitarbeitern. 60 Stunden (2%) gingen auf krankheitsbedingt fehlende Mitarbeiter zurück. Von den verbleibenden 2.827 Stunden der bezahlten Arbeitszeit entfiel ein Großteil auf die Bearbeitung der Fertigungsaufträge mit 2.460 Stunden (82%). Für die Beseitigung von Störungen wurden 247 Stunden (8,2%) aufgewendet. Auf Besprechungen entfielen 120 Stunden (4%).

Bei der Arbeit an den Fertigungsaufträgen wenden die Mitarbeiter erhebliche Zeitaufwände für das Zusammensuchen, den Transport und das Entpacken der benötigten Materialien auf. Auf diese Mitarbeiterzustände entfielen 772 Stunden (20%). Auf die Vorbereitung der Arbeitsplätze entfielen 360 Stunden (12%) und auf das Lesen der Arbeitspläne und Zeichnungen 450 Stunden (15%). 1.050 Stunden (35%) entfielen auf die eigentliche Durchführung der Montagetätigkeiten und das Testen der Geräte.

Der Einfluss der input-bezogenen Regelgrößen (*Durchführung der Arbeitsaufgabe*, *Auslastungsverluste*, *geplante Abwesenheit* und *ungeplante Abwesenheit*) ist davon abhängig, wie groß der Anteil der jeweiligen Regelgröße an der bezahlten Arbeitszeit ist. Gleiches gilt für die verschiedenen Stellgrößen. Der Anteil der Regelgrößen an der bezahlten Arbeitszeit, entspricht der Summe der Zeitanteile der zugehörigen Stellgrößen. Analog ergibt sich der Anteil einer Stellgröße an der bezahlten Arbeitszeit als die Summe der Zeitanteile der zugehörigen Mitarbeiterzustände (vgl. Gl. 5.1).

$$ANT_{SG} = \sum_{i=1}^{Anz. Z} ANT_{Zi} \quad 5.1$$

- mit ANT_{SG} : Zeitanteil der Stellgröße (an bezahlter Arbeitszeit) [%]
 $Anz. Z$: Anzahl der zur Stellgröße zugeordneten Mitarbeiterzustände [-]
 ANT_{Zi} : Zeitanteil des Zustands i (an bezahlter Arbeitszeit) [%]

Entsteht am betrachteten Arbeitssystem Ausschuss, so ist der Einfluss der Regelgröße *Ausschuss* abhängig vom Anteil des Ausschusses am gesamten produzierten Abgang.

Die Produktivitätsdaten aus dem Beispiel der TouchSys GmbH zeigen, dass die *Durchführung der Arbeitsaufgabe* den stärksten Einfluss auf die Arbeitsproduktivität hat. Auf diese Stellgröße entfallen 82% der bezahlten Arbeitszeit. Danach folgt mit großem Abstand die Regelgröße *Auslastungsverluste*, auf die 12% der bezahlten Arbeitszeit entfallen. Der Einfluss der anderen Regelgrößen auf die Arbeitsproduktivität ist sehr gering (vgl. Abbildung 29).

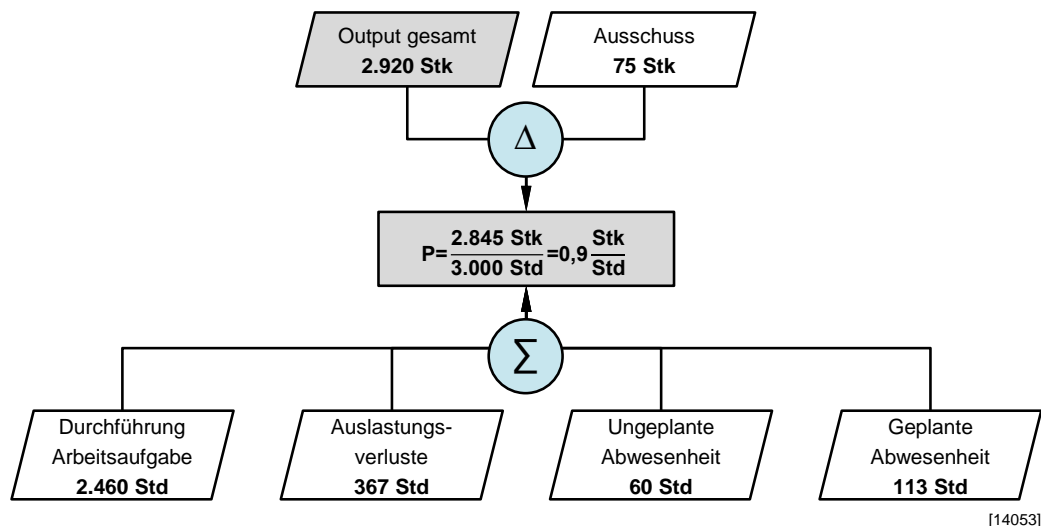


Abbildung 29: Regelgrößenmodell der Arbeitsproduktivität (fiktives Beispiel)

Da die *Durchführung der Arbeitsaufgabe* die Arbeitsproduktivität im Beispielarbeitsystem am stärksten beeinflusst, werden die zugehörigen Stellgrößen untersucht. Abbildung 30 zeigt das entsprechende Stellgrößenmodell.

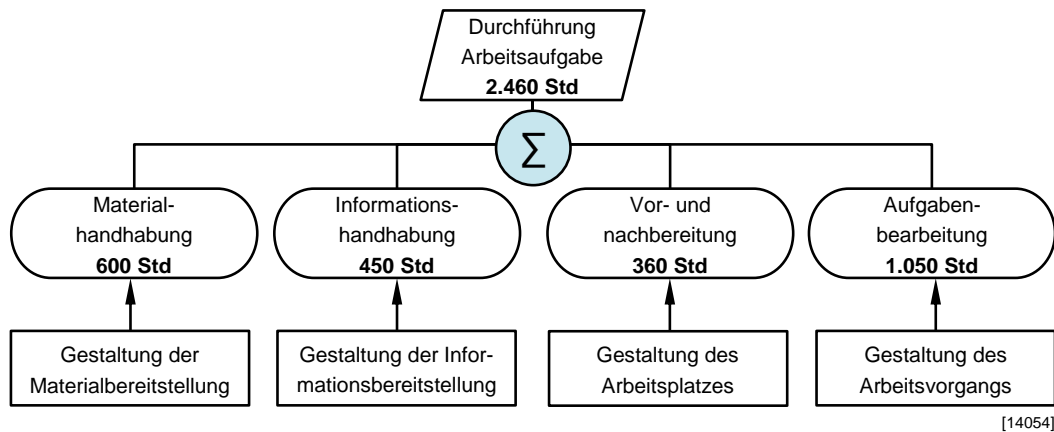


Abbildung 30: Stellgrößenmodell Durchführung der Arbeitsaufgabe (fiktives Beispiel)

Den größten Einfluss auf die *Durchführung der Arbeitsproduktivität* hat die *Aufgabenbearbeitung* mit 1.050 Stunden, auf die 43% der Regelgröße zurückzuführen sind. Danach folgt die *Materialhandhabung* (600 Std.), die *Informationshandhabung* (450 Std.) und die *Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes* (360 Std.).

5.4.2 Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen

Am Anfang der modellgestützten Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen steht die Priorisierung von Aufgaben. Hierfür sind prinzipiell zwei Strategien denkbar: Die erste und offensichtlichere Strategie ist es, auf die stärksten Einflüsse zu fokussieren. Hierbei werden die Aufgaben in den Vordergrund gestellt, deren zugehörige Stellgrößen die Arbeitsproduktivität sehr stark beeinflussen. Diese Aufgaben bieten ein hohes Verbesserungspotential und rechtfertigen daher auch einen größeren Aufwand für die Durchführung von Maßnahmen.

Die zweite Strategie zielt darauf ab, Aufgaben auszuwählen, die Verbesserungen mit einem geringen Aufwand ermöglichen. Dabei ist es weniger bedeutsam, ob die zugehörigen Stellgrößen einen starken Einfluss auf die Arbeitsproduktivität haben und somit ein großes Verbesserungspotential bieten. Im Fokus steht vielmehr die Frage, ob die Verbesserung selbst nur mit einem geringen Aufwand verbunden ist.

Sind mehrere Aufgaben mit einer Stellgröße verbunden, etwa bei der Stellgröße *krankheitsbedingtes Fehlen*, muss durch Abwägen der jeweiligen Aspekte der verschiedenen Aufgaben ein geeigneter Ansatz gefunden werden. In vielen Fällen können die Teamleiter oder Meister des betroffenen Arbeitssystems am besten beurteilen, ob ein hoher Krankenstand durch eine nichtergonomische Arbeitsumgebung oder durch andere Faktoren wie starken Stress verursacht wird.

Eine Sonderstellung haben die Aufgaben, die im Zusammenhang mit der Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* stehen. In diesem Fall sind zwei verschiedene Sets von Aufgaben für die Verbesserung nutzbar. Das erste Aufgabenset zielt auf eine Verbesserung des Arbeitssystems und die Gestaltung der Arbeitsaufgabe mit den klassischen Mitteln des Industrial Engineering ab. Das zweite Aufgabenset mit den Aufgaben *Personalführung*, *Personalplanung* und *Qualifizierung* zielt dagegen auf die Mitarbeiter im Arbeitssystem ab. Mitarbeiterbezogenen Aufgaben stellen auch unabhängig von der Arbeitsproduktivität wichtige Aufgaben dar und müssen daher von Unternehmen wahrgenommen werden. In Hinblick auf die Arbeitsproduktivität sind sie dann besonders relevant, wenn die Mitarbeiter in den betreffenden Arbeitssystemen die Arbeitsaufgabe nicht oder nur sehr langsam durchführen können. Dann ist es erforderlich andere geeignetere Mitarbeiter einzusetzen oder die Mitarbeiter durch Qualifizierungsmaßnahmen für die Arbeitsaufgabe zu schulen.

Nach der Auswahl einer oder mehrerer Aufgaben müssen im nächsten Schritt Maßnahmen für die Verbesserung entwickelt werden. Ausgangspunkt für die Entwicklung der Maßnahmen ist der Ist-Zustand der ausgewählten Aufgabe. Im nächsten Schritt sind geeignete Gestaltungsalternativen für die Aufgabe zu erarbeiten. Grabner schlägt dazu vor, die Mitarbeiter aus den Arbeitssystemen einzubinden und in einem Workshop verschiedene Alternativen zu entwickeln [Grab20, S. 91].

Im fiktiven Arbeitssystem verteilt sich der Einfluss der wichtigsten Aufgaben wie in Abbildung 31 dargestellt. Demnach ist die Aufgabe mit dem größten Einfluss auf die Arbeitsproduktivität die *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* bzw. die *Gestaltung des Arbeitsplatzes*, da beide Aufgaben mit der Stellgröße *Aufgabenbearbeitung* verknüpft sind. Wird die erste Strategie verfolgt, sollten diese Aufgaben auf Grund ihres starken Einflusses priorisiert werden. Mögliche Maßnahmen in diesem Bereich wäre die Verbesserung der Montagereihenfolge oder die Nutzung geeigneterer Werkzeuge und Hilfsmittel.

Besonders in bereits standardisierten Arbeitssystemen, wie sie in der Serienfertigung verbreitet sind, ist es nicht immer möglich nennenswerte Verbesserungen bei der *Aufgabenbearbeitung* mit einem vertretbaren Aufwand zu erreichen. In diesem

Fall ist es ratsam, die zweite Strategie zur Priorisierung der Aufgaben zu verfolgen. Bei Betrachtung des Stellgrößenmodells rückt dazu beispielsweise die *Gestaltung der Materialbereitstellung* in den Fokus. Auf die zugehörige Stellgröße entfallen mit 600 Stunden 20% der bezahlten Arbeitszeit.

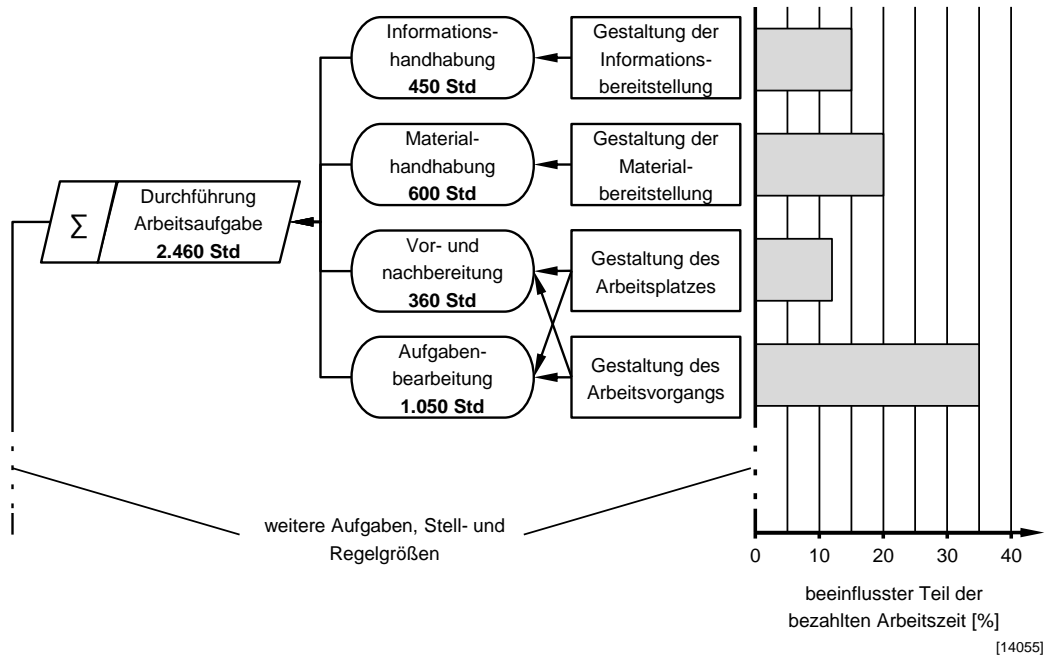


Abbildung 31: Bedeutung der Aufgaben für die Arbeitsproduktivität in Anlehnung an [Grab18, S. 18]

Die *Gestaltung der Materialbereitstellung* bietet auf Grund der hohen Bedeutung der *Materialhandhabung* für die Arbeitsproduktivität in diesem Arbeitssystem ein gutes Verbesserungspotential. Gleichzeitig sind einfache Verbesserungsmaßnahmen denkbar. Eine Bereitstellung der benötigten Materialien für die wichtigsten Varianten direkt an den Arbeitsplätzen würde in diesem Beispiel den Aufwand für die Materialhandhabung reduzieren.

5.4.3 Prognose von Produktivitätsveränderungen

Um eine möglichst geeignete Maßnahme für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität auszuwählen, ist es notwendig ihren voraussichtlichen Nutzen zu prognostizieren. Wird zusätzlich zum Nutzen der Maßnahme auch der Aufwand für die

Durchführung der Maßnahme⁶ bestimmt, können verschiedene Maßnahmen anhand des Verhältnisses von Aufwand und Nutzen verglichen werden. Dies schafft eine geeignete Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der Maßnahmen.

Da das hier vorgeschlagene Modell eine quantitative Beziehung zwischen den verschiedenen Stellgrößen und der Arbeitsproduktivität herstellt, können die Auswirkungen von Veränderungen z.B. in Folge von Verbesserungsmaßnahmen auf die Arbeitsproduktivität prognostiziert werden. Dazu wurde ein Vorgehen entwickelt, das eine Prognose des Erfolgs von Verbesserungsmaßnahmen auf Basis des Modells der Arbeitsproduktivität ermöglicht [Grab19]. Ausgangspunkt für die Prognose von Produktivitätsänderungen ist das spezifische Produktivitätsmodell eines Arbeitssystems mit den jeweiligen Daten für die Regel- und Stellgrößen.

Um die Auswirkungen einzelner Maßnahmen auf die Arbeitsproduktivität zu beurteilen, müssen zunächst die betroffenen Stellgrößen ermittelt werden. Lassen sich Maßnahmen einer einzelnen Aufgabe zuordnen, so sind die Stellgrößen durch die Maßnahme betroffen, die mit der entsprechenden Aufgabe verknüpft sind. Standardisierte Methoden aus dem Bereich der Ganzheitlichen Produktionssysteme (z.B. die 5S Methode) können jedoch nicht eindeutig einer einzelnen Aufgabe zugeordnet werden und wirken auf verschiedene Stellgrößen. So kann die Maßnahme 5S den Aufgaben *Gestaltung der Materialhandhabung*, *Gestaltung der Informationshandhabung* und *Gestaltung des Arbeitsplatzes* zugeordnet werden. In einem solchen Fall sollten Mitarbeiter, die Erfahrungen mit der entsprechenden Maßnahme oder Methode haben, ermitteln, welche Mitarbeiterzustände die Maßnahme beeinflusst. Durch die Verknüpfung der Zustände mit den Stellgrößen ist dann bekannt, welche Stellgrößen betroffen sind.

Sind die betroffenen Stellgrößen bekannt, muss im nächsten Schritt eingeschätzt werden, wie eine Maßnahme wirkt. Dazu ist eine fundierte Kenntnis über die Aufgabe und die betrachtete Maßnahme erforderlich. Experten sollten daher abschätzen, wie stark eine Maßnahme eine Stellgröße beeinflusst (z.B. Reduzierung um 30%). Experten können dabei vor allem Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung sein oder Mitarbeiter, die bereits die Umsetzung solcher Maßnahmen im Unternehmen begleitet haben. Um belastbarere Ergebnisse zu erhalten, sieht das Vorgehen von Grabner et al. vor, mehrere Experten einzubeziehen und die Schätzungen zu mitteln [Grab20, S. 93ff.]. Da durch die Produktivitätsanalyse bekannt ist, wie stark

⁶ Zur Bestimmung des Aufwands von Verbesserungsmaßnahmen siehe [Grab17].

der Einfluss einer Stellgröße auf die Arbeitsproduktivität ist, kann so die zu erwartende Veränderung der Arbeitsproduktivität prognostiziert werden. Dabei gilt es zu beachten, dass sich Maßnahmen nicht nur positiv, sondern auch negativ auf die Stellgrößen auswirken können. So kann sich die Methode 5S positiv auf die Stellgrößen *Materialhandhabung* aber negativ auf die Stellgröße *Vor- und Nachbereitung* auswirken, da die Mitarbeiter mehr Zeit für das Säubern und Aufräumen der Arbeitsplätze benötigen. Durch das Zusammenführen der Abschätzungen für alle betroffenen Stellgrößen kann die Wirkung der Maßnahme auf die Arbeitsproduktivität eines betrachteten Arbeitssystems prognostiziert werden.

Fiktives Anwendungsbeispiel zur Veranschaulichung der Modellnutzung zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität (Fortsetzung):

Auf Grundlage der modellbasierten Analyse der Arbeitsproduktivität entwickelt die Arbeitsvorbereitung zwei Maßnahmen, um die Arbeitsproduktivität zu verbessern:

Maßnahme 1 sieht die Umgestaltung der Materialbereitstellung vor. Zukünftig soll ein Mitarbeiter des Arbeitssystems das Material direkt an den Arbeitsplätzen bereitstellen. Dazu kommissioniert er die erforderlichen Bauteile aus dem zentralen Bereitstellungslager in Materialboxen, entfernt die Umverpackungen und transportiert die Materialboxen zu den Arbeitsplätzen der Mitarbeiter.

Maßnahme 2 sieht die Umgestaltung der Informationsbereitstellung vor. 3D-Animationen auf Bildschirmen an den Arbeitsplätzen sollen zukünftig die einzelnen Arbeitsschritte visualisieren und Informationen über die Bauteile bedarfsgerecht einblenden.

In einem nächsten Schritt bewerten die Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung gemeinsam mit den Mitarbeitern aus dem Arbeitssystem die Produktivitätswirkung der Maßnahmen.

Die erste Maßnahme reduziert die Stellgröße *Materialhandhabung* stark. Da die Mitarbeiter die Materialien nur noch aus den Materialboxen am Arbeitsplatz entnehmen und ggf. letzte Schutzverpackungen von elektronischen Bauteilen entfernen müssen, schätzen die Mitarbeiter, dass sich die erforderliche Zeit für die Materialhandhabung um 80% reduziert. Bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 8 Wochen würde dies eine Reduzierung der Stellgröße von 600 auf 120 Stunden

bedeuten. Dem entgegensetzen ist der zusätzliche Aufwand für einen Mitarbeiter, der die Materialhandhabung übernimmt. Bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 8 Wochen entspricht die volle Arbeitszeit eines Mitarbeiters 300 Stunden. Maßnahme 1 würde die *Materialhandhabung* daher um 30% auf 420 Stunden reduzieren. Der Output von 2.845 Geräten ließe sich demnach mit einer bezahlten Arbeitszeit von 2.820 Stunden erzeugen. Die Arbeitsproduktivität würde sich folglich um 11% von 0,9 [Stk. /Std] auf 1,0 [Stk./Std] erhöhen.

Maßnahme 2 zielt darauf ab, die Stellgröße *Informationshandhabung* zu reduzieren, indem die benötigten Informationen bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden. Die Mitarbeiter müssten so nicht mehr nach den richtigen Bauteilbezeichnungen und Positionen in den Fertigungsunterlagen suchen. Die *Informationshandhabung* bei der Dokumentation der Prüfergebnisse bleibt davon allerdings unbeeinflusst. Die Mitarbeiter des Arbeitssystems und der Arbeitsvorbereitung schätzen daher, dass sich die *Informationshandhabung* lediglich um 20% reduzieren würde. Bezogen auf den Betrachtungszeitraum käme dies einer Änderung um 90 Stunden auf 360 Stunden und einer Produktivitätssteigerung von 8% gleich. Da der erwartete Produktivitätszuwachs dieser Maßnahme geringer ausfällt und die Mitarbeiter gleichzeitig einen höheren Aufwand für die Installation der Bildschirme und die Aufbereitung der Fertigungsunterlagen erwarten, wird Maßnahme 1 für die Umsetzung ausgewählt.

5.4.4 Kontrolle der Verbesserungswirkung

Wird eine Maßnahme zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität umgesetzt, so muss nachfolgend ihre Wirkung kontrolliert werden. Ist eine Maßnahme erfolgreich, so müssen die neu erhobenen Produktivitätsdaten eine Verringerung der adressierten Stellgrößen zeigen. Um dies zu beurteilen, ist es erforderlich nach der Umsetzung erneut die Produktivitätsdaten des entsprechenden Arbeitssystems zu erheben und zu analysieren.

Damit eine Maßnahme tatsächlich die Arbeitsproduktivität steigert, muss außerdem die Kapazität des Arbeitssystems angepasst werden. Dazu bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Unternehmen können zuerst anhand neuer Produktivitätsdaten den Maßnahmenenerfolg durch die Veränderung der entsprechenden Stellgrößen überprüfen und die Kapazität anschließend anpassen. Dies erhöht die Zeitspanne zwischen der Umsetzung der Maßnahme und der tatsächlichen Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Unternehmen können stattdessen die Kapazität auch direkt nach der erfolgreichen Umsetzung der Maßnahme gemäß des prognostizierten Erfolgs anpassen [Grab20, S. 105 f.]. In diesem Fall muss die Kapazität nach der Erfolgskontrolle ggf. nochmals angepasst werden. Darüber hinaus

entstehen eventuell negative Effekte für die Termintreue⁷ des Arbeitssystems, wenn die Wirkung einer Maßnahme schwächer ausfällt als erwartet.

Erfolg keine Anpassung der Kapazität oder lässt sich der Output auf Grund der Nachfragesituation nicht steigern, so kommt es statt zu einer Steigerung der Produktivität zu Verlagerungseffekten zwischen den Regel- und Stellgrößen. Ein wesentlicher Transfereffekt ist dabei ein Anstieg der Stellgröße *kapazitätsbedingte Auslastungsverluste*, da die Mitarbeiter vermehrt auf neue Aufträge warten müssen. Dieser Zusammenhang ist detailliert in Kapitel 7 beschrieben.

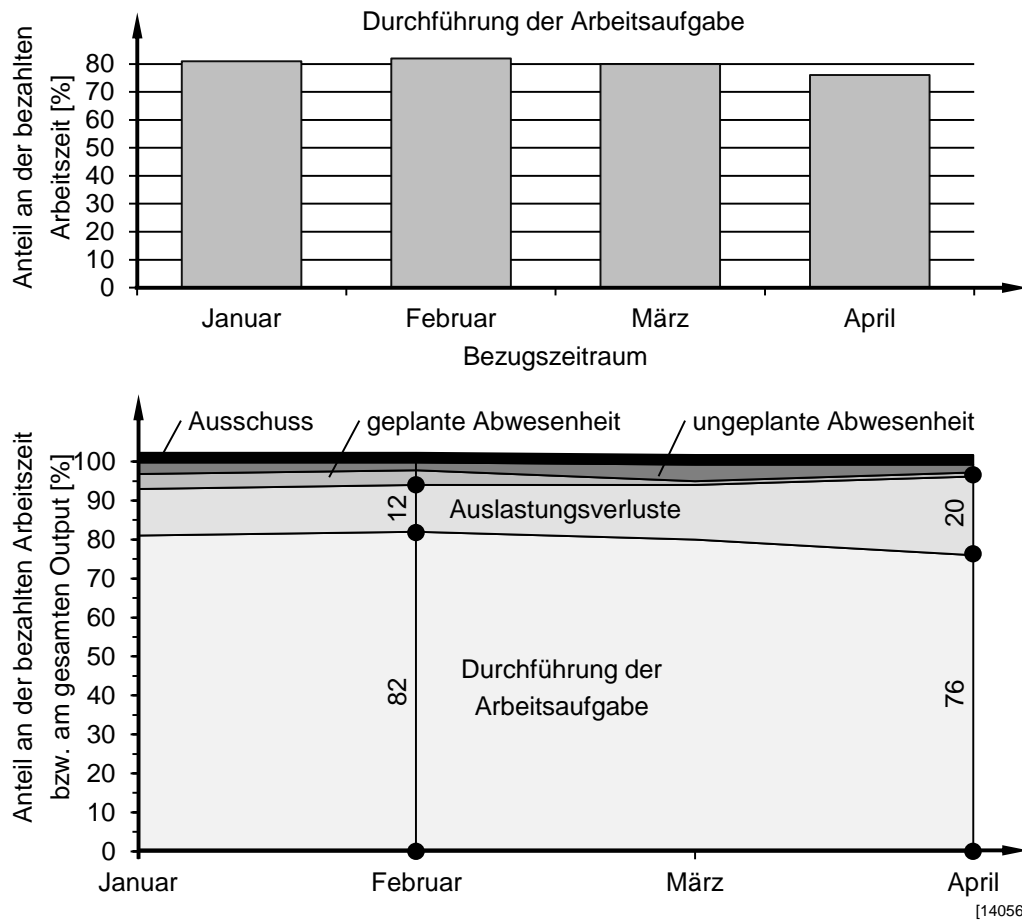


Abbildung 32: Zeitliche Entwicklung der Regelgrößen in Anlehnung an Grabner [Grab20, S. 71f.] (fiktives Beispiel)

⁷ Die genaue Modellierung des Einflusses der Produktivität auf die Termintreue ist in Abschnitt 7.3.3 erläutert

Um solche Situationen aufzudecken, sollte nicht nur die adressierte Stellgröße, sondern die gesamte Arbeitsproduktivität nach der Umsetzung einer Maßnahme untersucht werden. Grabner schlägt daher eine kontinuierliche Erfassung und modellbasierte Auswertung von Produktivitätsdaten vor.

Im fiktiven Beispiel kann die Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* durch die gewählte Verbesserungsmaßnahme reduziert werden (vgl. Abbildung 32 oben). Dies erweckt den Eindruck, dass die Maßnahme wie erwartet positiv auf die Arbeitsproduktivität wirkt. Da allerdings die Fertigungskapazität nicht entsprechend angepasst wird, erhöht sich in gleichem Maße die der Anteil der Regelgröße *Auslastungsverluste* (vgl. Abbildung 32 unten). Es tritt ein Transfereffekt auf und eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität findet nicht statt.

Mit Hilfe der modellbasierten Analyse der Arbeitsproduktivität ist es möglich, solche Situationen zu entdecken und durch weitere Maßnahmen wie die Anpassung der Kapazität zu adressieren.

6 Evaluierung des Arbeitsproduktivitätsmodells

Ziel dieses Kapitels ist die Evaluierung des entwickelten Modells. Dabei soll überprüft werden, ob das Modell der Zielsetzung dieser Arbeit und den Anforderungen gerecht wird. Zuerst erläutert Abschnitt 6.1 dazu das gewählte Vorgehen. Die Abschnitte 6.2 bis 6.4 beschreiben die Ergebnisse des Evaluierungsprozesses.

6.1 Vorgehen zur Evaluierung

Ziel der Arbeit ist es ein Modell zu entwickeln, das gemäß Abschnitt 4.1 die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität erklären und beschreiben kann und die Verbesserung und Prognose der Arbeitsproduktivität unterstützt. Das Modell soll dazu allgemeingültig, vollständig, detailliert und durchgängig sein.

Vor diesem Hintergrund soll die Evaluierung drei Aufgaben erfüllen:

1. *Modellvalidierung*: Die Evaluation soll die formale Richtigkeit und Vollständigkeit des Modells überprüfen und es dadurch validieren. Weil das Modell der Arbeitsproduktivität analytisch abgeleitet wurde, können die abgebildeten Zusammenhänge logisch überprüft werden. Grundidee ist es dazu, die Modelllogik umzukehren und ausgehend von den Stellgrößen des Modells die Zielgröße der Arbeitsproduktivität zu berechnen. Zum einen muss die resultierende Einheit der gewählten Einheit für die Arbeitsproduktivität (Stück/Std.) entsprechen. Zum anderen ist es möglich, über einfache Beispiele die generelle Wirkbeziehung der einzelnen Einflüsse zu auch quantitativ zu überprüfen (z.B. steigende Störungsdauer und sinkende Arbeitsproduktivität). Um die Vollständigkeit des Modells zu überprüfen, erfolgt zunächst ein Abgleich mit der bestehenden Literatur. Dazu werde Quellen ausgewählt, die durch eine empirische Vorgehensweise Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität ermitteln und die nicht bereits bei der Modellbildung einbezogen wurden.
2. *Fallstudien*: Die Anwendbarkeit des Modells wird mit Hilfe von Fallstudien untersucht. Diesem Teil der Evaluierung kommt die größte Bedeutung zu, da dadurch zum einen die Vollständigkeit und der Detaillierungsgrad des Modells überprüft und zum anderen die Allgemeingültigkeit sowie Eignung des Modells zur Verbesserung und Prognose der Arbeitsproduktivität bewertet werden kann. Für die Fallstudien werden Produktivitätsanalysen von verschiedenen Arbeitssystemen mit Hilfe des entwickelten Modells ausgewertet. Ziel dieses Schritts ist es, die Anwendbarkeit des Modells auf die jeweiligen Arbeitssysteme zu beurteilen und zu überprüfen, in welchem Maß die erzeugten Daten zu einer Verbesserung oder Prognose der Arbeitsproduktivität beitragen. Um die Vollständigkeit des Modells weiter zu

bewerten, wird überprüft, ob sich Mitarbeiterzustände, die in Arbeitssystemen erhoben werden, den Stellgrößen des Modells zuordnen lassen. Ist dies nicht der Fall, so ist das Modell um weitere Stellgrößen zu ergänzen, die diese Mitarbeiterzustände widerspiegeln.

3. *Expertenbefragungen*: Die Bewertung der Handhabbarkeit des Modells, soll durch Expertenbefragungen erfolgen. Dazu wird das Modell in einem Anwendungskontext vorgestellt und durch Experten beurteilt. Ziel ist es herauszufinden, ob das Modell nachvollziehbar ist und das Verständnis für die Arbeitsproduktivität und ihre Beeinflussung verbessert. Darüber hinaus beurteilen die Experten die Vollständigkeit des Modells.

Tabelle 15: Überblick über das Evaluationsvorgehen

Konzept		Evaluierung		
Ziele	Anforderungen	Modellvalidierung	Fallstudien	Expertenbefragung
Erklärungsmodell	Vollständigkeit	☒	☒	☒
	Allgemeingültigkeit		☒	☒
	Richtigkeit der Abhängigkeiten	☒	☒	
Verbesserung	Detaillierungsgrad		☒	☒
	Durchgängigkeit		☒	☒
	Handhabbarkeit		☒	☒
Prognose	Detaillierungsgrad		☒	
	Durchgängigkeit		☒	
	Handhabbarkeit		☒	☒

6.2 Modellvalidierung

Ziel der Modellvalidierung ist es, die Vollständigkeit und formale Richtigkeit des entwickelten Modells der Arbeitsproduktivität hinsichtlich seines Zwecks zu überprüfen.

Um die formale Richtigkeit des Modells der Arbeitsproduktivität zu überprüfen, werden die Einheiten der Stell- und Regelgrößen und der Zielgröße verglichen. Da alle input-bezogenen Stell- und Regelgrößen in Stunden erfasst werden und die output-bezogenen Regel- und Bezugsgrößen in Stück, ergibt sich für die Arbeitsproduktivität die Einheit Stück pro Stunde. Anhand des einfachen fiktiven Beispiels in Kapitel 5 kann zudem die Grundsätzliche Wirkbeziehung der Stell- und Regelgrößen erfolgreich nachvollzogen werden. Aus diesem Schritt der Validierung entsteht kein Anpassungsbedarf für das Modell.

Um die Vollständigkeit des Modells zu überprüfen, erfolgt ein Abgleich der im Modell benannten Einflüsse mit denen anderer bestehender Produktivitätsmodelle. Der Grundgedanke des Vorgehens ist, dass das hier beschriebene Arbeitsproduktivitätsmodell nicht vollständig ist, wenn bestehende empirische Modelle Einflüsse beschreiben, die das hier erarbeitete Modell bisher nicht abbilden kann. Gegebenenfalls ist dann eine Erweiterung erforderlich. Auf Grund der unterschiedlichen Herangehensweisen bei der Modellbildung ist es nicht wahrscheinlich, dass ein direkter Vergleich der jeweils beschriebenen Einflüsse möglich ist. Daher werden die verschiedenen Einflüsse anhand ihrer jeweiligen Beschreibung verglichen.

Auf Grund des deduktiven Vorgehens zur Modellbildung werden empirische Modelle für den Abgleich herangezogen. Wichtig dabei ist, dass diese Modelle oder ihre Bestandteile nicht bereits in der Modellbildung einbezogen wurden. Auf Grund der gewählten Vorgehensweise und der Vielzahl der berücksichtigten Einflüsse wird an dieser Stelle das Modell von Jang et al. [Jang11] für den Vergleich der Einflüsse gewählt. Es identifiziert zunächst 30 Einflussfaktoren und ordnet diese 7 Komponenten zu. Eine detaillierte Beschreibung des Abgleichs ist dem Anhang zu entnehmen.

Der Abgleich zeigt, dass sich ein Großteil der von Jang et al. identifizierten Einflüsse durch die Regel- und Stellgrößen des vorgestellten Arbeitsproduktivitätsmodells abbilden lassen. Einige Einflüsse im Modell von Jang et al. lassen sich jedoch nur durch die Aufgaben des Arbeitsproduktivitätsmodells zuordnen. Der von Jang et al. aufgezeigt Aspekt der Arbeitsgruppe findet keine Entsprechung im Arbeitsproduktivitätsmodell, dies kann jedoch vernachlässigt werden, da dieser Einfluss

durch die Autoren selbst als weniger bedeutsam eingeschätzt wird. Aus dem Modellabgleich entsteht daher kein Bedarf zur Anpassung des Modells der Arbeitsproduktivität.

6.3 Fallstudien

In einem weiteren Schritt soll das Modell im Rahmen von Fallstudien eingesetzt werden, um die Funktionalität für die Verbesserung und Prognose der Arbeitsproduktivität zu untersuchen. Gleichzeitig soll die Untersuchung von Fallstudien in verschiedenen Fertigungsformen untersuchen, in wie weit das Modell allgemeingültig und vollständig ist.

Für die erste Fallstudie soll die Arbeitsproduktivität von Montagearbeitsplätzen in der Serienfertigung betrachtet werden (Abschnitt 6.3.1). In der zweiten Fallstudie wird die Arbeitsproduktivität bei der Montage auf Baustellen untersucht (Abschnitt 6.3.2).

6.3.1 Fallstudie 1 – Serienfertigung von Kettensägen

Die erste Fallstudie betrachtet die Montage von Kettensägen in einer Serienfertigung. Die Produktivitätsdaten für die Studie wurden mit Hilfe der Integralen Handlungsorientierten Produktivitätsanalyse nach Czumanski [Czum13]⁸ über einen Zeitraum von 4 Wochen (20 Arbeitstage) erhoben.

Die betrachtete Montagelinie besteht aus 16 Arbeitsstationen, von denen zwei für das Testen der fertig montierten Geräte und eine für die Verpackung der Geräte vorgesehen sind. Insgesamt arbeiten 9 Mitarbeiter in dem Arbeitssystem. 7 der Mitarbeiter sind der Montage, 2 dem Testen und Verpacken der Geräte zugeordnet. Bei dem Arbeitssystem handelt es sich um die Endmontage. Als Output wurden daher die fertig montierten Produkte ohne Mängel erfasst. Auf Grund des Serienproduktions-Charakters des Arbeitssystems waren keine weiteren Modellanpassungen erforderlich.

Die bezahlte Arbeitszeit betrug im Betrachtungszeitraum 1.260 Stunden. Insgesamt produzierte das Arbeitssystem 2.391 Kettensägen. Die Daten wurden zunächst mit Hilfe des Regelgrößenmodells ausgewertet (vgl. Abbildung 33). Das Verhältnis des Outputs von 2.391 produzierten Geräten zu einem Input von 1.260

⁸ Für die Fallstudie wurden Daten aus [Czum13, S. 118-128] entnommen.

Stunden bezahlter Arbeitszeit entspricht einer Arbeitsproduktivität von 1,9 Stück pro Stunde. Im Betrachtungszeitraum wurde kein Ausschuss produziert. Die zugehörige Regelgröße ist daher Null.

Mit 735 Stunden entfällt ein Großteil der bezahlten Arbeitszeit (58%) auf die Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe*. Auf die Regelgröße *Auslastungsverluste* entfällt mit 266 Stunden (21%) rund ein Fünftel der bezahlten Arbeitszeit. Die Regelgrößen *ungeplante* und *geplante Abwesenheit* machen mit 140 und 119 Stunden insgesamt ebenfalls ein Fünftel der bezahlten Arbeitszeit aus.

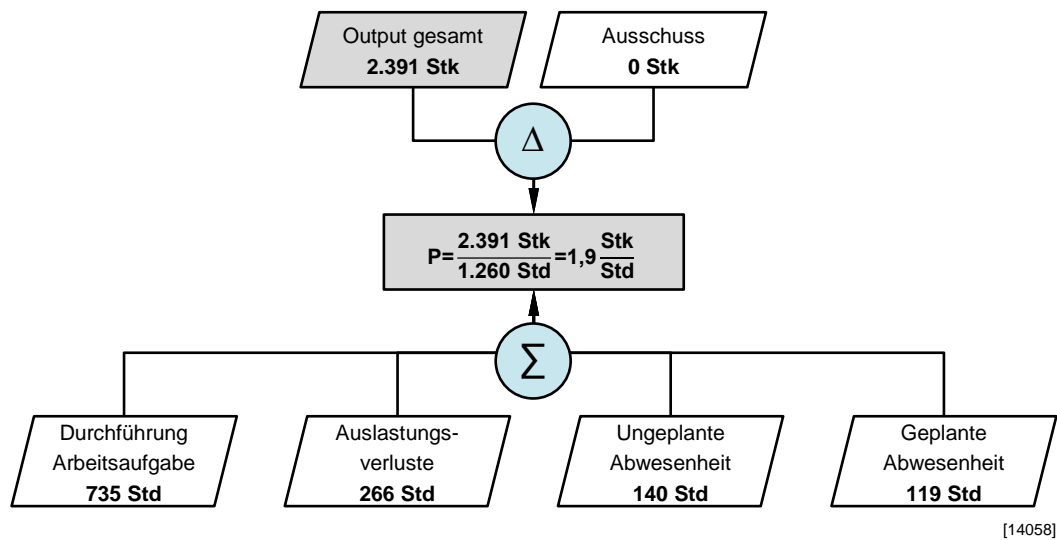


Abbildung 33: Regelgrößenmodell der Arbeitsproduktivität (Fallstudie 1)

Da die Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* den größten Einfluss auf die Arbeitsproduktivität hat, werden im nächsten Schritt diese zugehörigen Stellgrößen untersucht. Abbildung 34 zeigt das entsprechende Stellgrößenmodell.

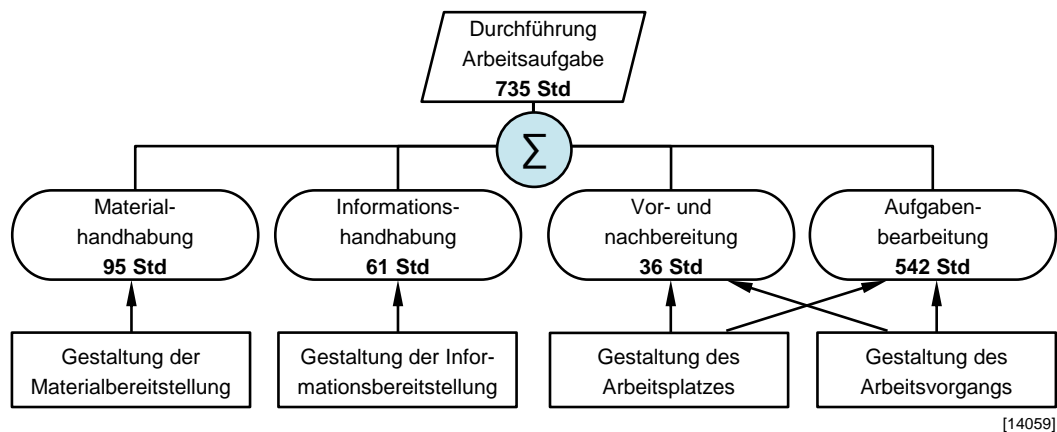


Abbildung 34: Stellgrößenmodell Durchführung der Arbeitsaufgabe (Fallstudie 1)

Hier entfällt der größte Einfluss mit 542 Stunden (74% der *Durchführung der Arbeitsaufgabe*) auf die *Aufgabenbearbeitung*. Danach folgen in weitem Abstand die Stellgrößen *Materialhandhabung* (96 Std.), *Informationshandhabung* (61 Std.) und *Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes* (36 Std.).

Basierend auf diesen Daten können nun Verbesserungspotentiale identifiziert werden. Folgt man der ersten der in Abschnitt 5.4.2 vorgestellten Strategien, so sind die Aufgaben *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* und *Gestaltung des Arbeitsplatzes* zu priorisieren, da die *Aufgabenbearbeitung* den stärksten Einfluss auf die Arbeitsproduktivität hat. Möglichkeiten zur Verbesserung der Regelgröße wären in diesem Zusammenhang die Nutzung besserer Werkzeuge (automatisierte statt Handwerkzeuge) oder die Standardisierung von Arbeitsprozessen. Geht man davon aus, dass sich durch diese Methoden 15% der Zeit für die *Aufgabenbearbeitung* (81 Stunden) einsparen lassen, so ließe sich die Arbeitsproduktivität um ca. 7% steigern.

Verbesserungen der Arbeitsprozesse im Umfeld der Serienproduktion mit bereits stark standardisierten und zum Teil automatisierten Arbeitsprozessen sind häufig mit einem hohen Aufwand verbunden. Die zweite Änderungsstrategie zielt daher auf eine Verbesserung der Regelgrößen *Auslastungsverluste* und *ungeplante Abwesenheit* ab. Im betrachteten Fallbeispiel ist vor allem der vergleichsweise hohe Einfluss der *ungeplanten Abwesenheit* auffällig.

Im Betrachtungszeitraum fehlten Mitarbeiter krankheitsbedingt 140 Stunden. Dies entspricht 20 Arbeitstagen. Eine Reduzierung um 50% (70 Stunden) auf ein übliches Niveau⁹ würde die Arbeitsproduktivität um ca. 6% steigern. Es ließe sich somit also ein vergleichbares Ergebnis wie mit der ersten Strategie erreichen. Da der beobachtete Krankenstand das übliche Maß überschreitet, sollten in diesem Zusammenhang die Aufgaben *ergonomische Arbeitsgestaltung* und *Personalführung* betrachtet werden, um arbeitsbedingte Krankheit zu reduzieren.

6.3.2 Fallstudie 2 – Montagetätigkeit auf Baustellen

Im Rahmen der zweiten Fallstudie wurde die Montage von Versorgungsanlagen auf Baustellen untersucht. Die Daten hierfür wurden mit Hilfe des von Grabner et al. [Grab18] entwickelten Verfahrens erhoben. Dabei wurden Multimoment-Häufig-

⁹ vgl. hierzu [Stat19].

keits-Studien innerhalb einer speziell entwickelten Software auf den mobilen Endgeräten der Mitarbeiter durchgeführt¹⁰ und die Daten aus der Betriebsdatenerfassung des Unternehmens ausgewertet.

Auf Grund des Baustellencharakters dieser Fallstudie musste das Modell, wie im Nutzungskonzept beschrieben, auf das spezifische Arbeitssystem übertragen werden. Als Arbeitsaufgabe wurden alle Tätigkeiten in direktem Zusammenhang mit der Montage der Versorgungsanlagen einschließlich der zugehörigen Prüftätigkeiten ermittelt. Darüber hinaus wurden zahlreiche zusätzliche Tätigkeiten, wie z.B. das Vermessen, Vertriebstätigkeiten und die Teilnahme an Baubesprechungen, von der eigentlichen Arbeitsaufgabe abgegrenzt. Wegen der stark abweichenden Arbeitsinhalte und der fehlenden Vorgabezeiten konnte kein einheitlicher Output für den Untersuchungsbereich bestimmt werden. Dieser wurde daher im Rahmen der Analyse auch nicht erfasst.

Zur Übertragung des Modells wurden einige Modellaufgaben angepasst. Tabelle 16 zeigt alle Anpassungen der im Modell definierten Aufgaben. Die meisten dieser Anpassungen zielen darauf ab, die Begriffe und zuständigen Abteilungen des Fallstudienunternehmens aufzugreifen. Dies betrifft z.B. die Aufgabe *Produktionsplanung und -steuerung*. Da das Unternehmen die Montagearbeiten in Projekten koordiniert, wird im Rahmen der Fallstudie abweichend vom Projektmanagement gesprochen. Bei der Aufgabe Personalplanung (spezifische Bezeichnung: Aufgabenzuordnung und Einsatzplanung) waren zusätzliche inhaltliche Anpassungen notwendig. Auf Grund der großen räumlichen Entfernung zwischen den verschiedenen Arbeitsorten ist im Rahmen der Einsatzplanung auch eine Routenplanung der Monteure enthalten, die in der Modellaufgabe so nicht vorgesehen ist.

¹⁰ bzgl. der Software für die Produktivitätsanalyse siehe [Grab18].

Tabelle 16: Abweichende Aufgaben für das Arbeitsproduktivitätsmodell (Fallstudie 2)

Aufgabe im Modell der Arbeitsproduktivität	Übertragene Aufgabe
Gestaltung des Arbeitsplatzes	Gestaltung der Hilfsmittel und Maschinen
Personalplanung	Aufgabenzuordnung Einsatzplanung
Produktionsplanung und -steuerung	Projektmanagement
Instandhaltung	Instandhaltung Störungsmanagement

Die Datenerhebung umfasst 16 Anlagentechniker. Über einen Zeitraum von vier Wochen wurden 1.962 Stichproben erhoben. Die gesamte bezahlte Arbeitszeit belief sich auf 2.560 Stunden. Auf Grund bestehender Betriebsvereinbarungen wurde die Daten für die Regelgrößen *ungeplante* und *geplante Abwesenheit* nur gemeinsam erfasst. Eine differenzierte Betrachtung der Regelgrößen ist für diese Fallstudie daher nicht möglich. Durch die Erhebungsmethode konnten 94% der bezahlten Arbeitszeit erfasst werden. Die dargestellten Regelgrößen spiegeln daher nicht 100% der bezahlten Arbeitszeit wider. Allerdings konnten 99% der erfassten Arbeitszeit den Regel- und Stellgrößen zugeordnet werden.

Das Regelgrößenmodell für das Arbeitssystem in dieser Fallstudie ist in Abbildung 17 dargestellt. Im Gegensatz zur ersten Fallstudie ist der Einfluss der Regelgröße *Auslastungsverluste* mit 885 Stunden (ca. 35%) in der zweiten Fallstudie deutlich größer. Dies geht zu Lasten des Einflusses der *Durchführung der Arbeitsaufgabe* mit 1024 Stunden (ca. 40%). Der Anteil der Regelgrößen für die Abwesenheit der Mitarbeiter hat hingegen mit 492 Stunden (ca. 20%) einen mit der ersten Fallstudie vergleichbaren Einfluss auf die Arbeitsproduktivität.

Wegen des hohen Einflusses der *Auslastungsverluste* und der *Durchführung der Arbeitsaufgabe* wurden die zugehörigen Stellgrößen näher untersucht (vgl. Abbildung 36). Die Auswertung zeigt, dass die Stellgröße *zusätzliche Tätigkeiten* mit 753 Stunden (ca. 29%) den stärksten Einfluss auf die *Auslastungsverluste* und die Arbeitsproduktivität hat. Dies ist zum Teil dadurch bedingt, dass die Mitarbeiter neben ihrer eigentlichen Arbeitsaufgabe häufig zusätzliche Tätigkeiten wie z.B. die Teilnahme an Baubesprechungen wahrnehmen. Andere Stellgrößen, die den *Auslastungsverlusten* zugeordnet sind, haben hingegen kaum Einfluss.

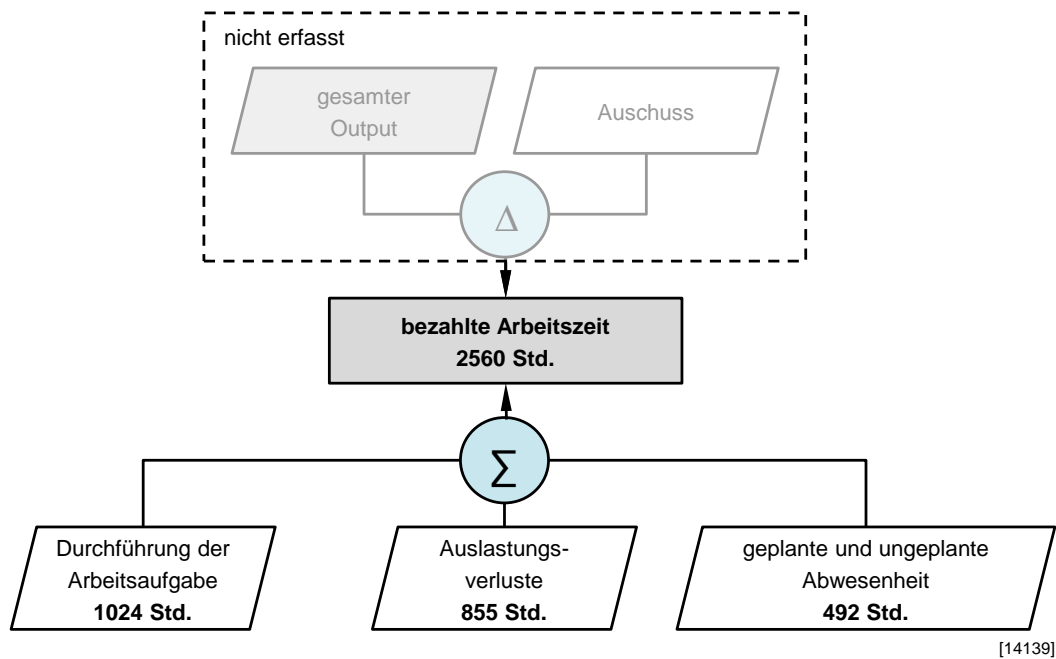


Abbildung 35: Regelgrößenmodell der Arbeitsproduktivität (Fallstudie 2)

Bei der Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* haben die Stellgrößen *Aufgabenbearbeitung* mit 590 Stunden (ca. 23%) und *Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes* mit 269 Stunden (ca. 10%) den stärksten Einfluss. *Informationshandhabung* und *Materialhandhabung* spielen eine untergeordnete Rolle in Bezug auf die Arbeitsproduktivität des betrachteten Falls. Auf Grund der Daten zu den Regelgrößen *geplante* und *ungeplante Abwesenheit* ist eine Analyse der Stellgrößen in diesem Bereich nicht möglich.

Die Analyse der Stellgrößen verdeutlicht, dass das Unternehmen die Aufgabe Personalplanung (spezifische Bezeichnung im Unternehmen: Einsatzplanung und Aufgabenzuordnung) priorisieren sollte. Zum einen adressieren diese Aufgaben die Stellgröße mit dem stärksten Einfluss, zum anderen können Maßnahmen in diesem Bereich wahrscheinlich mit geringerem Aufwand umgesetzt werden.

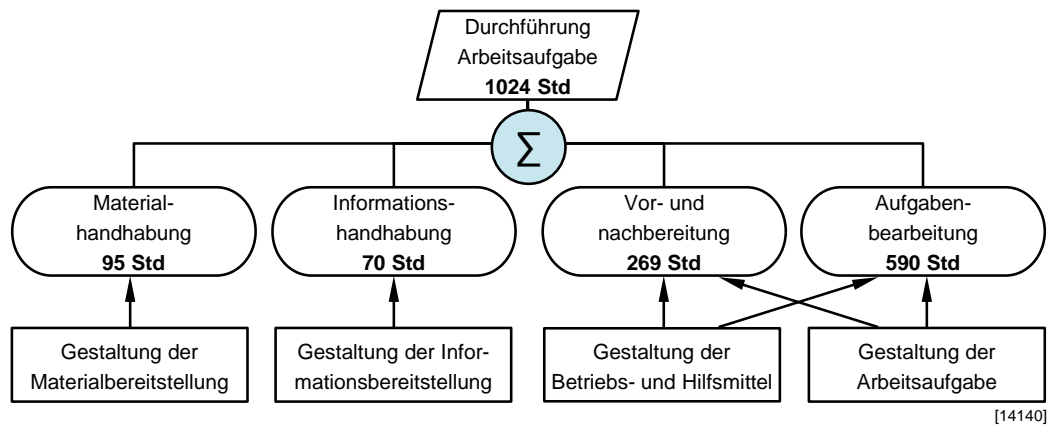


Abbildung 36: Stellgrößenmodell *Auslastungsverluste* (Fallstudie 2)

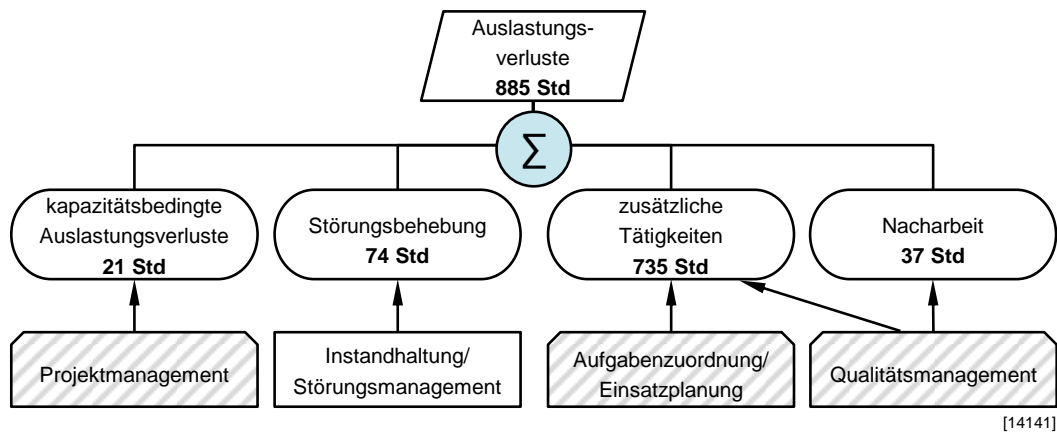


Abbildung 37: Stellgrößenmodell *Durchführung der Arbeitsaufgabe* (Fallstudie 2)

Im Rahmen der Fallstudie wurden mit den Verantwortlichen zwei Maßnahmen zur Verbesserung der Personalplanung diskutiert: Die erste Maßnahme betrifft die Angebotserstellung und Beauftragung durch die Kunden. Hier sollen bisher unbezahlte Tätigkeiten der Mitarbeiter, die einen Mehrwert für die Kunden bieten, in die Angebote aufgenommen werden, sodass die Kunden für diese zusätzlichen Leistungen bezahlen. Die betroffenen zusätzlichen Tätigkeiten wären dann zukünftig Teil der regulären Arbeitsaufgabe. Die zweite Maßnahme zielt auf eine bessere Kommunikation der Verantwortlichkeiten mit den Mitarbeitern ab. Dies soll erreichen, dass die Mitarbeiter weniger zusätzliche Tätigkeiten wahrnehmen, die für den Kunden keinen oder nur einen geringen Mehrwert bieten.

Eine Fokussierung auf die Aufgaben *Gestaltung der Arbeitsaufgabe* oder *Gestaltung der Hilfsmittel und Maschinen* scheint im Untersuchungsbereich hingegen weniger vielversprechend, da auf Grund des Baustellencharakters bei der Montage

nur wenige Möglichkeiten zur Einflussnahme bestehen. Trotzdem sind auch in diesem Bereich Verbesserungsmaßnahmen möglich. Im Rahmen der Fallstudie wurde mit den Verantwortlichen z.B. eine Verbesserung der Informationen zu den Baubereichen diskutiert. So wäre es möglich den Aufwand für die Baustelleneinrichtung zu reduzieren, wenn schon bei der Angebotserstellung genauere Informationen über die Baubereiche zur Verfügung stehen und den Monteuren zugänglich gemacht werden.

Um die Wirkung der Verbesserungsmaßnahmen abzuschätzen zu können, kann im Rahmen dieser Fallstudie nur die bezahlte Arbeitszeit herangezogen werden, weil Informationen über den Output fehlen. Dazu wird eine Verkürzung der benötigten bezahlten Arbeitszeit mit einer Produktivitätsverbesserung gleichgesetzt. Können z.B. die *zusätzlichen Tätigkeiten* um 15% (113 Stunden) reduziert werden, so würde dies die für den gleichen Output erforderliche Arbeitszeit um 4,6% reduzieren. Es ist zu erwarten, dass sich die Arbeitsproduktivität bei unverändertem Output um denselben Wert verbessert, auch wenn eine genaue Abschätzung der Veränderung auf Grund der fehlenden Informationen nicht möglich ist.

6.4 Expertenbefragungen

Letzter Bestandteil des Evaluierungsvorgehens ist die Befragung von Experten aus einem produzierenden Großunternehmen. Ziel dieses Evaluationsschrittes ist es, die Vollständigkeit und Allgemeingültigkeit des Modells weiter zu bewerten sowie die Eignung des Modells als Ausgangspunkt für die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen zu überprüfen. Im Weiteren war zu klären, ob das Modell selbst nachvollziehbar und verständlich aufgebaut ist und dazu beiträgt, die Arbeitsproduktivität und ihre Einflussgröße besser zu verstehen. Die Gruppe der Befragten bestand aus 13 Personen mit jeweils mehrjähriger Erfahrung auf dem Gebiet des Produktivitätsmanagements:

- 1 Leiter eines Produktionsbereiches
- 3 Leiter einer Produktionslinie
- 1 Teamleiter eines Produktionsbereichs
- 1 Mitarbeiter der Personalabteilung
- 1 Controller / Betriebsrat
- 2 Projektingenieure (Schwerpunkt Produktivitätssteigerung)
- 3 Programm-Manager für Shop-Floor-Projekte
- 1 Continuous Improvement Manager

Hierfür wurde ein Fragebogen mit 6 Thesen erarbeitet, die über eine 7-Punkte Likert-Skala hinsichtlich Zustimmung oder Ablehnung bewertet werden sollten. Dabei entsprach der niedrigste Wert (-3) einer vollständigen Ablehnung und der

höchste Wert (+3) einer vollständigen Zustimmung zu einer These. Der Befragung vorgelagert war ein umfangreicher Workshop, der Aufbau und Nutzung des Modells erläuterte.

Die durchgeführten Expertenbefragungen sollen nicht dazu dienen, die grundsätzliche Eignung des Modells durch signifikante Ergebnisse zu belegen. Dies ist angesichts der geringen Stichprobengröße nicht möglich. Stattdessen sollen durch die persönliche Befragung und den, der Befragung vorgelagerten, Workshop qualifizierte und detaillierte Einzelaussagen erfasst werden. Ziel ist es mit diesen detaillierten Aussagen kleinere Probleme bei der Modellanwendung zu erkennen und das Modell entsprechend anzupassen.

In Hinblick auf die Vollständigkeit und Allgemeingültigkeit des Modells wurden zwei Aussagen formuliert. Die Ergebnisse der Befragung sind in Abbildung 38 dargestellt.

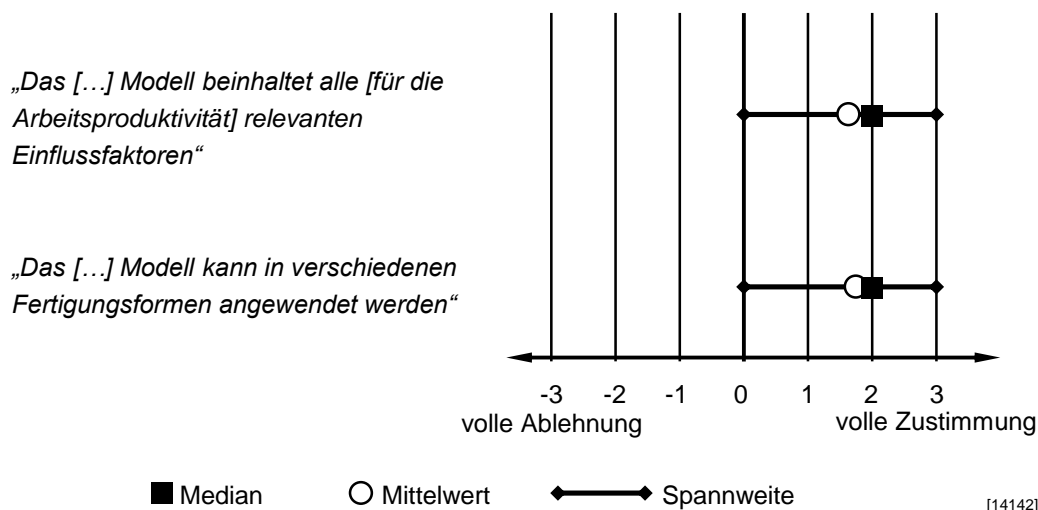


Abbildung 38: Zustimmung der Teilnehmer zu Aussagen über Vollständigkeit und Allgemeingültigkeit des Modells

Die Teilnehmer der Befragung bewerteten das Modell dahingehend als vollständig, dass alle relevanten Einflussgrößen enthalten sind. Neun der befragten Personen bewerten die entsprechende Aussage positiv (2) oder sehr positiv (3). Die Teilnehmer befanden außerdem, dass das Modell in verschiedenen Fertigungsformen anwendbar und somit allgemeingültig ist. Hier bewerten immer noch acht der befragten 13 Personen die zugehörige Aussage positiv oder sehr positiv.

In Hinblick auf den Handlungsbezug und die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen bewerteten die Teilnehmer, ob anhand des Modells und einer geeigneten Datengrundlage Maßnahmen für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität abgeleitet werden können. In diesem Zusammenhang wurde auch erfragt, inwieweit die Teilnehmer der Befragung die Modellierung der Arbeitsproduktivität als Ausgangspunkt für Verbesserungen befürworten. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um auszuschließen, dass die Befragten das Modell kritisch bewerten, weil sie den Nutzen einer modellbasierten Vorgehensweise in Frage stellen. Abbildung 39 zeigt die Ergebnisse der Befragung in diesem Bereich.

Die Befragten bewerten die Nutzung eines Wirkmodells als Grundlage für die Verbesserung sehr positiv. Die Eignung des Modells der Arbeitsproduktivität zur Ableitung geeigneter Maßnahmen wird jedoch als weniger gut beurteilt. Zwei der Befragten bewerten dabei sowohl das modellbasierte Vorgehen als auch das Modell selbst als weniger hilfreich zur Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen. Vier Befragte bewerten sowohl das Vorgehen als auch den Nutzen des Modells positiv (2) oder sehr positiv (3). Sieben Befragte bewerten Vorgehen und den Modellnutzen ambivalent, fünf bewerten das modellbasierte Vorgehen positiv oder sehr positiv, die Eignung des Modells jedoch als weniger geeignet (1) bzw. neutral (0). Zwei der Befragten bewerten die Eignung des Modells positiver als ein grundsätzlich modellbasiertes Vorgehen.

„Ein Wirkmodell [...] ist für eine zielgerichtete und nachhaltige Verbesserung der Arbeitsproduktivität erforderlich.“

„Das Modell hilft dabei, geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität abzuleiten.“

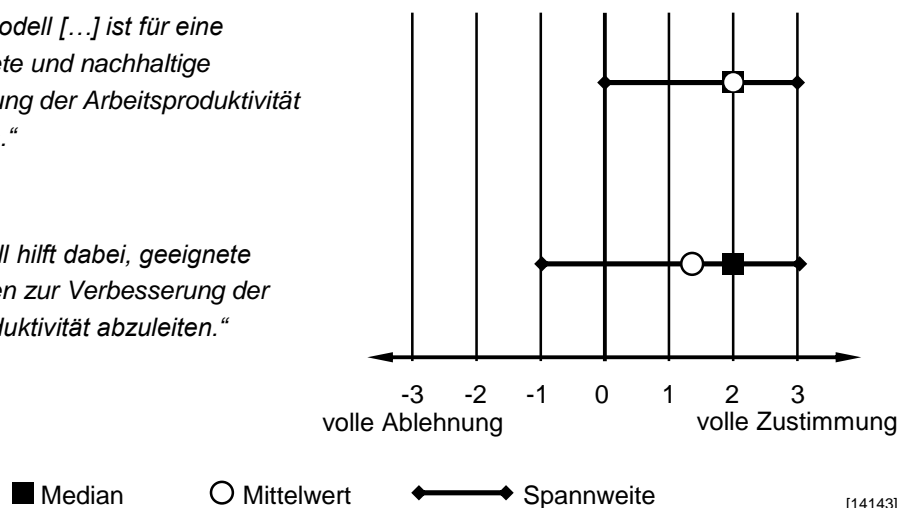


Abbildung 39: Zustimmung der Teilnehmer zu Aussagen über den Modellnutzen zur Ableitung von Maßnahmen

Darüber hinaus bewerten die Teilnehmer der Befragung das Modell als verständlich und nachvollziehbar und geben an, dass das Modell das Verständnis über die

Arbeitsproduktivität und die zugehörigen Einflussfaktoren verbessert (vgl. Abbildung 40).

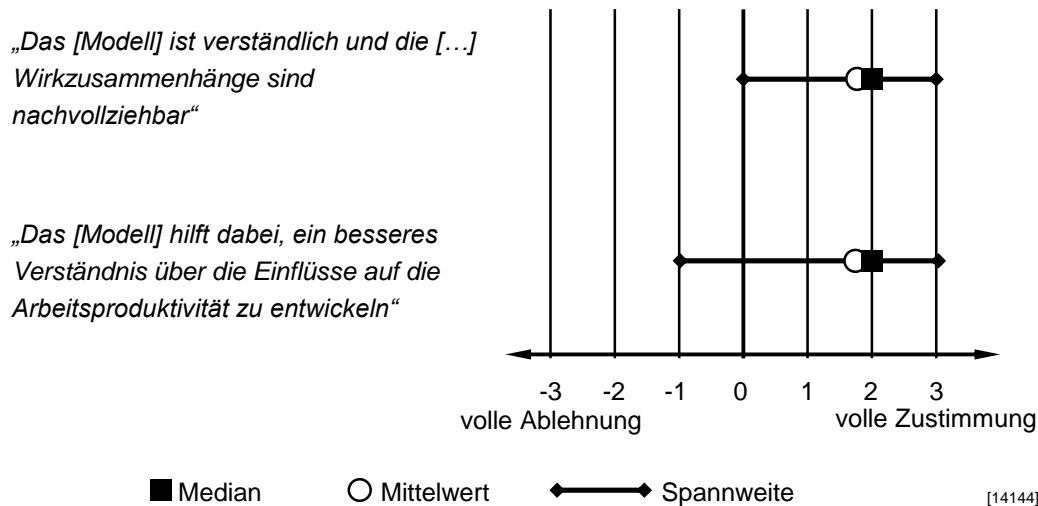


Abbildung 40: Zustimmung der Teilnehmer über Aussagen zu Verständlichkeit und Erklärwert des Modells

In der Befragung bewerten die Experten aus dem Produktivitätsmanagement die Aussage, dass das vorgestellte Modell die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen unterstützt, insgesamt zwar als eher positiv, allerdings bewerten nur 5 der 13 Experten die Aussage positiv oder sehr positiv. Die Befragten bemängeln in diesem Zusammenhang, dass das Modell zwar in der Lage ist, Potentiale aufzuzeigen und zu priorisieren, allerdings sind für die Ableitung konkreter Maßnahmen weitere arbeitssystembezogene Informationen und Erfahrungen erforderlich. Das Modell liefert zudem kein Vorgehen für die Maßnahmenableitung und erlaubt es nicht, den Aufwand einer Maßnahme zu beurteilen. Eine Priorisierung ist damit nur anhand des potenziellen Einflusses auf die Arbeitsproduktivität möglich. Andere geschäftliche Rahmenbedingungen werden ausgeblendet.

6.5 Fazit der Modellevaluierung

Die Evaluation des vorgestellten Arbeitsproduktivitätsmodells verfolgt im Wesentlichen drei Ziele. Zum einen sollen die Vollständigkeit, Allgemeingültigkeit und Richtigkeit der im Modell formulierten Zusammenhänge überprüft werden, zum anderen ist die Eignung des Modells als Grundlage für die zielgerichtete Verbesserung der Arbeitsproduktivität und die Prognose von Produktivitätsveränderungen zu bewerten.

Vollständigkeit der betrachteten Einflussgrößen

Die Vollständigkeit der im Modell berücksichtigten Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität ist eine zentrale Zielgröße der Evaluierung, da die Vollständigkeit maßgeblich zur Modellgüte beiträgt. Aus diesem Grund wird die Vollständigkeit des Modells in allen drei Schritten der Evaluation adressiert.

Im Rahmen der Modellvalidierung wird das analytische erzeugte Modell mit einem empirisch erzeugten Modell der Arbeitsproduktivität abgeglichen (vgl. Abschnitt 6.2). Durch den Vergleich wird deutlich, dass das empirische Modell nur einen Einfluss aufzeigt, der durch das hier entwickelte Modell der Arbeitsproduktivität unberücksichtigt bleibt. Andere Einflüsse können direkt durch die Stellgrößen oder indirekt durch die zugeordneten Aufgaben abgebildet werden. Vor diesem Hintergrund kann das Modell als vollständig angesehen werden.

Anhand der durchgeführten Fallstudien lässt sich überprüfen, ob in den untersuchten Arbeitssystemen Einflüsse zu beobachten waren, die nicht durch das Modell abgebildet werden. In der ersten Fallstudie konnten alle erfassbaren Einflüsse durch das Modell der Arbeitsproduktivität abgebildet werden. In der zweiten Fallstudie wurde nur die bezahlte Arbeitszeit untersucht. Hier ließen sich auch nahezu alle beobachteten Zustände den entsprechenden Regel- und Stellgrößen zuordnen. Der Anteil der nicht-zuordenbaren Zustände ist dabei kleiner 1%.

Die Ergebnisse der ersten beiden Evaluierungsschritte in Bezug auf die Vollständigkeit des Modells lassen sich durch die durchgeführte Befragung von Experten aus dem Bereich des Produktivitätsmanagements bestätigen. Hier bewerten neun von 13 Befragten die Aussage, dass das Modell alle relevanten Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität abbildet, als positiv oder sehr positiv.

Grabner [Grab20] greift das Modell der Arbeitsproduktivität zudem für sein methodengestütztes Produktivitätsmanagement auf. Im Rahmen dieser Arbeit nutzt er das Modell als Grundlage für die Analyse und zielgerichtete Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Das Modell wurde daher neben den hier aufgeführten Fallstudien auch in einer Reihe anderer Arbeitssysteme erfolgreich getestet.

Allgemeingültigkeit

Zur Bewertung der Allgemeingültigkeit des geschaffenen Modells wurden im Rahmen der Evaluierung die Fallstudien und die Befragungen herangezogen. Durch die Fallstudien war es möglich, das Modell in zwei sehr unterschiedlichen Fertigungsformen einzusetzen. In der ersten Fallstudie, die eine Serienfertigung untersucht, war es möglich, das Modell ohne Anpassungen einzusetzen. Auch in der

zweiten Fallstudie, die die Montage auf Baustellen untersucht, war der Einsatz des Modells problemlos möglich. Hier wurden Anpassungen an den zugeordneten Aufgaben vorgenommen. Diese Änderungen dienten hauptsächlich dazu, die Aufgaben an die Begriffe des Unternehmens anzupassen.

Die Ergebnisse der Fallstudienuntersuchung lassen sich erneut durch die Ergebnisse der Expertenbefragung bestätigen. Hier bewerteten die Befragten die Aussage, ob das Modell in verschiedenen Fertigungsformen anwendbar ist, im Mittel als positiv. Acht der 13 befragten Personen bewerteten die entsprechende Aussage als positiv oder sehr positiv.

Richtigkeit der beschriebenen Abhängigkeiten

Durch die Berechnung der Arbeitsproduktivität aus ihren Stellgrößen und den Abgleich der genutzten Einheiten konnte die formale Richtigkeit der im Modell beschriebenen Abhängigkeiten nachgewiesen werden. So war es sowohl mit einfachen fiktiven Beispielen als auch im Rahmen der Fallstudien möglich, anhand der Regel- und Stellgrößen die Arbeitsproduktivität korrekt zu berechnen. Dies gelang für die Berechnung der Arbeitsproduktivität in der ersten Fallstudie und die Berechnung der bezahlten Arbeitszeit in der zweiten Fallstudie.

Modellgrundlage für die Maßnahmenableitung

Das zweite wesentliche Ziel der Evaluierung war es zu überprüfen, inwieweit das hier beschriebene Modell der Arbeitsproduktivität eine belastbare Grundlage für die zielgerichtete Verbesserung der Arbeitsproduktivität bildet. Eine wesentliche Fragestellung in dieser Hinsicht war, ob das Modell die Ableitung von Maßnahmen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität wirkungsvoll unterstützt.

Im Rahmen der Fallstudien war es möglich, auf Basis der vorliegenden Produktivitätsdaten und des Modells der Arbeitsproduktivität diesbezügliche Aufgaben zu priorisieren. Auf Grund des hohen Detaillierungsgrades der Stellgrößen des Modells ist es zudem möglich, Maßnahmen bzw. Vorschläge für die Verbesserung der Produktivität abzuleiten.

In der Befragung bewerten die Experten aus dem Produktivitätsmanagement die Eignung des Modells als Grundlage für die zielgerichtete Verbesserung der Arbeitsproduktivität prinzipiell positiv. Einzelne Experten bemängeln jedoch, dass das Modell über eine Priorisierung von Aufgabenfeldern hinaus kaum Hilfestellungen zur Ableitung von Maßnahmen bietet.

Prognose der Arbeitsproduktivität

Als letztes Ziel der Evaluierung war zu ermitteln, ob die Auswirkung veränderter Einflüsse auf die Produktivität mit Hilfe des vorgestellten Modells prognostiziert werden können.

Im Rahmen der Fallstudien war es möglich, die Auswirkung konkreter Änderungen der Regel- und Stellgrößen auf die Arbeitsproduktivität zu bestimmen. Zudem ist es durch die verknüpften Aufgaben möglich, den Einfluss von Verbesserungsmaßnahmen oder Umwelteinflüssen auf die Arbeitsproduktivität abzuschätzen. Dies setzt voraus, dass die Maßnahme oder der Einfluss den formulierten Aufgaben zugeordnet und ihre Wirkung auf die Stellgrößen des Modells abgeschätzt werden kann. Die Genauigkeit solcher Prognosen ist damit in erster Linie von der Genauigkeit dieser Schätzung abhängig. Das Modell selbst liefert jedoch kein standardisiertes Vorgehen für die Abschätzung

Auf Grund des hohen Detaillierungsgrades ist die Wirkung auf die Arbeitsproduktivität anhand einzelnen Wirkmechanismen nachvollziehbar. Der Einfluss von Maßnahmen auf die Stellgrößen kann so theoretisch genauer eingeschätzt werden, da die einzelnen Wirkmechanismen leichter zu beurteilen sind. Dies konnte im Rahmen der Evaluierung jedoch nicht überprüft werden. Außerdem war es nicht möglich, die Genauigkeit der Prognose in den Fallstudien zu überprüfen. Dies hätte es erforderlich gemacht, nach der Umsetzung einzelner Maßnahmen erneute Analysen der Regel- und Stellgrößen sowie der Arbeitsproduktivität durchzuführen. Auf Grund der großen Zeiträume, die für die erfolgreiche Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen erforderlich sind, war dies im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

7 Kopplung der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen

Dieses Kapitel untersucht die Wechselwirkungen zwischen den Zielgrößen der PPS und der Arbeitsproduktivität. Dazu stellt Abschnitt 7.1 zunächst den Zusammenhang zwischen den Größen Kapazität, Produktivität und Abgang her. Abschnitt 7.2 zeigt danach eine Modellierung der Wechselwirkungen zwischen Arbeitsproduktivität und PPS mit Hilfe von Kennlinien auf. Abschnitt 7.3 führt abschließend eine Modellvalidierung durch.

7.1 Vorgehen zur Modellkopplung

Es existieren verschiedene Modelle, um die logistischen Zielgrößen in belastbarer und quantitativer Form zu beschreiben. Um ein Kopplungsmodell zwischen Arbeitsproduktivität und den logistischen Zielgrößen zu schaffen, ist es daher naheliegend, die bestehenden logistischen Modelle entsprechend zu erweitern.

Das Modell der Arbeitsproduktivität zeigt bereits Einflüsse der PPS auf die Arbeitsproduktivität auf. Um ein quantitatives Kopplungsmodell abzuleiten, ist es notwendig, gemeinsame Größen in den jeweiligen Modellen zu identifizieren. Das Modell der Fertigungssteuerung nach Lödding [Lödd16] gibt einen Überblick über die logistischen Zielgrößen und die zugehörigen Einflüsse. Es bildet daher einen geeigneten Ausgangspunkt für das Kopplungsmodell. Wie das Modell der Arbeitsproduktivität nutzt es Regel- und Stellgrößen, um die Einflüsse auf die logistischen Zielgrößen zu beschreiben.

Eine vergleichbare Vorgehensweise zur Modellierung der Arbeitsproduktivität bildet in dieser Arbeit zunächst die Ableitung des allgemeinen Zusammenhangs zwischen der Arbeitsproduktivität und dem Produktivitätsmanagement auf der einen Seite und den logistischen Zielgrößen und der PPS auf der anderen. Abschnitt 7.2 erzeugt dazu ein einheitliches Begriffsbild der Größen Leistung, Kapazität und Produktivität. Abschnitt 7.3 erweitert das Modell der Fertigungssteuerung um die Wechselwirkungen zwischen der Produktivität und den logistischen Zielgrößen. Anschließend werden detaillierte Berechnungsgleichungen mit Hilfe bekannter Zusammenhänge aus dem Trichtermodell abgeleitet, insbesondere aus den logistischen Kennlinien nach Nyhuis und Wiendahl [Nyhu12] und aus der Modellierung der Termintreue nach Dombrowski [Domb88], Yu [Yu01] und Kuyumcu [Kuyu13] abgeleitet.

7.2 Verknüpfung von Kapazität, Produktivität und Abgang

Um die Wechselwirkungen zwischen Arbeitsproduktivität und logistischen Zielgrößen zu bestimmen, werden zunächst die Größen Kapazität, Produktivität und Abgang in einen Zusammenhang gebracht. Danach wird mit Hilfe des Modells der Fertigungssteuerung der Einfluss der Arbeitsproduktivität auf die logistischen Zielgrößen bestimmt.

Der Begriff „Abgang“ entstammt dem Gegenstandsbereich der PPS und ist definiert als die Menge der geleisteten Arbeit in einem Betrachtungszeitraum [Nyhu12, S. 26]. Diese Definition des Abgangs entspricht dem Output in der grundlegenden Produktivitätsgleichung (Gl. 2.1). Beide betrachteten Größen können in verschiedenen Einheiten erfasst werden. Im Rahmen der Arbeitsproduktivität wird der Output oder Abgang häufig in Stück oder in Vorgabestunden erfasst. Bei der Modellierung der logistischen Zielgrößen ist die Erfassung in Vorgabestunden oder Anzahl Aufträgen verbreitet. Die Wahl der jeweiligen Größe ist dabei für die Nutzung der Modelle weitestgehend unerheblich, und es ist darüber hinaus einfach möglich, die Einheiten ineinander zu überführen

Tabelle 17: Vor- und Nachteile verschiedener Erfassungsarten für den Abgang/ Output eines Arbeitssystems

Einheit	Vorteil	Nachteil
Vorgabestunden [Std.]	- hohe Vergleichbarkeit bei heterogener Produktstruktur und schwankenden Losgrößen	- Planzeiten erforderlich - Produktivitätsveränderung nur bedingt messbar
Anzahl an Aufträgen [Stk.]	- einfache Erfassung	- geringe Vergleichbarkeit bei schwankenden Losgrößen und heterogenen Produkten
Anzahl produzierter Einheiten [Stk.]	- einfache Erfassung	- geringe Vergleichbarkeit bei heterogenen Produkten

Tabelle 17 stellt die Vor- und Nachteile der verschiedenen Erfassungsarten für den Abgang/Output gegenüber. Im einfachen Fall einer Fertigung mit homogenen Produkten ist die Erfassung des Abgangs in Anzahl der Aufträge bzw. in Stück möglich. Dies hat den Vorteil eines geringen Aufwands. Eine Erfassung des Abgangs in Anzahl der Aufträge setzt jedoch homogene Losgrößen der Aufträge voraus, da sonst die Menge der verrichteten Arbeit schwankt. Für den Fall unterschiedlicher Produkte und schwankender Losgrößen ist eine Erfassung in Vorgabestunden am

besten geeignet. Dies setzt allerdings verlässliche und aktuelle Vorgabezeiten für die verschiedenen Produkte voraus. Bei der Erfassung des Abgangs durch Vorgabestunden ist zudem zu beachten, dass nicht alle Veränderungen der Produktivität so abgebildet werden können. Da Verbesserungen bei der *Durchführung der Arbeitsaufgabe* den Arbeitsaufwand und damit die Vorgabezeit reduzieren, schlagen sich diese Verbesserungen bei einer Erfassung in Vorgabestunden nicht in einem gesteigerten Output nieder. Sollen trotzdem Vorgabestunden zur Erfassung des Abgangs genutzt werden, ist es erforderlich, die ursprünglichen Vorgabezeiten zu dokumentieren und zu vergleichen.

Um eine einheitliche Darstellung des Kopplungsmodells zu gewährleisten, wird der Abgang im Folgenden als Anzahl der produzierten Einheiten erfasst.

In ähnlicher Form, wie der Output der Produktivitätsgleichung dem Abgang des Trichtermodells entspricht, sind der Input der Produktivitätsgleichung und der Kapazitätsbegriff der PPS miteinander verknüpft. Allerdings können die Größen Kapazität und Input bzw. die bezahlte Arbeitszeit nicht einfach gleichgesetzt werden. In der PPS existieren verschiedene Beschreibungen der Kapazität von Arbeitssystemen. Nyhuis und Wiendahl nutzen beispielsweise die Begriffe Kapazität, verfügbare Kapazität und nutzbare Kapazität. Sie unterscheiden zusätzlich zwischen der Kapazität der Betriebsmittel und der Personalkapazität [Nyhu12, S. 66f.]. Die Personalkapazität wird durch die Anzahl der Mitarbeiter, die Anzahl der Schichten pro Tag und die Arbeitszeit pro Schicht bestimmt (Gl. 7.1).

$$KAPA = ANZ_{MA, S} \cdot ANZ_S \cdot ZA_S \quad 7.1$$

mit KAPA : Kapazität (personal) [Std./BKT]
ANZ_{MA} : Anzahl der Mitarbeiter pro Schicht [-]
ANZ_S : Anzahl der Schichten pro Tag [-/BKT]
ZA_S : Arbeitszeit pro Schicht [Std.]

Auf Grund von Krankheit, Urlaub und Störungen verringert sich die nutzbare Personalkapazität. Darüber hinaus bestimmt der Leistungsgrad, wie gut sich die verfügbare Kapazität in nutzbare Kapazität überführen lässt. Die nutzbare Kapazität ist mit der maximalen Leistung gleichzusetzen (vgl. Abbildung 41) [Nyhu12, S. 66f.].

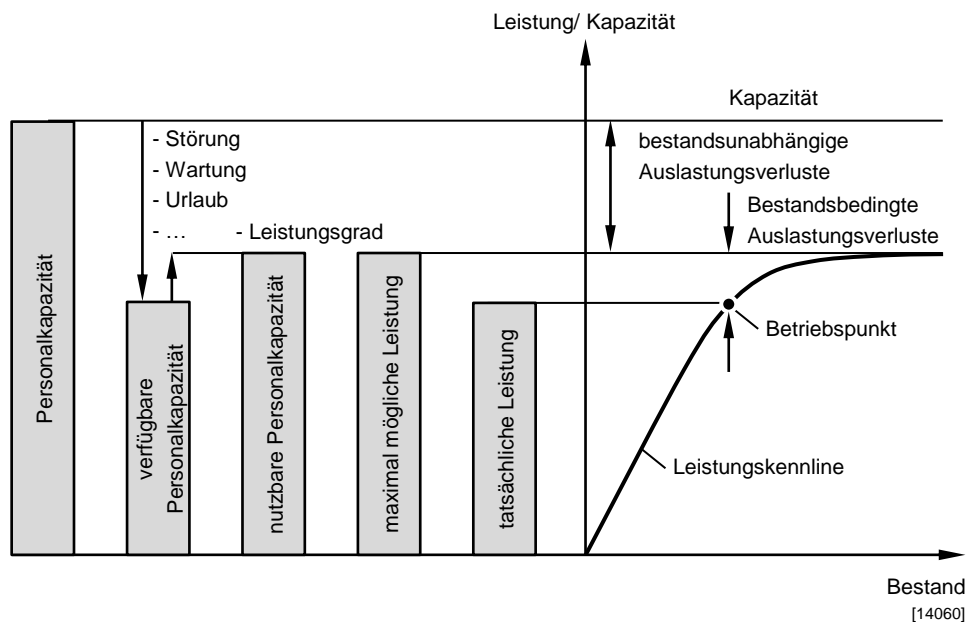


Abbildung 41: Kapazität und Leistung nach Nyhuis und Wiendahl
[Nyhu12 S. 66]

Die Einflüsse, die Nyhuis und Wiendahl zur Beschreibung der verschiedenen Kapazitätsgrößen nutzen, werden durch das Modell der Arbeitsproduktivität aufgegriffen. Daher lässt sich die Kapazität in die bezahlte Arbeitszeit überführen. Da die Kapazität die im Arbeitssystem verfügbare Arbeitszeit pro BKT angibt, muss sie zur Berechnung der gesamten bezahlten Arbeitszeit mit der Länge des Betrachtungszeitraums multipliziert werden.

Die Leistung eines Arbeitssystems ist analog zur physikalischen Größe als Quotient von geleisteter Arbeit und Zeit definiert. Die Leistung im Kontext des Arbeitssystems kann in Stück, Vorgabestunden oder als Anzahl der Aufträge pro Betriebskalendertag erfasst werden. Für eine gemeinsame Betrachtung von Produktivität und Leistung eignet sich die Einheit Stück pro Betriebskalendertag. Abbildung 42 zeigt, wie die Größen Produktivität und Kapazität in die Leistung bzw. den Abgang überführt werden können. Die Kapazität beschreibt, wie viel bezahlte Arbeitszeit pro Betriebskalendertag zur Verfügung steht. Folglich ist die gesamte bezahlte Arbeitszeit das Produkt aus der Kapazität und der Länge des Betrachtungszeitraums (vgl. Abbildung 42 links). Die Produktivität sagt aus, wie viel der bezahlten Arbeitszeit in ein Arbeitsergebnis, also den Abgang, umgewandelt werden kann. Daher ist der Abgang das Produkt aus Kapazität, der Länge des Betrachtungszeitraums und der Produktivität (vgl. Abbildung 42 rechts) (Gl. 7.2). Die Leistung wiederum wird aus dem Quotienten aus Abgang und Länge des Betrachtungszeitraums berechnet. Sie lässt sich, wenn man beide Seiten von Gl. 7.2 durch

die Länge des Betrachtungszeitraums P teilt, auch als das Produkt aus Kapazität und Produktivität darstellen (vgl. Abbildung 42 Mitte) (Gl. 7.3). Daraus folgt, dass sich die Produktivität auch als Quotient aus Leistung und Kapazität darstellen lässt (Gl. 7.4).

$$AB = KAPA \cdot PRO \cdot P \quad 7.2$$

$$L = KAPA \cdot PRO \quad 7.3$$

$$PRO = \frac{L}{KAPA} \quad 7.4$$

- mit L : Leistung [Stk./BKT]
 KAPA : Kapazität des Arbeitssystems [Std./BKT]
 AB : Abgang des Arbeitssystems [Stk.]
 P : Betrachtungszeitraum [BKT]
 PRO : Arbeitsproduktivität des Arbeitssystems [Stk./Std.]

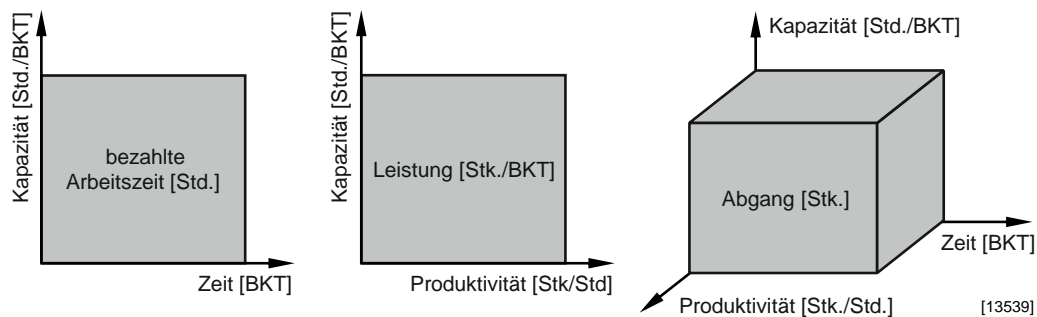


Abbildung 42: Zusammenhang zwischen Kapazität, Produktivität und Leistung/Abgang [Glöc16, S. 150]

7.3 Schaffung eines Gesamtmodells über die Produktivität und die logistischen Zielgrößen

Die Untersuchungen aus Abschnitt 7.2 zeigen den Zusammenhang zwischen den Größen Kapazität, Produktivität und Leistung bzw. Abgang eines Arbeitssystems auf. Für eine detaillierte Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den logistischen Zielgrößen und der Arbeitsproduktivität müssen diese zentralen Modelle der PPS um den Zusammenhang zwischen Kapazität, Produktivität und Leistung ergänzt werden (vgl. Abschnitt 7.3.1).

Anhand der erweiterten Modelle kann zunächst der qualitative Einfluss der PPS auf die Arbeitsproduktivität und der Arbeitsproduktivität auf die logistische Zielgrößen beschrieben werden. Es werden außerdem Randbedingungen abgeleitet, anhand derer die Wechselwirkungen detailliert und quantitativ beschrieben werden können (vgl. Abschnitt 7.3.2 - 7.3.5).

Abschließend erfolgt die Ableitung von Kopplungsgleichungen, um die Wechselwirkungen detailliert zu beschreiben.

7.3.1 Das erweiterte Modell der Fertigungssteuerung

In diesem Abschnitt soll das Modell der Fertigungssteuerung mit dem Modell der Arbeitsproduktivität verknüpft werden. Dies ermöglicht es, die Wechselwirkungen zwischen der (Arbeits-)Produktivität und den logistischen Zielgrößen zu untersuchen.

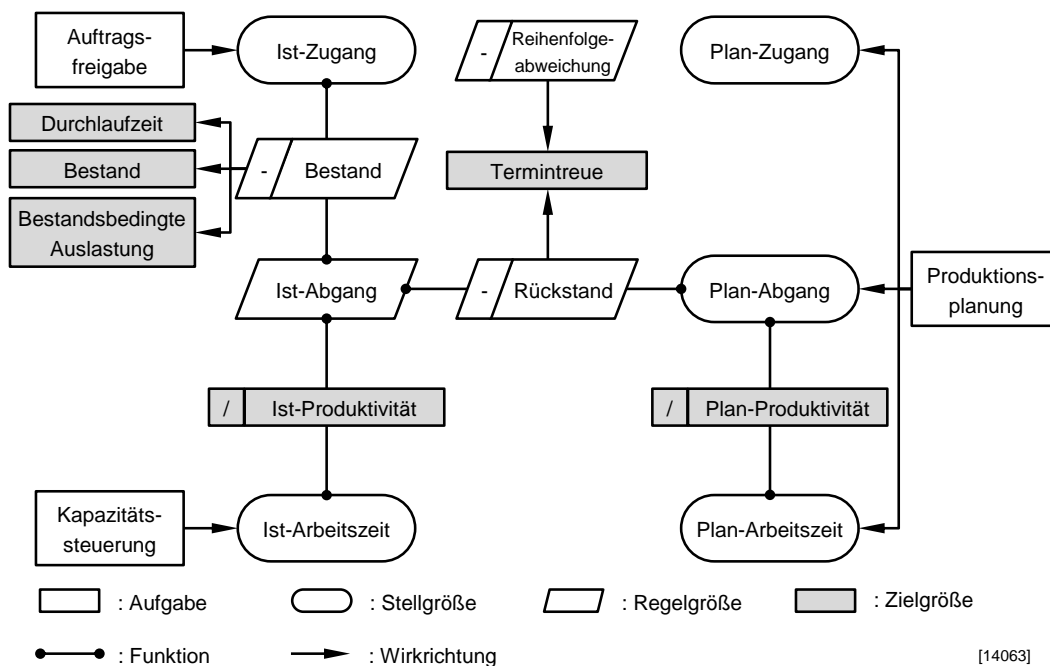


Abbildung 43: Erweitertes Modell der Fertigungssteuerung [Glöc16, S. 151]

Das Modell der Fertigungssteuerung beschreibt den Zusammenhang zwischen verschiedenen Aufgaben, Stell- und Regelgrößen der Fertigungssteuerung mit den logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Bestand, Auslastung und Termintreue (vgl. Abbildung 5, S. 16). Die Kapazitätsplanung und -steuerung bestimmt, wie viel bezahlte Arbeitszeit in einem Arbeitssystem zur Verfügung steht. Aus den Beobach-

tungen in Abschnitt 4.1 folgt, dass zwischen Arbeitszeit und Abgang die Arbeitsproduktivität stehen muss. Das erweiterte Modell der Fertigungssteuerung ergänzt das Modell zunächst um die Stellgrößen der bezahlten Ist- und Plan-Arbeitszeit (vgl. Abbildung 43).

Der Stellgröße Ist-Arbeitszeit ordnet es die Aufgabe der Kapazitätssteuerung zu, der Stellgröße Plan-Arbeitszeit entsprechend die Kapazitätsplanung als Bestandteil der Produktionsplanung. Als Quotient des Abgangs und der bezahlten Arbeitszeit ergeben sich dann die Zielgrößen Ist- und Plan-Produktivität.

Die Darstellung verdeutlicht zum einen, dass die Produktionsplanung mit dem Plan-Abgang und der Plan-Kapazität (Plan-Arbeitszeit) auch eine Plan-Produktivität vorgibt (vgl. Abbildung 44). Viele Unternehmen kommunizieren diese jedoch nicht entsprechend.

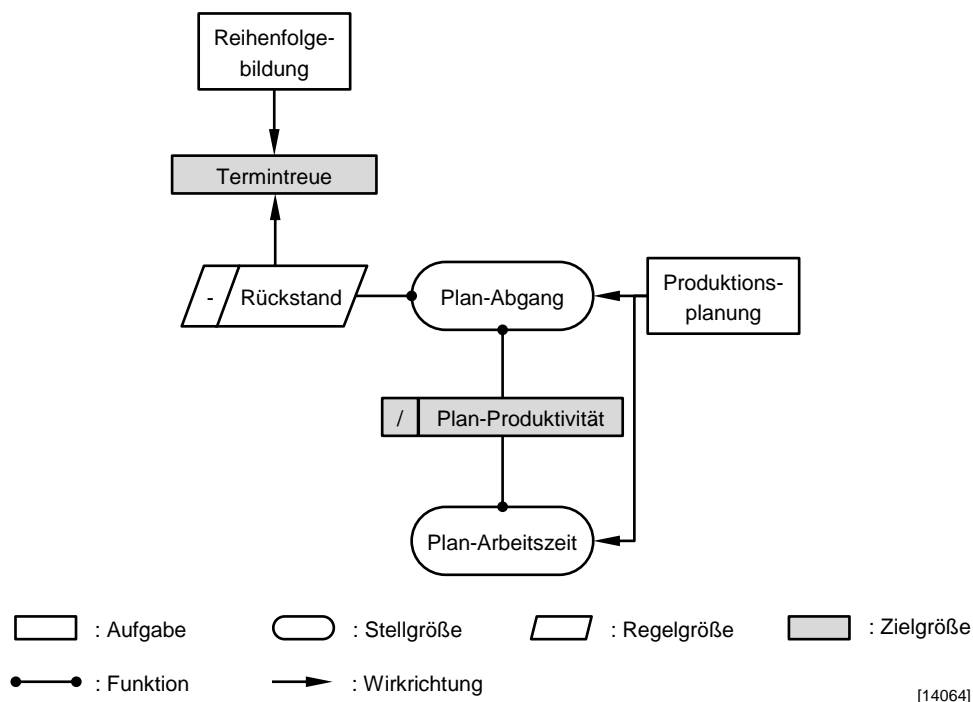


Abbildung 44: Einfluss der Produktionsplanung auf die Produktivität

Zum anderen zeigt sich, dass die Ist-Produktivität bestimmt, welcher Abgang sich aus der bereitgestellten Arbeitszeit ergibt. Die Ist-Produktivität beeinflusst mit dem Ist-Abgang auch die Regelgrößen Rückstand (= Plan-Abgang – Ist-Abgang) und Bestand (= Ist-Zugang - Ist-Abgang) und damit mittelbar die logistischen Zielgrößen Termintreue, Bestand, Durchlaufzeit und Auslastung (vgl. Abbildung 45).

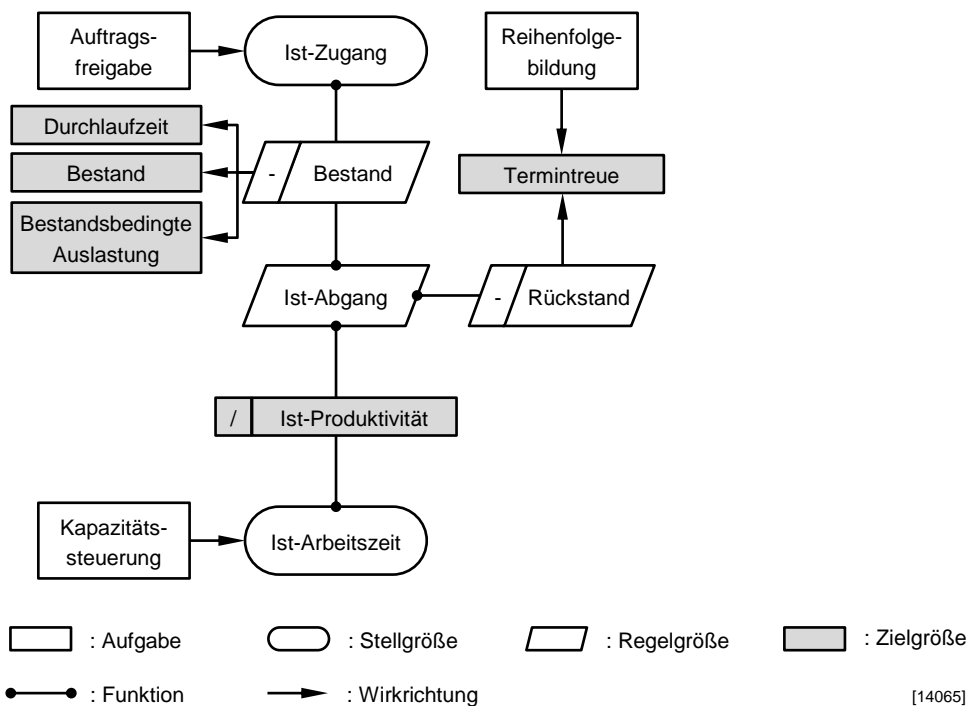


Abbildung 45: Einflüsse der Produktivität auf die logistischen Zielgrößen

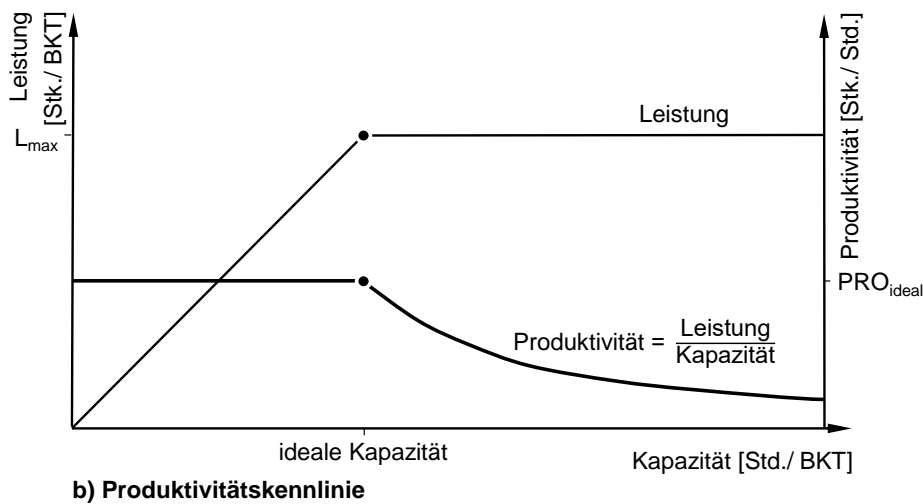
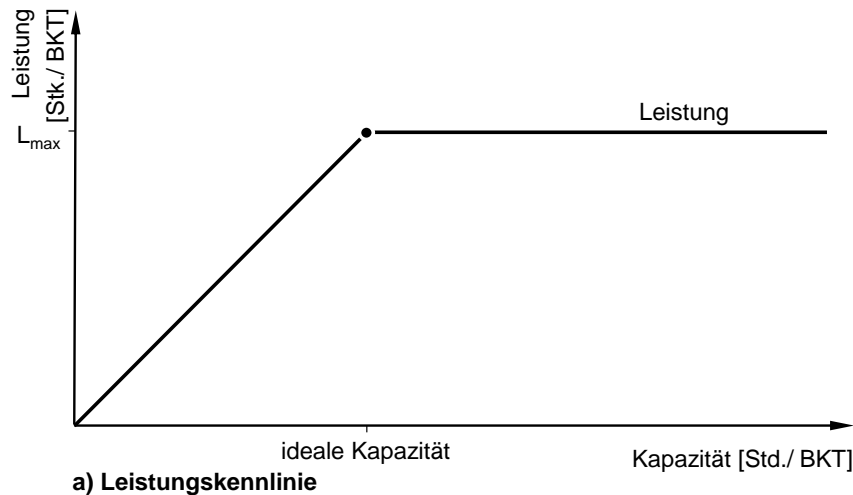
7.3.2 Produktivitätskennlinien

Um die besondere Rolle der Arbeitsproduktivität aufzuzeigen, wird eine Produktivitätskennlinie nach dem Vorbild der logistischen Kennlinien erstellt, die den Zusammenhang zwischen der Kapazität, der Produktivität und der Leistung abbildet. Dazu ist es zunächst erforderlich, die Begriffe maximale Leistung und ideale Produktivität zu beschreiben.

Nyhuis führt die maximale oder maximal mögliche Leistung als Leistungsobergrenze im Kontext logistischer Kennlinien ein. Der begrenzende Faktor ist in diesem Fall das Arbeitssystem, d.h. die Mitarbeiter [Nyhu12, S. 66ff.]. Ein weiterer wichtiger begrenzender Faktor ist die Nachfrage nach den Produkten, die ein Arbeitssystem produziert. Die Leistung eines Arbeitssystems kann diese Grenze zumindest langfristig nicht überschreiten.

Die ideale Produktivität beschreibt die Produktivität, die ein Arbeitssystem erreicht, wenn keine kapazitätsbedingten Auslastungsverluste in Form von z.B. Wartezeiten auftreten. Die ideale Produktivität wird nur durch das Arbeitssystem und die Mitarbeiter bestimmt. Wartezeiten und damit verbundene Produktivitätsverluste können

auch bei idealer Produktivität auftreten, sie sind jedoch Ausdruck von Störungen oder einer ungenügenden Gestaltung des Arbeitssystems oder der Arbeitsaufgabe. Die ideale Produktivität wird zudem für die Kennlinie als konstant angenommen.



PRO Produktivität
L Leistung

[13540]

Abbildung 46: Produktivitätskennlinie [Glöc19, S. 238]

Abbildung 46a stellt dazu zunächst den Verlauf der Leistung über der Kapazität dar. Die Leistung steigt proportional mit der Kapazität an, bis die maximal mögliche Leistung (L_{\max}) erreicht ist. Diese kann sich langfristig aus der Nachfrage ergeben, aber ggf. auch durch andere Engpässe in der Produktion bestimmt sein.

Teilt man die Leistung in jedem Punkt der Kennlinie durch die Kapazität, ergibt sich die Produktivität in dem jeweiligen Punkt (vgl. Abbildung 46b). Die Produktivität bleibt bei niedriger Kapazität zunächst konstant, bis die Kapazität größer ist als zur Erbringung der maximalen Leistung erforderlich.

Die ideale Kapazität eines Arbeitssystems ist der Quotient aus der maximal möglichen Leistung und der idealen Produktivität des Arbeitssystems (Gl. 7.5).

$$KAPA_{ideal} = \frac{L_{max}}{PRO_{ideal}} \quad 7.5$$

mit L_{max} : maximal mögliche Leistung [Stk./BKT]
 $KAPA_{ideal}$: ideale Kapazität des Arbeitssystems [Std./BKT]
 PRO_{ideal} : ideale Produktivität des Arbeitssystems [Stk./ Std.]

Anhand der idealen Kapazität lässt sich die Produktivitätskennlinie in zwei Abschnitte einteilen. Der erste Abschnitt links der idealen Kapazität ist durch eine konstante Produktivität gekennzeichnet. Die Leistung steigt proportional mit der Kapazität an. In diesem Bereich ist die Produktivität gemeinsam mit der Kapazität bestimmender Faktor für die Leistung. Eine Steigerung der Produktivität ist durch eine Verbesserung der Produktionsabläufe möglich, also z.B. durch eine Reduzierung von Störungen oder durch eine Verkürzung von Planzeiten. Das Produktivitätsniveau bestimmt dabei, wie stark die Leistung mit zunehmender Kapazität ansteigt.

Der zweite Bereich rechts der idealen Kapazität ist durch eine konstante Leistung gekennzeichnet, die der maximalen Leistung entspricht. Die Produktivität ist in diesem Bereich kein leistungsbestimmender Faktor mehr, sondern wird durch die Nachfrage oder einen Engpass in der Produktion begrenzt. Sie nimmt deshalb mit zunehmender Kapazität immer weiter ab.

Die Produktivitätskennlinie und die beiden Kapazitätsbereiche verdeutlichen einen Zielkonflikt bei der Kapazitätsplanung. Aus Sicht der PPS ist es erstrebenswert, dass ein Arbeitssystem so viel produziert, wie abgesetzt werden kann. Folglich orientieren sich der Plan-Abgang und die Plan-Leistung an der Nachfrage. Entsprechend steht die Kapazitätsplanung vor der Herausforderung, die ideale Kapazität für das Arbeitssystem bereitzustellen. Für die Kapazitätsplanung stellt sich die Frage, welche Kapazität sie einplant. Berechnet sie die erforderliche Kapazität mit einer hohen Produktivität, besteht das Risiko, dass die tatsächliche Produktivität niedriger ausfällt, die Plan-Leistung verfehlt wird und sich steigende Rückstände aufbauen (unmöglicher Produktionsplan).

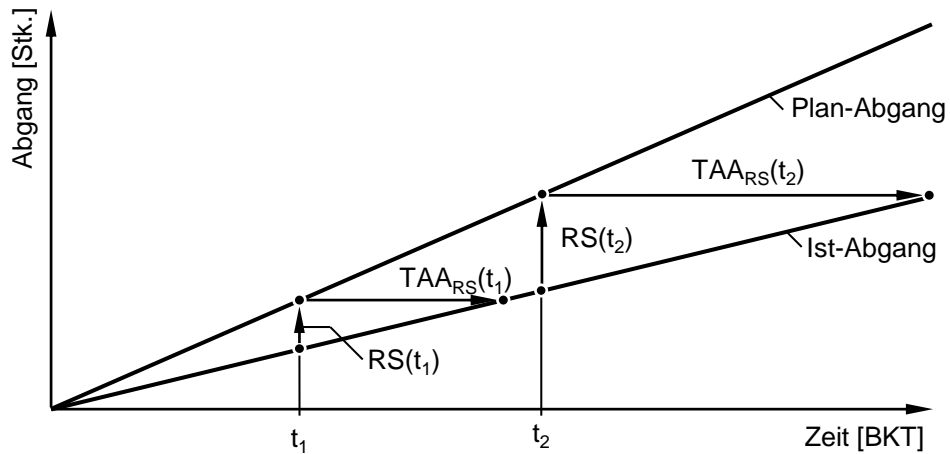
Erwartet sie dagegen eine geringe Produktivität, stellt sie eine höhere Kapazität zur Verfügung als erforderlich, so dass kapazitätsbedingte Auslastungsverluste auftreten und die Ist-Produktivität auf den niedrigen Planwert sinkt (unproduktiver Produktionsplan). Dies gilt zumindest dann, wenn die Leistung nicht über den Planwert gesteigert werden kann.

Die Kapazitätsplanung steht damit vor dem Dilemma, zwischen einem unmöglichen und einem unproduktiven Produktionsplan zu wählen. Dies gilt umso mehr, als die Produktivität keine konstante Größe ist, sondern mit ihren streuenden Einflussfaktoren (Störungen, wechselnde Arbeitsabläufe, etc.) selbst zufälligen Schwankungen unterliegt. Daher lässt sich auch die in Abbildung 46 eingezeichnete ideale Kapazität in der Praxis nur mit einer – zum Teil hohen – Unsicherheit bestimmen.

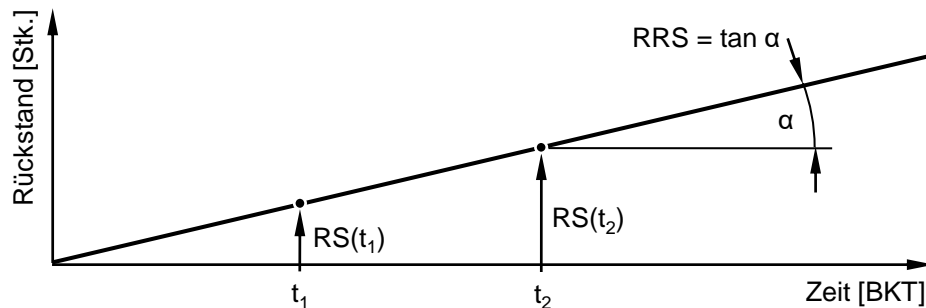
7.3.3 Produktivität und Termintreue

Die Termintreue eines Arbeitssystems wird im Wesentlichen durch die Terminabweichung bestimmt, also durch die Abweichungen zwischen den Ist- und Plan-Fertigstellungszeitpunkten der Aufträge (Gl. 2.2). Die Terminabweichung eines Auftrags ist zum einen von Reihenfolgeabweichungen und zum anderen vom Rückstand am jeweils betrachteten Arbeitssystem abhängig. Die gesamte Terminabweichung eines Auftrags ergibt sich entsprechend als Summe aus reihenfolgebedingter und rückstandsbedingter Terminabweichung [Lödd16, S.80]. Weil die Ist-Produktivität den Ist-Abgang bestimmt, beeinflusst sie auch den Rückstand und damit die rückstandsbedingte Terminabweichung der Aufträge und die Termintreue der Produktion (vgl. Abschnitt 7.3.1).

Da der Rückstand zu jedem Zeitpunkt als Differenz aus Plan- und Ist-Abgang definiert ist, verändert sich der Rückstand über einen Zeitraum, in dem Plan- und Ist-Leistung voneinander abweichen. Sind Plan- und Ist-Leistung gleich, so ist der Rückstand konstant. Bleibt die Ist-Leistung hinter der Plan-Leistung zurück, steigt der Rückstand über der Zeit an, so dass auch die rückstandsbedingte Terminabweichung zunimmt (vgl. Abbildung 47).



a) Rückstandsbedingte Terminabweichung



b) Veränderung des Rückstands über die Zeit

TAA_{RS}	rückstandsbedingte Terminabweichung
RS	Rückstand
RRS	Rückstandsänderungsrate

[12518]

Abbildung 47: Änderung des Rückstands und der rückstandsbedingten Terminabweichung nach Kuyumcu [Kuyu13, S. 45]

Da sich der Abgang als Funktion der Leistung über die Zeit darstellen lässt, kann die tägliche Änderung des Rückstands, also die Rückstandsänderungsrate, wie folgt berechnet werden.

$$RRS = \frac{RS(t_2) - RS(t_1)}{t_2 - t_1} \quad 7.6$$

$$RRS = \frac{(AB_{Plan}(t_2) - AB_{Ist}(t_2)) - (AB_{Plan}(t_1) - AB_{Ist}(t_1))}{t_2 - t_1} \quad 7.7$$

$$RRS = L_{Plan} - L_{Ist} \quad 7.8$$

mit RRS : Rückstandsänderungsrate [Stk./BKT]
 RS : Rückstand [Stk.]
 AB : Abgang [Stk.]
 L : Ist-/ Plan-Leistung [Stk./BKT]

Da sich die rückstandsbedingte Terminabweichung aus dem Quotienten des Rückstands und der Plan-Leistung berechnen lässt, führt ein steigender Rückstand zu einer steigenden rückstandsbedingten Terminabweichung. Die resultierende Änderungsrate der rückstandsbedingten Terminabweichung lässt sich wie folgt berechnen:

$$TAA_{RS}(t) = \frac{RS(t)}{L_{Plan}} \quad 7.9$$

$$RTAA_{RS} = \frac{RRS}{L_{Plan}} = \frac{L_{Plan} - L_{Ist}}{L_{Plan}} \quad 7.10$$

$$RTAA_{RS} = 1 - \frac{L_{Ist}}{L_{Plan}} \quad 7.11$$

mit TAA_{RS} : rückstandsbedingte Terminabweichung [BKT]
 RS : Rückstand [Stk.]
 RRS : Rückstandsänderungsrate [Stk./BKT]
 $RTAA_{RS}$: Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung [-]
 L : Ist-/ Plan-Leistung [Stk./BKT]

Weil sich die Produktivität auf die Leistung auswirkt, lässt sich auch ein Zusammenhang zwischen der Produktivität und der Rückstandsänderungsrate und der rückstandsbedingten Terminabweichung ableiten. Mit Gl. 7.3 ergibt sich die Leistung aus dem Produkt aus Kapazität und Produktivität und mit Gl. 7.11 gilt entsprechend:

$$L_{Plan} = KAPA_{Plan} \cdot PRO_{Plan} \quad 7.12$$

$$L_{Ist} = KAPA_{Ist} \cdot PRO_{Ist} \quad 7.13$$

$$RRS = KAPA_{Plan} \cdot PRO_{Plan} - KAPA_{Ist} \cdot PRO_{Ist} \quad 7.14$$

$$RTAA_{RS} = 1 - \frac{KAPA_{Ist} \cdot PRO_{Ist}}{KAPA_{Plan} \cdot PRO_{Plan}} \quad 7.15$$

mit	L	: Ist-/Plan-Leistung [Stk./BKT]
	KAPA	: Ist-/Plan-Kapazität [Std./BKT]
	PRO	: Ist-/Plan-Produktivität [Stk./Std.]
	RRS	: Rückstandsänderungsrate [Stk./BKT]
	RTAA _{RS}	: Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung [-]

Geht man davon aus, dass die Ist-Kapazität der Plan-Kapazität entspricht, so wirken sich Änderungen der Produktivität unmittelbar auf die rückstandsbedingte Terminabweichung aus. Fällt die Ist-Produktivität hinter ihren Planwert zurück, ergibt sich eine positive Rückstandsänderungsrate. Die rückstandsbedingte Terminabweichung nimmt dann mit der Zeit zu.

Es ist möglich, die Auswirkung einer zu geringen Produktivität auf die Terminabweichung durch eine Anpassung der Kapazität zu reduzieren bzw. vollständig zu verhindern. Dazu muss die Kapazität um einen Faktor angepasst werden, der sich aus dem Quotienten aus Plan- und Ist-Produktivität ergibt.

Die Auswirkungen einer von ihrem Planwert abweichenden Ist-Leistung sind in Abbildung 48 dargestellt. Zwei Leistungspunkte sind dabei besonders prägnant:

- a) Ist-Leistung = 0: In diesem Fall werden keine Aufträge bearbeitet (z.B. durch eine Störung des gesamten Arbeitssystems). Der Rückstand erhöht sich mit jedem Tag um den Plan-Abgang des Tages. Folglich erhöht sich die rückstandsbedingte Terminabweichung jeden Tag um einen Tag.
- b) Ist-Leistung = Plan-Leistung: In diesem Fall bleibt der Rückstand konstant. Folglich verändert sich auch die rückstandsbedingte Terminabweichung nicht.

Abbildung 48 stellt zusätzlich eine Ist-Leistung dar, die einem Wert von 70% der Plan-Leistung entspricht. In diesem Fall steigt der Rückstand jeden Tag um das 0,3-fache des Plan-Abgangs an. Entsprechend erhöht sich die rückstandsbedingte Terminabweichung jeden Tag um 0,3 Tage. Erreicht ein Arbeitssystem auf Grund einer störungsbedingt geringeren Produktivität für 5 Tage nur 70% der Planleistung, erhöht sich die rückstandsbedingte Terminabweichung daher um 1,5 Tage. Um dies zu verhindern, müsste die Ist-Kapazität des Arbeitssystems auf das 1,4-fache des Planwertes erhöht werden.

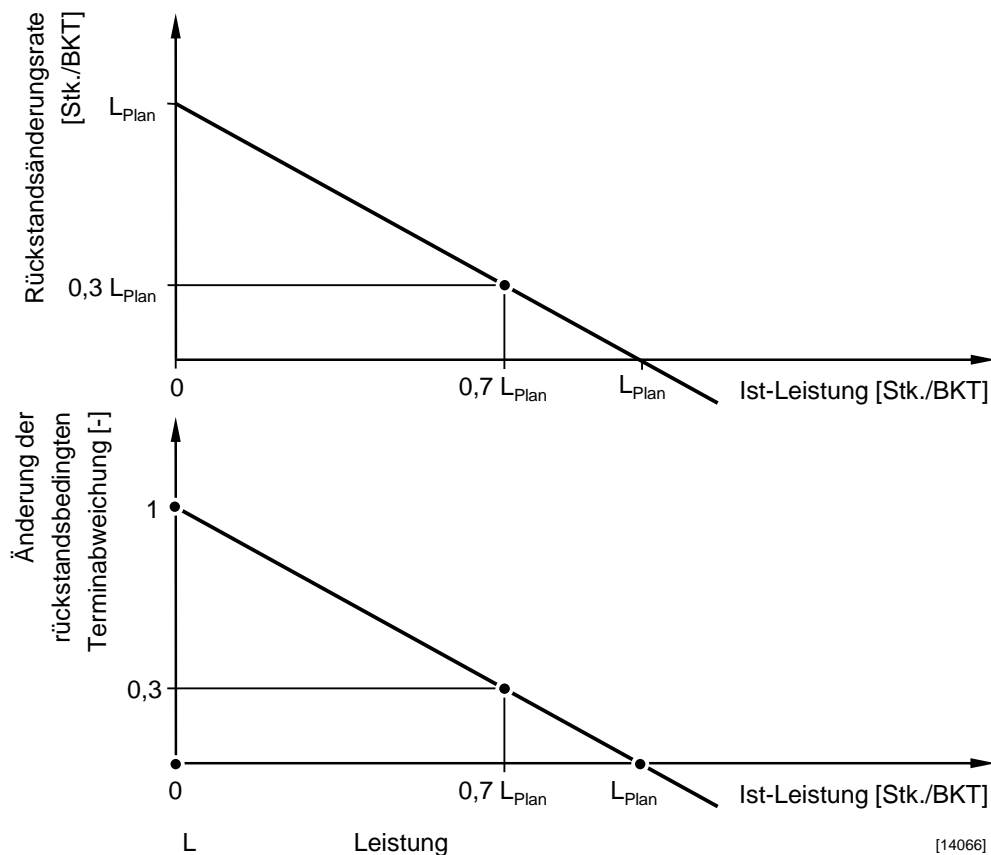


Abbildung 48: Rückstandsänderungsrate und Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung [Glöc19, S. 238]

Ist die Ist-Leistung dagegen größer als die Plan-Leistung, wird Rückstand abgebaut und die rückstandsbedingte Terminabweichung verringert sich.

Abbildung 49 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Modellierung zusammen. Dazu wird angenommen, dass die Plan-Leistung der Nachfrage entspricht. So ergibt sich ein einfacher Zusammenhang von Kapazität, Produktivität, Leistung und rückstandsbedingter Terminabweichung. Die Kapazitätsbereiche der Produktivitätskennlinie links und rechts der idealen Kapazität erhalten im Kontext der Rückstandsänderung eine neue Bedeutung. Im Bereich links der idealen Kapazität stellt sich eine positive Rückstandsänderung ein, da die Ist-Leistung hinter der Plan-Leistung zurückbleibt. Dies ist mit einer Erhöhung der rückstandsbedingten Terminabweichung verbunden. Im Diagrammbereich rechts der idealen Kapazität wird kein Rückstand aufgebaut, da die Ist-Leistung der Plan-Leistung entspricht. Da jedoch nicht mehr das ganze Kapazitätsangebot in Leistung umgesetzt werden kann, kommt es zu Produktivitätsverlusten.

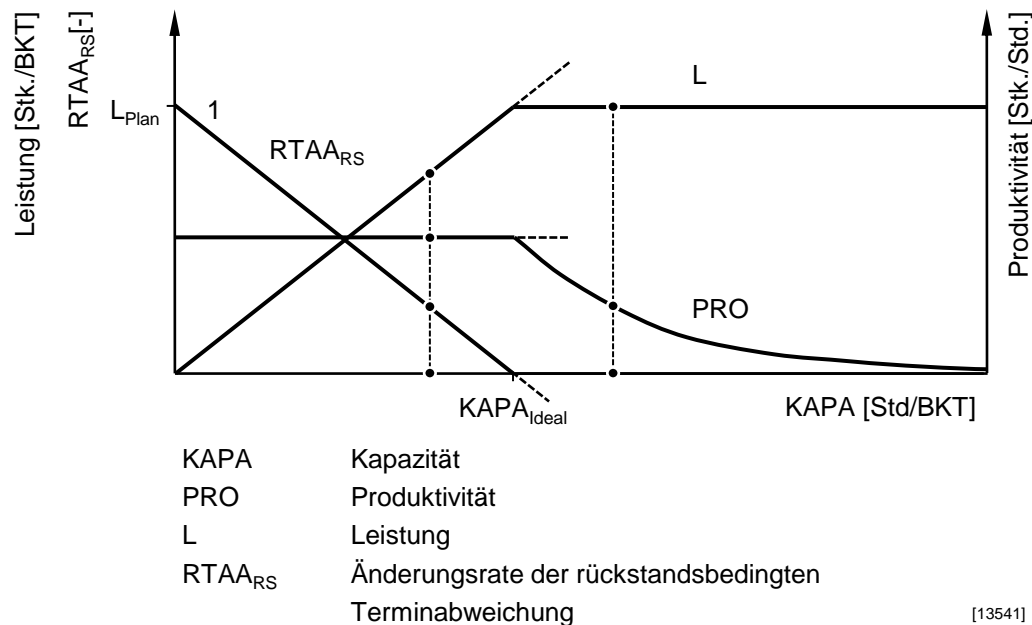


Abbildung 49: Kennlinie über den Zusammenhang zwischen Kapazität, Produktivität und rückstandsbedingter Terminabweichung

Besteht bereits ein Rückstand am Arbeitssystem, so ist es möglich, diesen mit zusätzlicher Kapazität abzubauen. Dies wird durch die Verlängerung der Leistungskennlinie bzw. der Kennlinie für die Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung aufgezeigt (vgl. Abbildung 49). So lange ein ausreichender Bestand am Arbeitssystem vorliegt, kann die Ist-Leistung die maximale Leistung übersteigen, sodass eine Erhöhung der Kapazität über den idealen Wert hinaus nicht zu Produktivitätsverlusten führt.

7.3.4 Produktivität, Bestand und Durchlaufzeit

Das erweiterte Modell der Fertigungssteuerung zeigt, dass die Produktivität durch ihre Wirkung auf den Abgang eines Arbeitssystems auch den Bestand und damit verbunden die Durchlaufzeit und die bestandsbedingten Auslastungsverluste beeinflusst. Um dies genauer zu untersuchen, werden in diesem Abschnitt das Durchlaufdiagramm nach Bechte [Bech84] und die Warteschlangenformel nach Little [Litt61] im Kontext der Arbeitsproduktivität und dem ermittelten Leistungszusammenhang aus Abschnitt 7.2. betrachtet.

Der erste zu untersuchende Zusammenhang ist dabei die Wirkung der Produktivität auf den Bestand. Der Bestand an einem Arbeitssystem ist zu jedem Zeitpunkt

definiert als die Differenz aus kumuliertem Zugang und Abgang des Arbeitssystems. Sind Zugang und Abgang an einem Arbeitssystem gleich, so bleibt der Bestand konstant. Übersteigt der Zugang den Abgang, baut sich Bestand auf; im umgekehrten Fall wird Bestand abgebaut.

Die Produktivität beeinflusst den Abgang eines Arbeitssystems. Um die Wirkung der Arbeitsproduktivität auf den Bestand zu untersuchen, wird angenommen, dass der Ist-Zugang dem Plan-Zugang entspricht (und nicht wie bei einer bestandsregelnden Auftragsfreigabe an den Abgang gekoppelt ist). Zudem wird für die Modellierung des Einflusses der Produktivität auf den Bestand angenommen, dass die Belastung der Plan-Leistung entspricht, also Plan-Zugang und Plan-Abgang parallel verlaufen.

Die Änderungsrate des Bestands ergibt sich aus der Bestandsdifferenz über die Länge des Betrachtungszeitraums. Die Belastung bildet dabei die Veränderung des Zugangs und die Leistung die Veränderung des Abgangs über die Zeit ab. Mit dem Zusammenhang aus Gl. 7.3 kann die Änderungsrate des Bestands wie folgt berechnet werden:

$$RB = \frac{B(t_2) - B(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{(ZU(t_2) - AB(t_2)) - (ZU(t_1) - AB(t_1))}{t_2 - t_1} \quad 7.16$$

$$RB = BEL - L = BEL - PRO \cdot KAPA \quad 7.17$$

$$\text{wenn } BEL = L_{Plan}: \quad 7.18$$

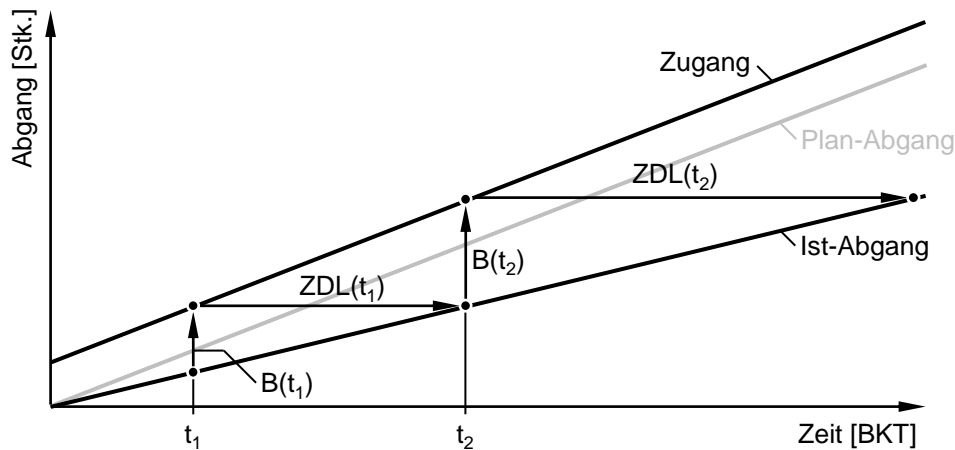
$$RB = L_{Plan} - L_{Ist} = PRO_{Plan} \cdot KAPA_{Plan} - PRO_{Ist} \cdot KAPA_{Ist}$$

mit	RB	: Änderungsrate des Bestands [Stk./BKT]
	B	: Bestand [Stk.]
	ZU	: Zugang [Stk.]
	AB	: Abgang [Stk.]
	L	: Leistung [Stk./Std.]
	BEL	: Belastung [Stk./BKT]
	KAPA	: Kapazität [Std./BKT]
	PRO	: Produktivität [Stk./Std.]

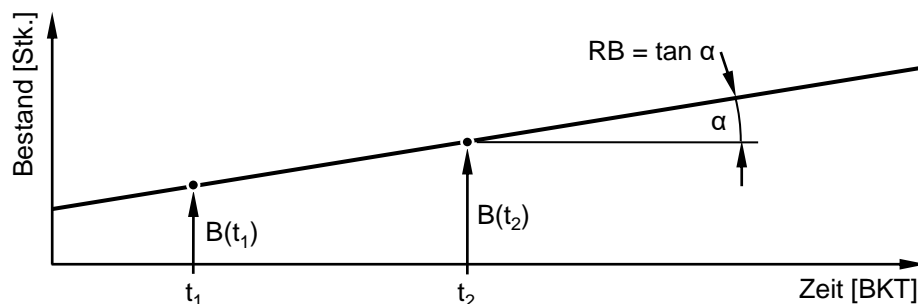
Erreicht die Ist-Leistung ihren Planwert und entspricht damit der Belastung des Arbeitssystems, ist die Änderungsrate des Bestands null und der Bestand bleibt konstant.

Bezogen auf Plan- und Ist-Produktivität bedeutet dies:

- Ist die Ist-Produktivität kleiner als geplant, führt dies ohne Anpassung des Zugangs zu wachsenden Beständen.
- Eine höhere Ist-Produktivität führt ohne Anpassung des Zugangs zu sinkenden Beständen.



a) Bestand und Durchlaufzeit



b) Veränderung des Bestands über die Zeit

ZDL	Durchlaufzeit
B	Bestand
RB	Bestandsänderungsrate

[14067]

Abbildung 50: Bestandsänderungsrate und Änderung der Durchlaufzeit

Durch den Einfluss der Produktivität auf den Bestand eines Arbeitssystems besteht ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der Produktivität und der Durchlaufzeit. Die Warteschlangenformel nach Little [Litt61] beschreibt die mittlere Durchlaufzeit an einem Arbeitssystem als den Quotienten aus dem mittleren Bestand an einem Warteschlangensystem und dem Ankunftsstrom neuer Aufträge.

Bezogen auf die hier verwendete Terminologie kann die mittlere Durchlaufzeit an einem Arbeitssystem mit Little's Law durch den Quotienten aus mittlerem Bestand und mittlerer Belastung am Arbeitssystem berechnet werden (Gl. 7.19).

Abbildung 50 stellt ein Durchlaufdiagramm mit idealisierten Zugangs- und Abgangsverläufen dar. Im dargestellten Fall entspricht die Belastung der Plan-Leistung. Da die Ist-Leistung geringer als die Plan-Leistung und die Belastung ausfällt, erhöhen sich der Bestand und die Durchlaufzeit am Arbeitssystem.

Die Änderungsrate der Durchlaufzeit kann durch Einsetzen der Gleichungen für die Bestandsänderung (Gl. 7.17) erzeugt werden:

$$ZDL_m = \frac{B_m}{BEL_m} \quad 7.19$$

$$RZDL_m = \frac{RB}{BEL_m} = \frac{BEL_m - L_m}{BEL_m} = 1 - \frac{L_m}{BEL_m} \quad 7.20$$

- mit
- ZDL_m : mittlerer Durchlaufzeit [BKT]
 - BEL_m : mittlere Belastung [Stk./ BKT]
 - B_m : mittlerer Bestand [Stk.]
 - RZDL_m : Änderungsrate der mittleren Durchlaufzeit [-]
 - RB : Bestandsänderungsrate [Stk./ BKT]

Für den besonderen Fall, dass die Belastung der Plan-Leistung entspricht, kann die Gleichung für die Änderungsrate der mittleren Durchlaufzeit in die Gleichung der Änderungsrate für die rückstandsbedingte Terminabweichung überführt werden (Gl. 7.11 bzw. 7.15):

wenn $BEL = L_{Plan}$

$$RZDL_m = 1 - \frac{L_{Ist}}{L_{Plan}} = 1 - \frac{KAPA_{Ist} \cdot PRO_{Ist}}{KAPA_{Plan} \cdot PRO_{Plan}} \quad 7.21$$

- mit
- RZDL_m : Änderungsrate der mittleren Durchlaufzeit [-]
 - L : Leistung [Stk./ BKT]
 - KAPA : Kapazität [Std./BKT]
 - PRO : Produktivität [Stk./Std.]

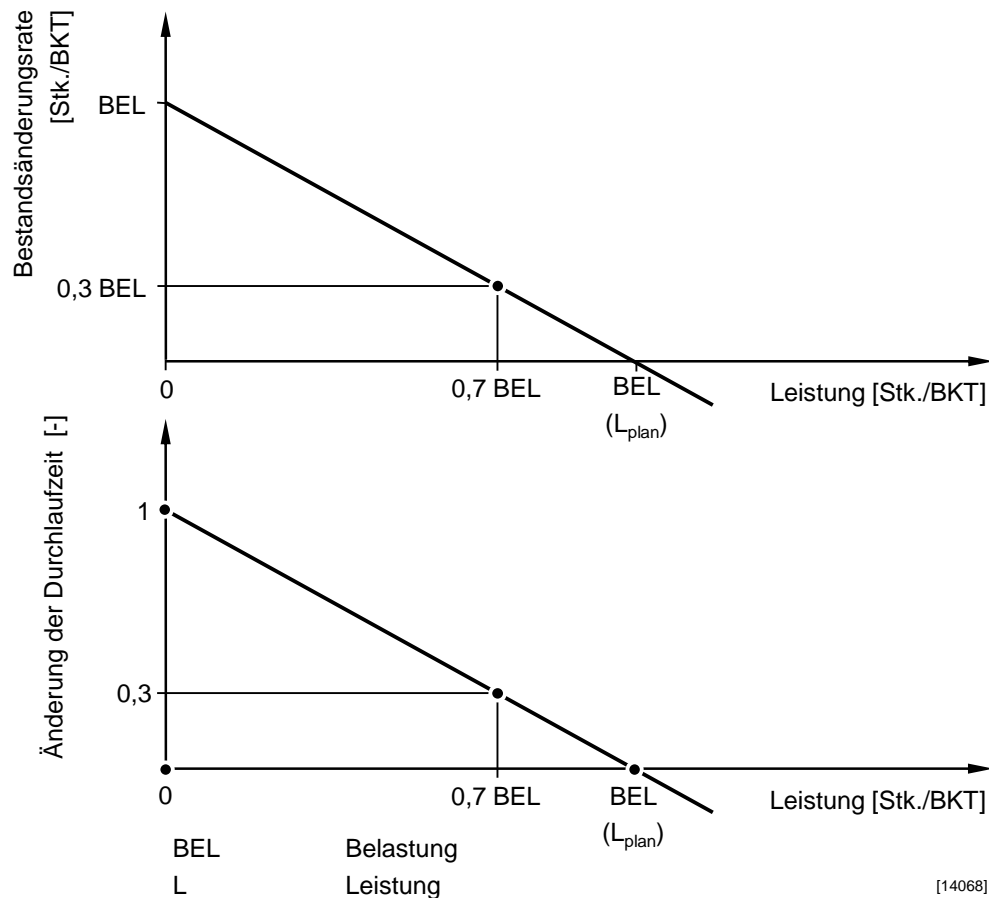


Abbildung 51: Bestandsänderungsrate und Änderungsrate der Durchlaufzeit

Die Bestandsveränderung und die damit verbundene Änderung der Durchlaufzeit ist in Abbildung 51 dargestellt. Wie für die Modellierung der Rückstandsänderung und Änderung der rückstandsbedingten Termintreue sind zwei Leistungspunkte besonders prägnant:

- a) Ist-Leistung = 0: In diesem Fall werden keine Aufträge bearbeitet (z.B. durch eine Störung des gesamten Arbeitssystems). Wird der Zugang neuer Aufträge nicht gedrosselt, so erhöht sich der Bestand an jedem Tag um die Belastung. Folglich erhöht sich die Durchlaufzeit jeden Tag um einen Tag.
- b) Ist-Leistung = Belastung (Plan-Leistung): In diesem Fall bleibt der Bestand konstant. Die Durchlaufzeit verändert sich daher nicht.

Abbildung 51 stellt zusätzlich eine Ist-Leistung dar, die einem Wert von 70% der Belastung entspricht. In diesem Fall steigt der Bestand jeden Tag um die 0,3-fache Belastung an. Da die Belastung der Plan-Leistung entspricht, erhöht sich die

Durchlaufzeit jeden Tag um 0,3 Tage. Erreicht ein Arbeitssystem auf Grund einer störungsbedingt geringeren Produktivität für 5 Tage nur 70% der Planleistung, erhöht sich die Durchlaufzeit daher um 1,5 Tage. Um eine solche Veränderung der Durchlaufzeiten zu verhindern, muss entweder der Zugang gedrosselt oder die Kapazität erhöht werden.

Da ein Zusammenhang zwischen dem Bestand an einem Arbeitssystem und der Auslastung besteht, kann es zu weiteren Wechselwirkungen mit der Produktivität des Arbeitssystems kommen. Ausschlaggebend dafür ist das Bestandsniveau des Arbeitssystems. Bei einem niedrigen Bestandsniveau ist es möglich, dass nicht zu jedem Zeitpunkt ein Auftrag am Arbeitssystem vorliegt. Infolgedessen kommt es zu bestandsbedingten Produktivitätsverlusten, wenn das Arbeitssystem auf einen neuen Auftrag warten muss. Verringert sich in diesem Fall die Produktivität ($Ist < Plan$) des Arbeitssystems z.B. durch häufigere Störungen, sinkt die Leistung kurzzeitig und das Bestandsniveau erhöht sich. Dies führt dazu, dass weniger bestandsbedingte Produktivitätsverluste auftreten, was die störungsbedingten Produktivitätsverluste reduzieren kann. Bei einem hohen Bestandsniveau ist dies nicht möglich, da keine nennenswerten bestandsbedingten Produktivitätsverluste auftreten.

Liegt die Ist-Produktivität hingegen über ihrem Planwert, so führt dies zu sinkenden Beständen, sodass die Wahrscheinlichkeit für bestandsbedingte Produktivitätsverluste zunimmt. Langfristig kann die Leistung daher die Belastung nicht überschreiten (vgl. auch das 1. Grundgesetz der Produktionslogistik nach Nyhuis und Wiendahl [Nyhu12, S. 135f.]).

7.4 Evaluation des Kopplungsmodells

Dieser Abschnitt soll die entstandenen Kopplungsmodelle evaluieren und die Richtigkeit und Gültigkeit der abgeleiteten Gleichungen und Kennlinien überprüfen. Zu diesem Zweck greift diese Arbeit auf einfache Simulationsstudien zurück. Abschnitt 7.4.1 erläutert dazu zunächst das Vorgehen bei den Simulationsstudien und den Aufbau des Simulationsmodells. Abschnitt 7.4.2 beschreibt den Versuchsaufbau und die Ergebnisse einer ersten Simulationsstudie zur Evaluierung des beschriebenen Zusammenhangs zwischen Kapazität Produktivität und Leistung. Abschnitt 7.4.3 beschreibt den Versuchsaufbau und die Ergebnisse einer zweiten Simulationsstudie zur Evaluierung der beschriebenen Zusammenhänge zwischen Produktivität und rückstandsbedingter Terminabweichung und Produktivität, Bestand und Durchlaufzeit.

Diese Arbeit nutzt für den Aufbau des Simulationsmodells die Software PlantSimulation der Firma Siemens Tecnomatix.

7.4.2 Studie 1: Produktivitätskennlinien

Die erste Simulationsstudie soll den Zusammenhang zwischen Kapazität, Produktivität und Leistung und den Kennlinienverlauf aus Abbildung 46 (S. 125) und den zugehörigen Formeln 7.2 - 7.4 (S. 121) überprüfen. Für den beschriebenen Kennlinienverlauf sind zwei Größen von besonderer Bedeutung: die Produktivität und die maximal mögliche Leistung, bestimmt durch die Nachfrage. In den Versuchsreihen ist es nötig, diese Größen zu variieren. Die verschiedenen Versuche der Versuchsreihen müssen wiederum die Kapazität des Arbeitssystems variieren, um einzelne Punkte entlang des Kennlinienverlaufs abzubilden. Um die Kapazität des simulierten Arbeitssystems anzupassen, wird die tägliche Arbeitszeit des Arbeitssystems verlängert oder verkürzt. Die Zugangsrate entspricht demnach der nachfragebedingten maximalen Leistung.

Weitere Einflüsse, die zu anderen Auslastungsverlusten als den kapazitätsbedingten Auslastungsverlusten führen, soll das Simulationsmodell ausblenden. Daher werden eine konstante Zwischenankunftszeit und eine Losgröße von 1 für den Zugang neuer Aufträge eingestellt.

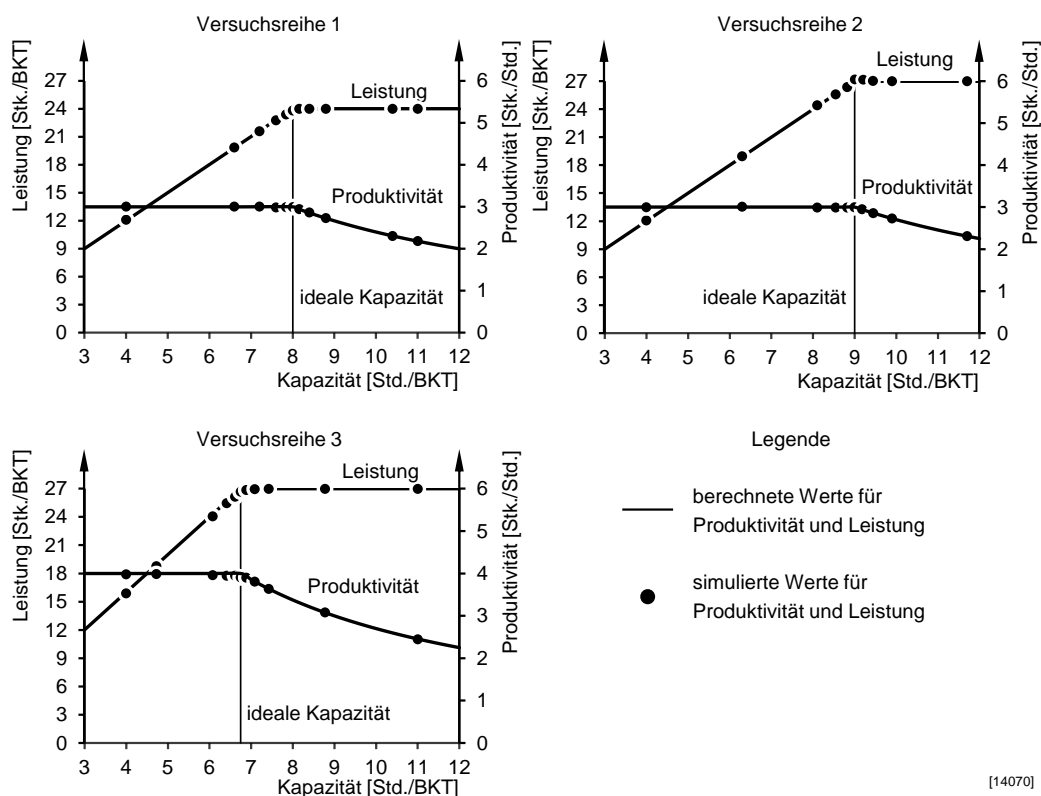
Tabelle 18: Versuchsreihen der ersten Simulationsstudie

Versuche	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
	Kapazität [Std./BKT]									
Versuchsreihe 1 PRO _{max} = 3 [Stk./Std.] L _{max} = 24 [Stk./BKT]	4,0	6,6	7,2	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,8	10,4
Versuchsreihe 2 PRO _{max} = 3 [Stk./Std.] L _{max} = 27 [Stk./BKT]	4,0	6,3	8,1	8,6	8,8	9,0	9,2	9,4	9,9	11,7
Versuchsreihe 3 PRO _{max} = 4 [Stk./Std.] L _{max} = 27 [Stk./BKT]	4,0	4,7	6,1	6,4	6,6	6,8	6,9	7,1	7,4	8,7

Tabelle 18 zeigt den Aufbau der Versuchsreihen dieser Simulationsstudie. Die Versuchsreihen eins und zwei untersuchen den Kennlinienverlauf für zwei verschiedene Werte der maximalen Leistung. Die dritte Versuchsreihe untersucht den Kennlinienverlauf bei veränderter maximaler Produktivität. Die maximale Leistung bleibt jedoch auf dem Niveau der zweiten Versuchsreihe. In jeder Versuchsreihe werden zehn Versuche mit unterschiedlichen Kapazitätswerten durchgeführt. Der Abknickpunkt der Leistungskennlinie im Bereich der idealen Kapazität ist für die

Untersuchungen von besonderem Interesse. Die Versuchsreihen nutzen daher unterschiedliche Kapazitätswerte. Im Bereich der erwarteten idealen Kapazität der Kennlinien häufen sich diese Versuchspunkte, sodass das Verhalten der Kennlinie in diesem Bereich genauer untersucht werden kann.

Die Simulationsstudie erfasst die Mittelwerte für die Produktivität und Leistung des Arbeitssystems über einen Simulationszeitraum von 50 BKT. Diese Werte werden mit den aus Formel 7.3 und 7.4 berechneten Produktivitäts- und Leistungswerten verglichen. Dabei zeigt sich, dass die berechneten und simulierten Werte der Produktivität und Leistung nur minimal voneinander abweichen. Aus Abbildung 53 geht hervor, dass für Kapazitätswerte, die deutlich über oder unter der idealen Kapazität liegen, keine Abweichungen zwischen den simulierten und berechneten Werten bestehen. Für Kapazitätswerte im Bereich von +/- 10% der idealen Kapazität treten leichte Abweichungen zwischen den berechneten und den simulierten Werten auf. Für die Versuchsreihen 1 und 3 bleiben die Abweichungen unter 1% der berechneten Werte für Produktivität und Leistung. In Versuchsreihe 2 beträgt die Abweichung maximal 2,5% des berechneten Wertes.



[14070]

Abbildung 53: Vergleich der berechneten und simulierten Werte für Produktivität und Leistung

Bei der berechneten idealen Kapazität erreicht die Leistung in dieser Versuchsreihe 98% der maximalen Leistung. Diese Abweichungen sind auf leichte Schwankungen der maximalen Produktivität zurückzuführen. Diese fallen bei der Versuchsreihe mit der höheren maximalen Produktivität stärker aus als in den Versuchsreihen mit einer geringeren maximalen Produktivität. Die Ergebnisse der ersten Simulationsstudie bestätigen daher das Kopplungsmodell von Kapazität, Produktivität und Leistung (vgl. Abschnitt 7.3.2).

7.4.3 Studie 2: rückstandsbedingte Terminabweichung, Bestand und Durchlaufzeit

Studie 2 untersucht zuerst den Zusammenhang zwischen der Kapazität und der Produktivität und der Veränderung der rückstandsbedingten Terminabweichung. Dazu erzeugt das Simulationsmodell ein Durchlaufdiagramm mit dem Verlauf des Plan- und Ist-Abgangs über der Zeit. Der Plan-Abgang entspricht dabei dem Zugang, ist jedoch um die Plan-Durchlaufzeit der Aufträge verschoben. Die Plan-Durchlaufzeit entspricht für die Simulationsstudie der Durchlaufzeit für den Versuch mit idealem Kapazitätsniveau.

Rückstand und rückstandsbedingte Terminabweichung

Die Studie wertet den Auftragsdurchlauf aus Versuchsreihe 1 mit den Kapazitätswerten von 8,0, 7,2 und 6,6 Stunden pro BKT aus und erfasst die mittlere Terminabweichung der Aufträge. Die gewählten Kapazitätspunkte entsprechen dabei der idealen Kapazität (Versuch 1), einer Kapazität von 90% des Kapazitätsbedarfs (Versuch 2) und einer Kapazität von 70% des Kapazitätsbedarfs (Versuch 3). Auf Grund des Einschwingverhaltens des Simulationsmodells ist ein bereits bestehender Rückstand von 20 Aufträgen (Losgröße 1) im Simulationsmodell voreingestellt.

Abbildung 54 zeigt den erwarteten charakteristischen Verlauf der Durchlaufdiagramme aus der Versuchsreihe und die zugehörige Entwicklung des Rückstands. Abbildung 54 links und mitte zeigt das erwartete Durchlaufdiagramm für die Versuche 2 und 3. Da bei diesen Versuchen die Ist-Kapazität unter dem Kapazitätsbedarf liegt, bleibt der Ist-Abgang hinter dem Plan-Abgang zurück. Daher wird für diese Versuche erwartet, dass der Rückstand weiter ansteigt. Bei dem Versuch mit idealer Kapazität wird hingegen ein konstanter Rückstand erwartet, da Ist- und Plan-Abgang gleich oder ähnlich sind (vgl. Abbildung 54 rechts).

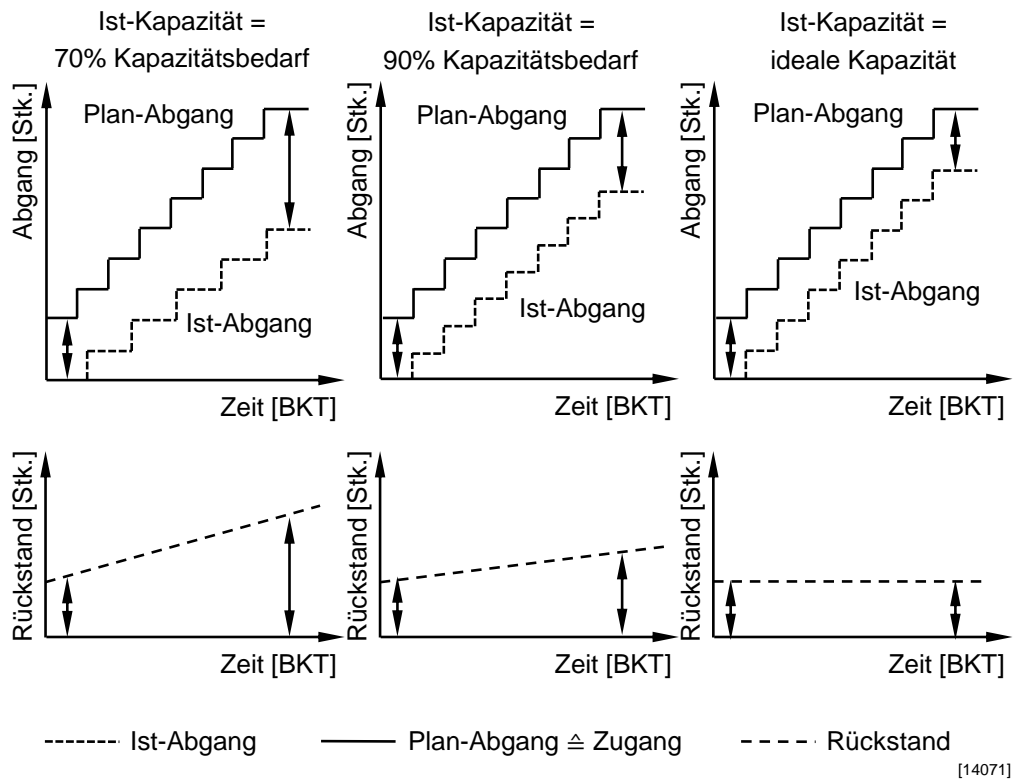
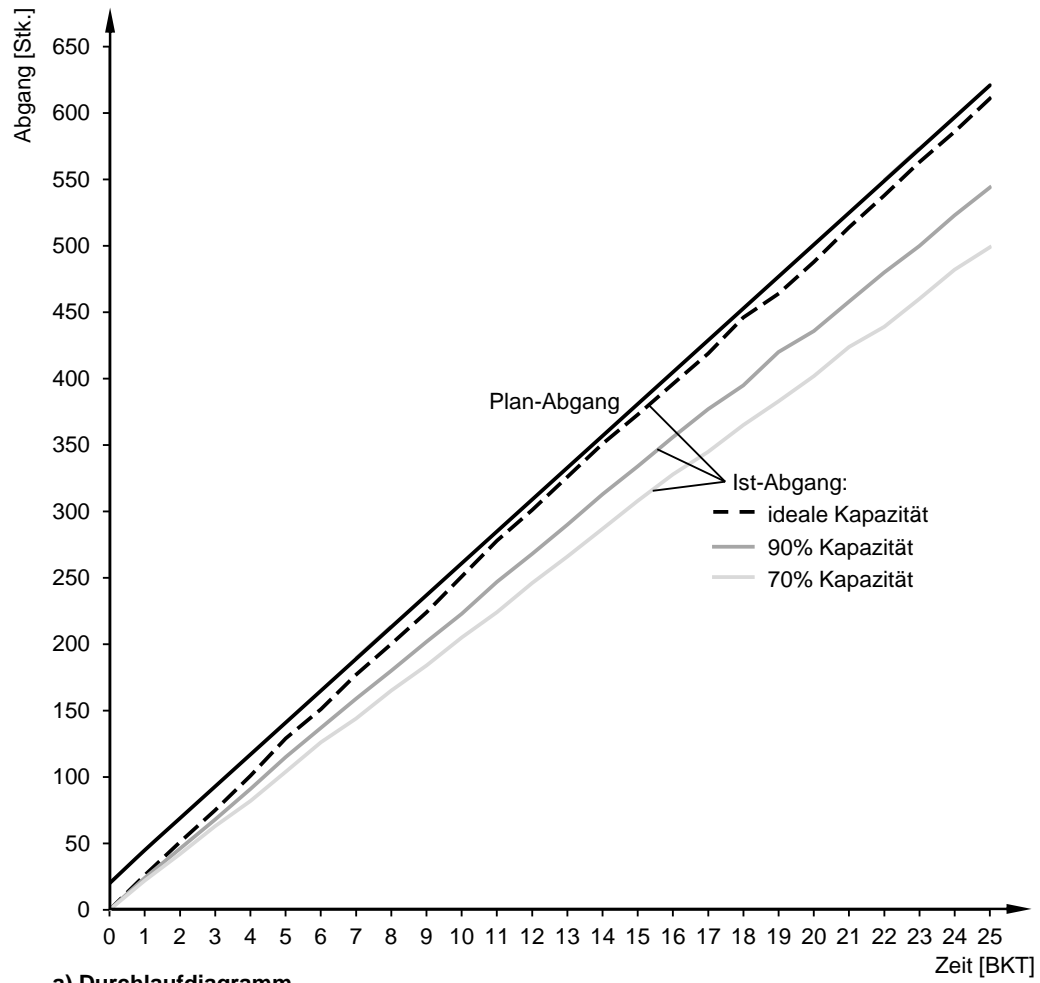
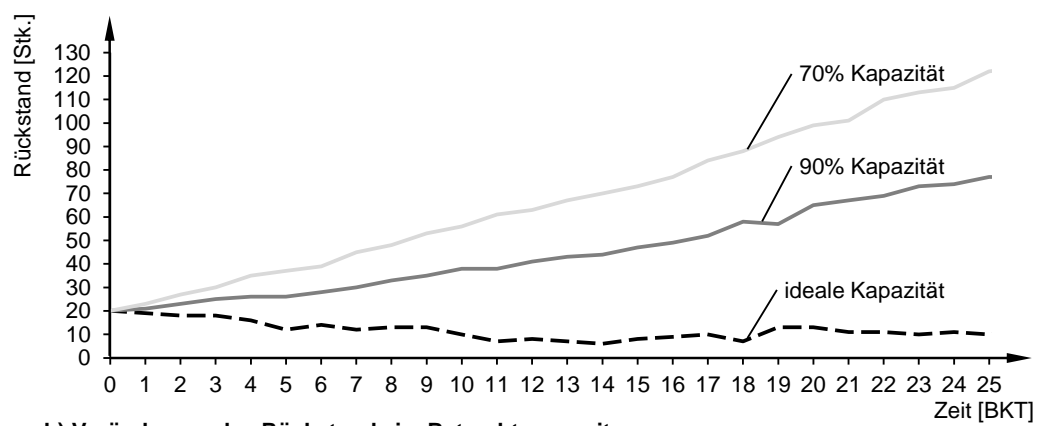


Abbildung 54: Erwarteter Verlauf der Durchlaufdiagramme der Versuchsreihe

Die zweite Simulationsstudie wurde für eine Simulationszeit von 50 BKT ausgewertet. Aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit zeigt Abbildung 55 nur das Durchlaufdiagramm für die ersten 25 BKT der Auswertung für die Versuchsreihe. Aus dem Durchlaufdiagramm geht hervor, dass der Ist-Abgang für den Versuch mit idealer Kapazität (8 Stunden pro BKT) annähernd parallel zum Plan-Abgang verläuft. Die mittlere Ist-Leistung beträgt in diesem Versuch 24,3 Stück pro BKT und liegt damit etwas über der Planleistung der Versuchsreihe von 24 Stück pro BKT. Aus diesem Grund nähern sich die Kurven für den Plan-Abgang und den Ist-Abgang in diesem Versuch leicht an. Der anfänglich bestehende Rückstand von 20 Stück beträgt an BKT 25 noch 10 Stück.



a) Durchlaufdiagramm



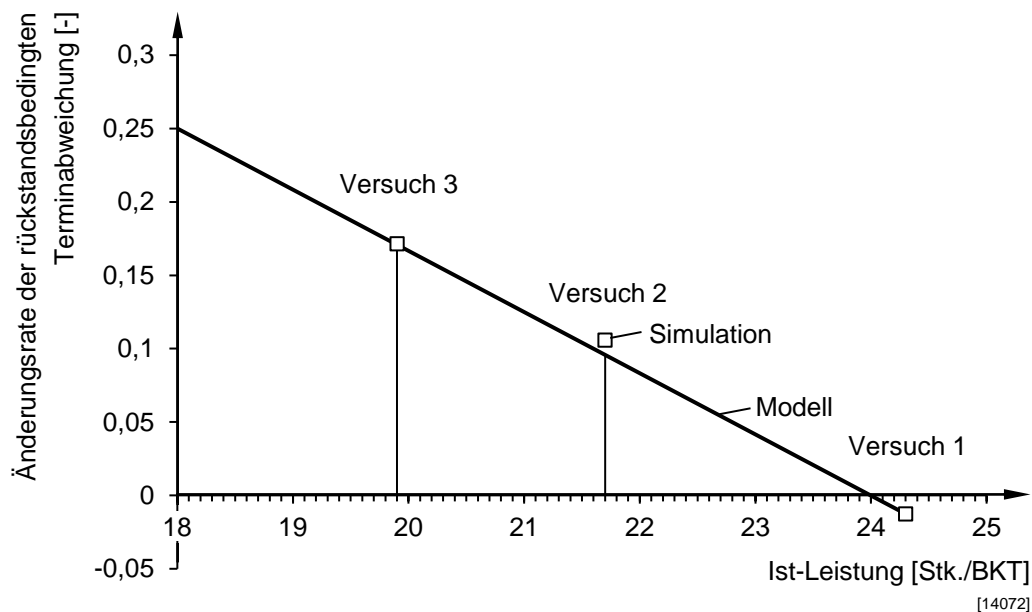
b) Veränderung des Rückstands im Betrachtungszeitraum

[14072-1]

Abbildung 55: Durchlaufdiagramm des Plan- und Ist- Abgangs und Rückstandsänderung (Studie 2)

Anders als im ersten Versuch liegt die mittlere Ist-Leistung für die Versuche mit geringerer Kapazität deutlich unter der Planleistung. Im zweiten Versuch beträgt die mittlere Ist-Leistung 21,7 Stück pro BKT (90% der Plan-Leistung), im dritten Versuch 19,9 Stück pro BKT (83% der Plan-Leistung). Wie erwartet entsteht bei diesen Versuchen ein steigender Rückstand.

Im nächsten Schritt überprüft die Versuchsauswertung, ob die Veränderung der rückstandsbedingten Terminabweichung mit Hilfe der Gleichung 7.15 (S. 129) ausreichend gut beschrieben werden kann. Dazu wird die Terminabweichung des Abgangs der einzelnen Aufträge in den Simulationsversuchen durch Subtraktion des Plan-Fertigstellungstermins vom Ist-Fertigstellungstermin berechnet (Gl. 2.2, S. 16). Über den Betrachtungszeitraum von 50 BKT wird die Änderung der Terminabweichung ermittelt und die Änderungsrate der Terminabweichung bestimmt. Dazu wurde die Differenz zwischen der Terminabweichung des ersten zugehenden Auftrags und des letzten bearbeiteten Auftrags im Betrachtungszeitraum berechnet¹¹. Da im Simulationsmodell keine Reihenfolgevertauschungen von Aufträgen vorkommen, kann die entstehende Terminabweichung vollständig auf den Rückstand zurückgeführt werden (Abschnitt 7.3.3, S. 127).



¹¹ Eine Berechnung der Rückstandsänderung und Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung durch Intervalle führte zu sehr ähnlichen Ergebnissen.

Abbildung 56: Berechnete und tatsächliche Rückstandsverläufe der Versuche 1-3

Abbildung 56 stellt die mit dem Modell berechnete und tatsächlich gemessene Änderung der rückstandsbedingten Terminabweichung gegenüber. Die Berechnung der Modellwerte erfolgt mit Hilfe der Gleichungen 7.11 bzw. 7.15 (S. 129). Die Leistungswerte für die Modellberechnung wurden aus den Simulationsversuchen entnommen. Der gemessene Mittelwert der Änderungsrate der Terminabweichung weicht nur in Versuch 2 leicht vom berechneten Wert ab. Hier beträgt der berechnete Wert 0,09 BKT/ BKT und der tatsächliche Wert 0,1 BKT/ BKT. Für die Versuche 1 und 3 stimmen berechnete und tatsächliche Änderungsrate der Terminabweichung überein (vgl. Tabelle 19).

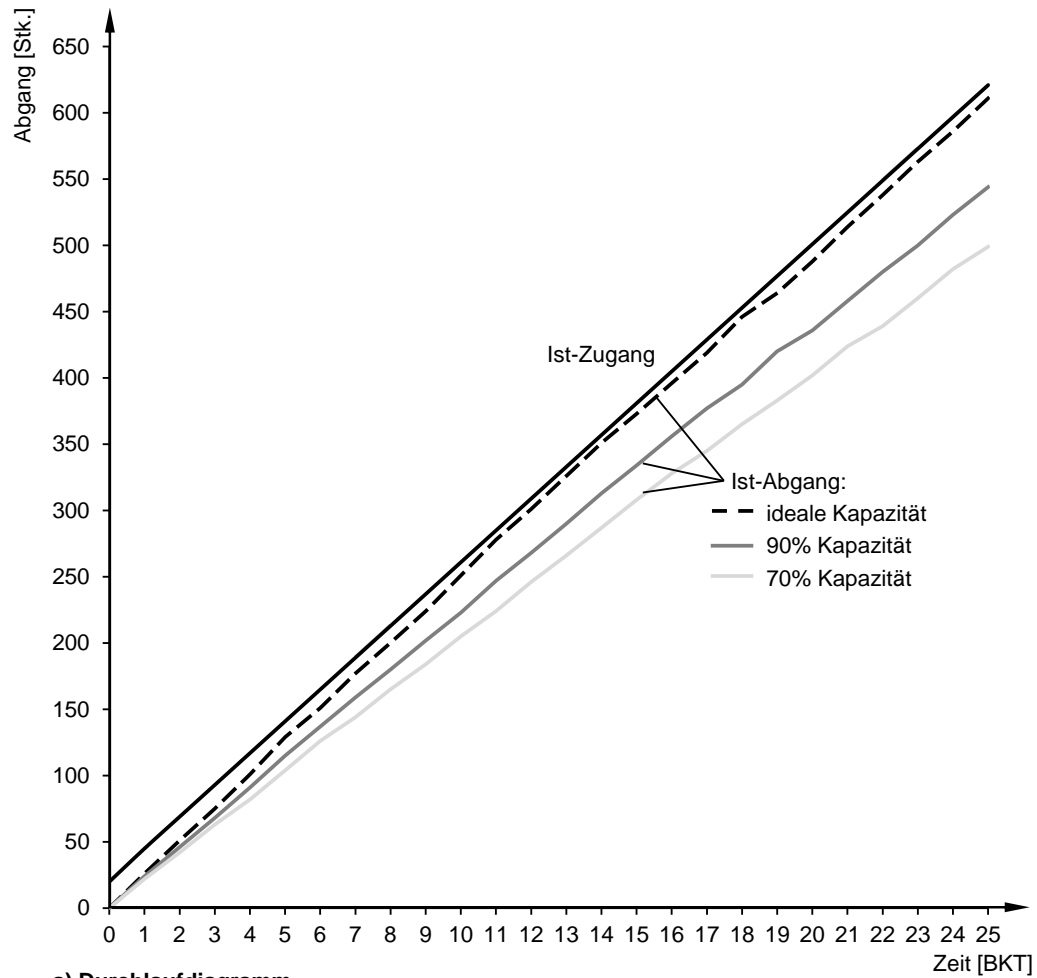
Tabelle 19: Gegenüberstellung der berechneten und simulierten Werte für die Änderungsrate von Rückstand und Terminabweichung

	Simulation (1)	Modell (2)	$\Delta (1 - 2)$
Versuch 1			
L [Stk./BKT]	24,3	24,3	-
RRS [Stk./BKT]	-0,3	-0,3	0,0
RTAA [-]	-0,01	-0,01	0,00
Versuch 2			
L [Stk./BKT]	21,7	21,7	-
RRS [Stk./BKT]	2,4	2,3	0,1
RTAA [-]	0,09	0,10	-0,01
Versuch 3			
L [Stk./BKT]	19,9	19,9	-
RRS [Stk./BKT]	4,2	4,2	0,0
RTAA [-]	0,17	0,17	0,00

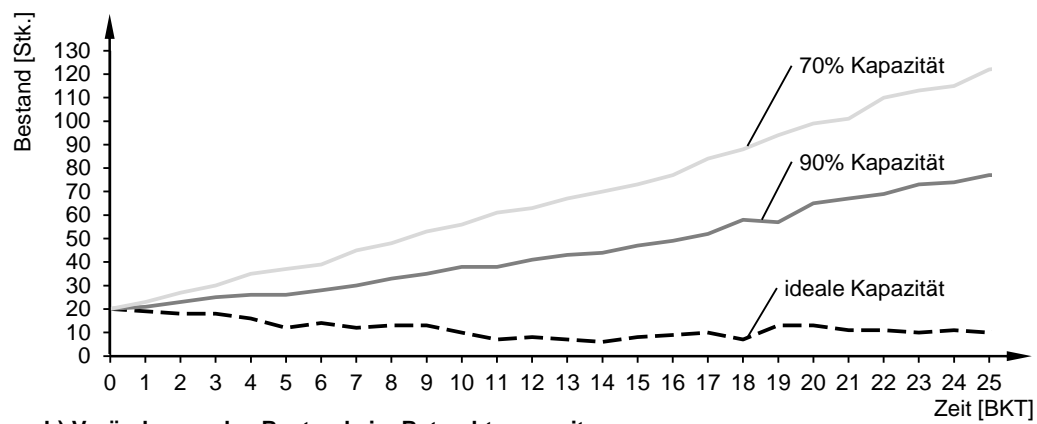
Die ermittelten Zusammenhänge aus Abschnitt 7.3.3 können daher ebenfalls durch die Simulationsversuche bestätigt werden.

Bestand und Durchlaufzeit

Dieser Abschnitt wertet das Durchlaufdiagramm aus Studie 2 erneut aus, um die Gültigkeit der beschriebenen Zusammenhänge zwischen Produktivität, Bestand und Reichweite bzw. Durchlaufzeit zu überprüfen (vgl. Abschnitte 7.3.4 und 7.3.5). Da die Werte für den Plan-Abgang des Durchlaufdiagramms in Abbildung 55 aus dem Zugang der Aufträge in der Simulationsstudie ermittelt wurden, ist es möglich die Zugangstermine der Aufträge mit Hilfe der Plandurchlaufzeiten zu ermitteln. Das resultierende Durchlaufdiagramm ist in Abbildung 57 dargestellt. Auf Grund der kurzen Plan-Durchlaufzeiten ähnelt diese Darstellung dem Durchlaufdiagramm für die Auswertung des Rückstands (vgl. Abbildung 55).



a) Durchlaufdiagramm



b) Veränderung des Bestands im Betrachtungszeitraum

[14072-2]

Abbildung 57: Durchlaufdiagramm und Bestandsentwicklung (Studie 2)

Für alle ausgewerteten Versuche besteht ein Anfangsbestand von 20 Stk. Die Belastung entspricht der Plan-Leistung und beträgt daher 24 Stk./BKT. Da die Ist-Leistung (24,3 Stk./BKT) im ersten Versuch leicht über der Plan-Leistung liegt, kommt es in diesem Fall zu einem leichten Bestandsabbau. Die Ist-Leistungen in den Versuchen 2 (21,7 Stk./BKT) und 3 (19,9 Stk./BKT) unterschreiten die Belastung deutlich. Daher steigt in diesen Versuchen das Bestandsniveau. Weil die Belastung der Plan-Leistung entspricht, entspricht die Bestandsänderungsrate der Rückstandsänderungsrate. Daher stimmen auch die berechneten Werte für die Änderungsrate der Durchlaufzeit mit denen der rückstandsbedingten Terminabweichung überein (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 20: Gegenüberstellung der berechneten und simulierten Werte für die Bestandsänderungsrate

	Simulation (1)	Modell (2)	$\Delta (1 - 2)$
Versuch 1			
L [Stk./BKT]	24,3	24,3	-
RB [Stk./BKT]	-0,3	-0,3	0,0
RZDL [-]	-0,01	-0,01	0,00
Versuch 2			
L [Stk./BKT]	21,7	21,7	-
RB [Stk./BKT]	2,4	2,3	0,1
RZDL [-]	0,09	0,10	-0,01
Versuch 3			
L [Stk./BKT]	19,9	19,9	-
RB [Stk./BKT]	4,2	4,2	0,0
RZDL [-]	0,17	0,17	0,0

Die Simulationswerte für die Bestandsänderungsrate und Änderungsrate der Durchlaufzeit in Tabelle 20, wurden analog dem Vorgehen für die Rückstandsänderung und die Änderungsrate der rückstandsbedingten Terminabweichung berechnet. Die Durchlaufzeit wird dabei durch die Subtraktion des Zugangstermins vom Fertigstellungstermin eines Auftrags berechnet (vgl. Gl. 2.5, S. 17). Die Änderungsrate wurde mit Hilfe der Differenz der Durchlaufzeiten des ersten zugehenden Auftrags und des letzten fertiggestellten Auftrags berechnet.

Wie bei der Auswertung zur Änderungsrate des Rückstands und der rückstandsbedingten Terminabweichung treten nur beim zweiten Versuch leichte Abweichungen zwischen den Modellwerten und den Simulationswerten auf (vgl. Tabelle 20).

7.4.4 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

Das entwickelte Kopplungsmodell kann anhand der einfachen Simulationsstudien bestätigt werden. Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass sich die Produktivität

eines Arbeitssystems als Quotient aus dessen Leistung und Kapazität abbilden lässt. Folglich ist die Leistung eines Arbeitssystems das Produkt aus der Kapazität und der Produktivität. Liegen Produktivität und/ oder Kapazität unter ihren Planwerten, so kommt es zum Aufbau von Rückstand und einer zunehmenden rückstandsbedingten Terminabweichung. Eine zu groß dimensionierte Kapazität, mit dem Ziel, Rückstände zu verhindern, führt hingegen zu Produktivitätsverlusten.

Die Simulationsstudien zeigen auch auf, dass eine produktivitätsbedingte Veränderung der Ist-Leistung zu Bestandsänderungen und daher zu Veränderungen der Durchlaufzeit führen kann. Dies gilt jedoch nur unter der Bedingung, dass die Belastung des Arbeitssystems nicht an die Ist-Leistung des Arbeitssystems gekoppelt ist, etwa durch bestandsregelnde Verfahren zur Auftragsfreigabe.

7.5 Implikationen für die PPS

Das erweiterte Modell der Fertigungssteuerung zeigt zwei wesentliche Wechselwirkungen zwischen der Arbeitsproduktivität und den logistischen Zielgrößen. Die Aufgaben der Fertigungssteuerung, die das erweiterte Modell mit diesen Zielgrößen assoziiert, sind die Produktionsplanung, die Auftragsfreigabe und die Kapazitätssteuerung. Dieser Abschnitt legt nun dar, wie diese Aufgaben die Erkenntnisse aus dem Kopplungsmodell berücksichtigen können.

Implikationen für die Produktionsplanung

Weil die Produktionsplanung die Plan-Produktivität bestimmt, kommt dieser Aufgabe des erweiterten Modells der Fertigungssteuerung wohl die größte Bedeutung zu. Für die Produktionsplanung folgt daher eine Reihe von Implikationen:

Einbeziehung des Produktivitätsmanagements – Um sinnvolle Vorgaben für die Produktivität abzuleiten, muss die Produktionsplanung das Produktivitätsmanagement einbeziehen. Dazu gehört, dass das Produktivitätsmanagement Informationen (z.B. erwartete Produktivitätswirkung und Wirkungszeitraum) über laufende und geplante Verbesserungsverfahren bereitstellt. Kann die Produktionsplanung auf Basis geeigneter Prognosen der Produktivität den idealen Kapazitätsbedarf genau planen und anpassen, reduziert dies die Wechselwirkungen zwischen Produktivität und logistischen Zielgrößen. Das Modell der Arbeitsproduktivität bietet durch seine detaillierte Abbildung der Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität eine geeignete Grundlage für die Prognose der Produktivität.

Positionierung zwischen den Zielgrößen Produktivität und Termintreue – Zudem muss die Produktionsplanung die jeweilige Bedeutung der Zielgrößen Termintreue und Produktivität für eine Fertigung bestimmen. Beide Größen sind in der Regel

von großer Bedeutung für produzierende Unternehmen [Nyhu16, S. 9; Glöc19, S. 235]. Ist jedoch z.B. die Termintreue von ungleich größerer strategischer Bedeutung für eine Fertigung, so sollte eine konservativere Planung der Produktivität erfolgen, um Rückstände schon im Rahmen der Planung zu berücksichtigen bzw. zu vermeiden. Ist jedoch die Termintreue der Produktivität als Ziel untergeordnet, können progressive Produktivitätsziele erstellt werden, um kapazitätsbedingte Auslastungsverluste konsequent zu vermeiden. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang ein möglicher negativer Effekt auf die Motivation der Mitarbeiter durch unerreichbare Produktivitätsziele.

Nutzung von Puffern in der Planung – Auf Grund der unvermeidlichen Schwankungen der Produktivität können Puffer dazu beitragen, negative Effekte einer abweichenden Ist-Produktivität zu vermeiden. Im Falle einer geringeren Ist-Produktivität können Lieferzeitpuffer verhindern, dass Fertigungsrückstände sofort zu Lieferverzögerungen führen. Kapazitätspuffer geben der Kapazitätssteuerung zudem die Möglichkeit, im Rahmen einer Rückstandsregelung auf steigende Rückstände zu reagieren.

Übersteigt die Ist-Produktivität ihren Planwert sollte die Auftragsfreigabe so gestaltet sein, dass das Arbeitssystem die Bestände nicht vollständig abbaut und leerläuft. Hier kann eine vorzeitige Auftragsfreigabe dazu beitragen, dass kurzzeitig mehr Aufträge freigegeben werden, um eine höhere Ist-Produktivität nutzen zu können.

Implikationen für die Kapazitätsplanung und -steuerung

Da Kapazität und Produktivität eines Arbeitssystems gemeinsam dessen Leistung bestimmen, kommt der Aufgabe der Kapazitätssteuerung eine große Bedeutung zu. Ist die Kapazitätssteuerung in der Lage, eine ausreichende Flexibilität der Fertigungskapazität zu erreichen, kann sie Schwankungen der Produktivität ausgleichen, die andernfalls zum Aufbau von Rückstand führen. Hierzu bietet sich eine rückstandsorientierte Steuerung der Fertigungskapazität an. Eine solche Rückstandsregelung erhöht kurzfristig die Fertigungskapazität eines Arbeitssystems, wenn dessen Rückstand einen zuvor definierten Grenzwert überschreitet [Lödd16, S. 551ff.]. Ein solches Vorgehen ist allerdings nur möglich, wenn das entsprechende Arbeitssystem nicht schon an seiner Kapazitätsgrenze arbeitet (z.B. in einem durchgängigen Dreischichtbetrieb). Gleichzeitig kann die Kapazitätsplanung verhindern, dass in Zeiten mit geringerer Nachfrage starke Produktivitätsverluste entstehen. Dazu muss die Kapazitätsplanung die Kapazität in solchen Situationen senken.

Implikationen für die Auftragsfreigabe

Die Untersuchung der Wechselwirkungen in Abschnitt 7.3.5 haben gezeigt, dass Schwankungen der Produktivität zu Veränderungen des Bestands führen. Speziell eine geringere Produktivität führt zu steigenden Beständen und Durchlaufzeiten. Vor diesem Hintergrund ist es ratsam, eine bestandsregelnde Auftragsfreigabe zu implementieren. Ein Beispiel für ein solches Verfahren ist die ConWIP-Methode. Sie definiert einen festen Umlaufbestand für eine Fertigung. Ist der definierte Bestand erreicht, können erst wieder Fertigungsaufträge zugehen, wenn zuvor in Bearbeitung befindliche Aufträge fertiggestellt werden [Hopp08, S. 488ff.; Lödd16, S. 373ff.]. Auf diese Weise wird verhindert, dass eine geringere Produktivität zu steigenden Beständen und Durchlaufzeiten führt. Gleichzeitig verhindert dieses Vorgehen, dass ein sinkender Bestand durch eine geringere Auslastung zu Produktivitätsverlusten führt. In solch einem Fall muss jedoch zusätzlich überprüft werden, ob eine gesteigerte Leistung in Folge einer höheren Produktivität der Nachfragesituation gerecht wird. Andernfalls drohen eine Überproduktion und der Aufbau von Fertigwarenbeständen.

Die hier diskutierten Implikationen für die PPS beeinflussen sich gegenseitig. Ist die Produktionsplanung in der Lage, durch Einbeziehung des Produktivitätsmanagements eine besonders genaue Kapazitätsplanung durchzuführen, verliert die strategische Positionierung zwischen den Zielgrößen und die Definition von Puffern an Bedeutung. In diesem Fall können beide Zielgrößen zufriedenstellend erfüllt werden und umfangreiche Puffer sind nicht erforderlich.

8 Schlussbetrachtung

8.1 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Erklärungsmodell der Arbeitsproduktivität zu schaffen, das Einflussgrößen auf die Arbeitsproduktivität quantitativ beschreibt. Das Modell soll als Grundlage für eine zielgerichtete Verbesserung der Arbeitsproduktivität in produzierenden Unternehmen fungieren und die Möglichkeit bieten, Veränderungen der Arbeitsproduktivität zu prognostizieren. Ein Kopplungsmodell soll Wechselwirkungen zwischen der Arbeitsproduktivität und den logistischen Zielgrößen quantitativ abbilden, um ein abgestimmtes Management der Produktivität und der logistischen Zielgrößen zu ermöglichen.

In seinem Grundlagenteil beschreibt die Arbeit zunächst die verschiedenen Eigenschaften von Modellen und mögliche Vorgehensweisen zur Modellierung von Arbeitssystemen. Um die Anforderungen an die Modellierung abzuleiten, werden Arbeitsproduktivität und logistische Zielgrößen beschrieben und die verschiedenen Teilbereiche des Produktionsmanagements voneinander abgegrenzt.

Auf Basis einer systematischen Analyse der Literatur zum Thema Arbeitsproduktivität und ihrer Modellierung werden im Weiteren bestehende Produktivitätsmodelle untersucht. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der bestehenden Modelle ist dabei die Art der Modellbildung, die entweder empirisch oder analytisch ist. Die Untersuchung der bestehenden Modelle zeigt, dass ein allgemeingültiges und trotzdem detailliertes Modell der Arbeitsproduktivität bislang fehlt. Bestehende Modelle sind entweder auf eine spezifische Fertigungsform ausgerichtet und nicht allgemeingültig oder zu wenig detailliert und handlungsorientiert, um eine Entscheidungsgrundlage für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität zu bilden.

Die Untersuchung der bestehenden Modelle zeigt auch, dass sich zur Schaffung eines allgemeingültigen Modells der Arbeitsproduktivität ein analytisches Vorgehen am besten eignet. Das entstandene Modell leitet daher ausgehend von der Arbeitsproduktivität verschiedene Einflüsse durch eine stückweise Zerlegung der Komponenten der Arbeitsproduktivität ab. Für diese Einflüsse werden insgesamt fünf Regel- und 13 Stellgrößen durch das Modell formuliert. So entstehen zwei Modellebenen. Das Regelgrößenmodell zeigt zunächst die wesentlichen Gruppen von Einflüssen auf. Diese sind dem Output (*Ausschuss*) oder dem Input (*Durchführung der Arbeitsaufgabe*, *Auslastungsverluste*, *geplante* und *ungeplante Abwesenheit*) zugeordnet. Das Modell der Stellgrößen wiederum legt detaillierte Einflüsse auf die Regelgrößen dar. Die Stellgrößen bilden gleichzeitig den Handlungsrahmen für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Aus diesem Grund bilden sie

den Anknüpfungspunkt für die Aufgaben, die das Modell zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität formuliert.

Das entstandene Modell der Arbeitsproduktivität ist als generisches Modell zu betrachten. Es erfordert daher Anpassungen für die Nutzung in einem spezifischen Produktionsumfeld. Kapitel 5 definiert und erläutert daher einen Rahmen für mögliche Anpassungen und gibt einen Überblick über die Nutzung des Modells von der Datenerhebung bis hin zur modellbasierten Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität.

Kapitel 6 evaluiert das Modell der Arbeitsproduktivität. Dazu werden die im Modell beschriebenen Einflüsse zuerst validiert. Danach führt das Kapitel im Rahmen von Fallstudien eine beispielhafte Untersuchung der Arbeitsproduktivität in zwei Fertigungsformen durch. Abschließend bewerten Experten das Modell hinsichtlich seiner Vollständigkeit und Allgemeingültigkeit und beurteilen die Eignung des Modells als Grundlage für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität.

Anders als bei der Arbeitsproduktivität existieren für die logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Termintreue, Bestand und Auslastung belastbare, verbreitete und quantitative Modelle. Dies geht aus der Erläuterung der theoretischen Grundlagen der PPS in Kapitel 2 hervor. Um nun das entstandene Modell der Arbeitsproduktivität mit der PPS zu verknüpfen, erweitert Kapitel 7 die bestehenden logistischen Modelle. Ausgangspunkt dafür ist die Entwicklung eines allgemeingültigen Verständnisses über die Größen Kapazität, Produktivität und Leistung. Das tatsächliche Kopplungsmodell setzt sich aus einem erweiterten Modell der Fertigungssteuerung sowie aus verschiedenen Kennlinien zusammen, die die Wechselwirkungen zwischen Produktivität und logistischen Zielgrößen beschreiben. Um auch das Kopplungsmodell zu evaluieren, nutzt die Arbeit einfache Simulationsstudien.

Kapitel 8 zieht ein Fazit über die entwickelten Modelle und skizziert den weiteren Forschungsbedarf.

8.2 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Modell der Arbeitsproduktivität stellt ein detailliertes und zugleich allgemeingültiges Wirkmodell der Arbeitsproduktivität dar. Es beschreibt vollständig die umfassenden Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität und verknüpft diese mit korrespondierenden Aufgaben zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Dies beinhaltet nicht nur klassische Aufgaben des Produktivitätsmanagements oder der Arbeitsvorbereitung, sondern bezieht auch Aufgaben des Qualitätsmanagements

und der PPS ein. Die Befragung von Experten auf dem Gebiet des Produktivitätsmanagements zeigt, dass das Modell verständlich und nachvollziehbar ist und so einen Mehrwert bei der Erklärung der Arbeitsproduktivität schafft.

Das Modell der Arbeitsproduktivität bildet eine theoretische Grundlage für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität und die durchgeführten Fallstudien demonstrieren den Einsatz zur Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität. Darüber hinaus ist es möglich, bestehende Verfahren wie Multimoment-Häufigkeits-Studien zur Erhebung von Produktivitätsdaten für das Modell zu nutzen. Die befragten Experten bewerten das Modell jedoch weniger positiv hinsichtlich seiner Eignung zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität, da es allein noch kein funktionierendes Produktivitätsmanagement bildet. Es fehlt nach wie vor ein durchgängiges Vorgehen für die Verbesserung der Arbeitsproduktivität, welches sich an den Einflüssen auf die Arbeitsproduktivität orientiert. Ähnliches gilt auch für die vom Modell aufgezeigten Aufgaben. Zwar zeigen die Aufgaben, welche Möglichkeiten zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität bestehen; wie Unternehmen diese Aufgaben wahrnehmen sollten, bleibt jedoch unklar. Das Ziel weiterer Forschungsarbeiten zu diesem Thema muss daher sein, ein methodisches Produktivitätsmanagement zu entwickeln, dass sich statt an Abläufen an den Stellgrößen des Arbeitsproduktivitätsmodells orientiert. Des Weiteren sollten zukünftige Arbeiten das Thema der Aufgaben aufgreifen. Damit Unternehmen ihre Aufgaben in geeigneter Weise ausführen können, muss ein Vorgehen zur Konfiguration dieser Aufgaben beschrieben werden. Ein Ausgangspunkt hierfür können die Aufgaben aus den Modellen der logistischen Zielgrößen sein.

Damit ein abgestimmtes Management aller Zielgrößen des Produktionsmanagements möglich ist, muss detailliert beschrieben werden, welche Wirkbeziehungen zwischen ihnen bestehen. Das Modell bildet auch hier eine theoretische Grundlage, da es die Aufgaben mit Schnittstellenwirkung in strukturierter Form aufzeigt. Mit dem Kopplungsmodell zwischen der Arbeitsproduktivität und den logistischen Zielgrößen bildet diese Arbeit zudem erstmalig die Wechselwirkungen zwischen zwei Teilbereichen des Produktionsmanagements detailliert und quantifizierbar ab. Auch hier zeigt sich, dass ein methodisches Vorgehen, welches die theoretischen Grundlagen aufgreift, noch fehlt. Für weitere wissenschaftliche Arbeiten auf diesem Gebiet bestehen daher zwei potenzielle Forschungsfelder. Zum einen müssen weitere Arbeiten auch die anderen Schnittstellenaufgaben detaillierter untersuchen und um quantitative Kopplungsmodelle erweitern. Hierzu bietet sich das Qualitätsmanagement an. Zum anderen müssen weitere Arbeiten die theoretischen Grundlagen in praxisorientierte Vorgehensweisen überführen. Das erweiterte Modell der Fertigungssteuerung bildet dafür einen geeigneten Rahmen. Einen sinnvollen ersten Ansatzpunkt bildet beispielsweise die Kapazitätsplanung und -steuerung. Hier

ist es notwendig ein abgestimmtes Vorgehen zu entwickeln, welches das Produktivitätsmanagement in die Planung der Kapazität einbezieht. Ein solches Vorgehen muss unter anderem Ziele für die Arbeitsproduktivität definieren, die in die Planung und Steuerung der Arbeitskapazität einfließen. Dazu müssen einerseits belastbare Prognosen der Produktivität vorliegen, andererseits jedoch auch Strategien geschaffen werden, welche die Abweichungen von Plan- und Ist-Produktivität abfangen können. Mit Hilfe der Modellierung von Produktivität und Rückstand kann eine geeignete Vorgehensweise z.B. notwendige Lieferzeitpuffer definieren.

Literaturverzeichnis

- Alms12 Almström, P.: Productivity measurement and improvements: A theoretical model and applications from the manufacturing industry. In: Emmanouilidis, Christos; Taisch, Marco; Kiritsis, Dimitris (Hrsg.): Advances in production management systems: Competitive manufacturing for innovative products and services; IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2012, Rhodes, Greece, September 24-26, 2012; revised selected papers, Heidelberg: Springer, 2012, S. 297-304.
- Bech84 Bechte, W.: Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung. In: Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften, Bd. 2, Nr. 70, 1984.
- Beck05 Beck, S.: Skill-Management: Konzeption für die betriebliche Personalentwicklung, Dissertation. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2005.
- Bokr06 Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen: MTM-Handbuch. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2006.
- Boss92 Bossel, H.: Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme, ein Lehr- und Arbeitsbuch. Wiesbaden: Springer, 1992.
- Czum13 Czumanski, T.: Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion, Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013.
- Daen02 Daenzer, W. F.; Haberfellner, R.; Becker, M.: Systems engineering: Methodik und Praxis. 11., durchges. Auflage. Zürich: Verl. Industrielle Organisation, 2002.
- DIN31051 DIN: Grundlagen der Instandhaltung, 2019-06-00.
- DIN4426 DIN: Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen: Planung und Ausführung, 2017-01-00.
- DIN9000 DIN: Qualitätsmanagementsysteme: Grundlagen und Begriffe, 2015-11-00.
- Diss05 Dissanayake, M.; Robinson, F. A.; Russell, A. D.; Pedrycz, W.: A Hybrid Neural Network for Predicting Construction Labour Productivity.

- In: Soibelman, Lucio; Feniosky, Peña-Mora (Hrsg.): International Conference on Computing in Civil Engineering 2005, 2005, S. 1-12.
- Domb06 Dombrowski, U.; Hennersdorf, S.; Schmidt, S.: Grundlagen Ganzheitlicher Produktionssysteme: Aus der Herkunft für die Zukunft lernen. In: ZWF, Bd. 101, Nr. 4, 2006, S. 172-177.
- Domb15 Dombrowski, U.; Mielke, T.: Gestaltungsprinzipien Ganzheitlicher Produktionssysteme. In: Dombrowski, U.; Mielke, T. (Hrsg.): Ganzheitliche Produktionssysteme: Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen: Springer Vieweg, 2015, S. 25-169.
- Domb88 Dombrowski, U.: Qualitätssicherung im Terminwesen der Werkstattfertigung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1988.
- Dorn14 Dorner, M.: Das Produktivitätsmanagement des Industrial Engineering unter besonderer Betrachtung der Arbeitsproduktivität und der indirekten Bereiche, Doktorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, 2014.
- Dua19 Dua, P.; Garg, N. K.: Determinants of labour productivity: Comparison between developing and developed countries of Asia-Pacific. In: Pacific Economic Review, Bd. 24, Nr. 5, 2019, S. 686-704.
- Erbe12 Erber, G.; Hagemann, H.: Zur Produktivitätsentwicklung Deutschlands im internationalen Vergleich: Expertise im Auftrag der Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung Abt. Wirtschafts- und Sozialpolitik, 2012.
- Gilb12 Gilbreth, F. B.: Primer of Scientific Management. New York: D. Van Nostrand Company, 1912.
- Glöc16 Glöckner, R.; Benter, M.; Lödding, H.: An integrative Model of Productivity and Logistic Objectives. In: Alencar Nääs, I. d. (Hrsg.): Advances in Production Management Systems. Production Management Initiatives for a Sustainable World: IFIP WG 5.7 Conference on Advances in Production Management Systems, APMS 2016, held in Iguassu Falls, Brazil, in September 2016: Springer, 2016, S. 146-153.
- Glöc17 Glöckner, R.; Benter, M.; Grabner, C.; Lödding, H.: Modellierung der Arbeitsproduktivität: Working Paper zum Forschungsprojekt (DFG - 276982335). Hamburg, 2017.

- Glöc19 Glöckner, R.; Lödding, H.: Produktivität Kapazität und Terminabweichung: Eine Modellierung mit Kennlinie. In: wt Werkstattstechnik online, Bd. 109, Nr. 4, 2019, S. 235-239.
- Goel17 Goel, V.; Agrawal, R.; Sharma, V.: Factors affecting labour productivity: an integrative synthesis and productivity modelling. In: Global Business and Economics Review, Bd. 19, Nr. 3, 2017, S. 299-322.
- Grab17 Grabner, C.; Engel, A.; Scheel, L.; Lödding, H.: Bewertung des Aufwands von Lean-Methoden. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Nr. 03, 2017, S. 114-117.
- Grab18 Grabner, C.; Glöckner, R.; Barck, N.; Lödding, H.: Produktivitätsanalyse 4.0. In: Matt, Dominik T. (Hrsg.): KMU 4.0 - Digitale Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen: GITO Verlag, 2018, S. 113-132.
- Grab19 Grabner, C.; Klein, P.; Lödding, H.: Erfolgsprognose für Produktivitätsmethoden. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Bd. 114, Nr. 3, 2019, S. 105-109.
- Grab20 Grabner, C.: Methodengestütztes Produktivitätsmanagement: Entwicklung eines datenbasierten Vorgehens, Dissertation, Technische Universität Hamburg, 2020.
- Gute83 Gutenberg, E.: Die Produktion. 24., unveränd. Auflage. Berlin: Springer, 1983.
- Hack89 Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS): Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2., überarb. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verl, 1989.
- Hedm16 Hedman, R.: Capturing the operational improvement potential of production systems, Dissertation, 2016.
- Helf16 Helfrich, H.: Wissenschaftstheorie für Betriebswirtschaftler. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- Hopp08 Hopp, W. J.; Spearman, M. L.: Factory_Physics_3rd Edition // Factory physics. 3. Auflage. New York, NY: McGraw-Hill/Irwin/Irwin, 2008.
- Inte12 International MTM Directorate: MTM-UAS: Training Manual, 2012.

- Jang11 Jang, H.; Kim, K.; Kim, J.: Labour productivity model for reinforced concrete construction projects. In: Construction Innovation, Bd. 11, Nr. 1, 2011, S. 92-113.
- Kell94 Kelley, M. R.: Productivity and Information Technology: The Elusive Connection. In: Management Science, Bd. 40, Nr. 11, 1994, S. 1406-1425.
- Kuo01 Kuo, Tsai-C.; Huang, Samuel H.; Zhang, Hong-C.: Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. In: Computers & Industrial Engineering, Bd. 41, Nr. 3, 2001, S. 241-260.
- Kuyu13 Kuyumcu, A.: Modellierung der Termintreue in der Produktion, Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013.
- Lano01 Lanoie, P.; Raymond, F.; Shearer, B.: Work sharing and productivity: evidence from firm level data. In: Applied Economics, Bd. 33, Nr. 9, 2001, S. 1213-1220.
- Litt61 Little, J. D. C.: A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$. In: Operations Research, Bd. 9, Nr. 3, 1961, S. 383-387.
- Lödd14 Lödding, H.: Gedanken zu einem abgestimmten Management von Kosten, Zeit und Qualität. In: Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Enterprise - Integration: Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen, Dordrecht: Springer, 2014, S. 23-35.
- Lödd16 Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. [Online-Ausg. der] 3. [gedr.] Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016.
- Lucz98 Luczak, H.; Eversheim, W.; Schotten, M.; Schotten, Martin: Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 1. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998.
- Natt18 Nattrass, N.; Seekings, J.: Employment and labour productivity in high unemployment countries. In: Development Policy Review, Bd. 36, Nr. 2, 2018, 769-785.
- Nebi02 Nebel, T.: Produktivitätsmanagement: theoretische Grundlagen, methodische Instrumentarien, Analyseergebnisse und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierenden Unternehmen. München: Hanser, 2002.

- Nyhu12 Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.
- Nyhu16 Nyhuis, P.: Aktuellen Herausforderungen der Produktionsplanung und -steuerung mittels Industrie 4.0 begegnen: Studienergebnisse. Garbsen: PZH Verlag, 2016.
- Ohno93 Ohno, T.: Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verl., 1993.
- Pete96 Petermann, D.: Modellbasierte Produktionsregelung. Als Ms. gedr. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verl, 1996.
- Poli01 Poli, C.: Design for manufacturing: A structured approach. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001.
- Port98 Porter, M. E.: The competitive advantage of nations: With a new introduction. New York: Free Press, 1998.
- REFA78 REFA: Methodenlehre des Arbeitsstudiums. München: Hanser, 1978.
- REFA93 REFA: Grundlagen der Arbeitsgestaltung. 2. Auflage. München: Hanser, 1993.
- REFA97 REFA: Datenermittlung. München: Carl Hanser Verlag, 1997.
- Rosk86 Roski, R.: Einsatz von Aggregaten: Modellierung und Planung, Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 1985 u.d.T.: Roski, Reinhold: Planung der Produktion, Instandhaltung und Nutzungsdauer für ein Aggregat. Berlin: Duncker & Humblot, 1986.
- Rudo11 Rudow, B.: Die gesunde Arbeit: Arbeitsgestaltung, Arbeitsorganisation und Personalführung. 2., vollständig überarbeitete. Auflage. München: Oldenbourg Verlag, 2011.
- Sait01 Saito, S.: Reducing labor costs using industrial engineering techniques. In: Maynard, H. B.; Zandin, K. B. (Hrsg.): Maynard's industrial engineering handbook, 5. Auflage, New York: McGraw-Hill, 2001
- Saka10 Sakamoto, S.: Beyond World-Class Productivity: Industrial Engineering Practice and Theory. London: Springer-Verlag London, 2010.
- Schl10 Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.

- Shay02 Shayan, E.; Sobhanallahi, A.: Productivity gains by cellular manufacturing. In: Production Planning & Control, Bd. 13, Nr. 6, 2002, S. 507-516.
- Spen19 Spengler, T.; Metzger, O.; Volkmer, T.: Moderne Personalplanung: Modelle, Methoden und Fallbeispiele, Wiesbaden: Springer Gabler, 2019.
- Stac73 Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer, 1973.
- Stat19 Statista: Arbeitsunfähigkeit - Krankenstand in Deutschland nach Branchen bis 2017 | Statista.
- Stow13 Stowasser, S.: Produktivitätsmanagement - Zukunft des Industrial Engineerings in Deutschland. Bergisch-Gladbach: Heider, 2013.
- Suma84 Sumanth, D. J.: Productivity Engineering and Management: Productivity Measurement, evaluation, Planning and Improvement in Manufacturing and Service Organizations. Miami: McGraw-Hill, Inc., 1984.
- Tang05 Tangen, S.: Demystifying productivity and performance. In: International Journal of Productivity and Performance Management, Bd. 54, Nr. 1, 2005, S. 34-46.
- Tayl11 Taylor, F. W.: The principles of scientific management. New York, London: Harper & Brothers, 1911.
- Tiet14 Tietze, F.; Lödding, H.: Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatfertigung: Eine Grundlage für zielorientierte Verbesserungsprozesse in der Unikatfertigung. In: Industrie Management, Bd. 30, Nr. 3, 2014, S. 62-66.
- Tiet16 Tietze, F.: Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion, Dissertation, Technische Universität Hamburg, 2016.

- Töll10 Töllner, A.; Jungmann, T.; Bücker, M.; Brutscheck, T.: Modelle und Modellierung: Terminologie, Funktionen und Nutzung. In: Bandow, G. (Hrsg.): "Das ist gar kein Modell!": Unterschiedliche Modelle und Modellierungen in Betriebswirtschaftslehre und Ingenieurwissenschaften, 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 2010, S. 3-21.
- Vast00 Vastag, G.: The theory of performance frontiers. In: Journal of Operations Management, Bd. 18, Nr. 3, 2000, S. 353-360.
- VDI2249 VDI-Gesellschaft: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung, 2003-09-00.
- VDI2870 VDI-Gesellschaft: Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung und Bewertung, 2012-07-00.
- VDI3633 VDI-Gesellschaft: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen: Begriffe, 2018-05-00.
- Wien97 Wiendahl, H.-P.: Fertigungsregelung: Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. München [u.a.]: Hanser, 1997.
- Woma04 Womack, J. P.; Jones, D. T.: Lean thinking: Ballast abwerfen, Unternehmensgewinne steigern. Erw. und aktualisierte. Auflage. Frankfurt am Main, New York: Campus-Verl., 2004.
- Yu01 Yu, K.-W.: Terminkennlinie: Eine Beschreibungsmethodik für die Terminabweichung im Produktionsbereich, Univ., Diss., Leibniz Universität Hannover, 2001. Als Ms. gedr. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verl., 2001.

Anhang

Anhang I – Überblick über die Ergebnisse der Literaturrecherche

Die folgenden Veröffentlichungen wurden im Rahmen der Literaturrecherche innerhalb der Datenbank Scopus als potentiell relevant eingeschätzt und weiter untersucht:

Aase, G. R.; Petersen, C. G.; Kim, G.: The affect of operator travel on u-shaped assembly lines. In: *International Journal of Operations and Quantitative Management*, Bd. 16, Nr. 3, 2010, S. 285-305

Abolhassani, A.; Harner, J.; Jaridi, M.; Gopalakrishnan, B.: Productivity enhancement strategies in North American automotive industry. In *International Journal of Production Research*, Bd. 56, Nr. 4, 2018, S. 1414-1431

Amlazyed, K.; Alaswad, A.; Olabi, A. G.: Study on the Key Factor Parameters to Increase Productivity in Construction and Manufacturing Industries. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Bd. 114, 2nd International Manufacturing Engineering Conference and 3rd Asia-Pacific Conference on Manufacturing Systems (iMEC-APCOMS 2015) 12–14 November 2015, Kuala Lumpur, Malaysia

An, S.; Ji, S.; Hyun, C.; Han, S.: A model-based productivity improvement of reinforced concrete work in a multi-housing project. In: *KSCE Journal of Civil Engineering*, Bd. 19, Nr. 5, 2015, S. 1183-1192

Banker, R.; Field, J.; Schroeder, R.; Sinha, K.: Impact of Work Teams on Manufacturing Performance: A Longitudinal Field Study. In: *Academy of Management Journal*, Bd. 39, Nr. 4, 1996, S. 867-890

Braglia, M.; Frosolini, M.; Gallo, M.; Marrazzini, L.: Lean manufacturing tool in engineer-to-order environment: Project cost deployment. In: *International Journal of Production Research*, Bd. 57, Nr. 6, 2019, S. 1825-1839

Buchmeister, B.; Iztok, P.: Implementation of correlation analysis to work sampling results. In: *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*, 2017, S. 29-34

Czumanski, T.; Lödding, H.: State-based analysis of labour productivity. In: International Journal of Production Research, Bd. 54, Nr. 10, 2016, S. 2934-2950

Dissanayake, M.; Robinson, F. A.; Russell, A. D.; Pedrycz, W.: A Hybrid Neural Network for Predicting Construction Labour Productivity. In: Soibelman, Lucio; Feniosky, Peña-Mora (Hrsg.): International Conference on Computing in Civil Engineering 2005, 2005, S. 1-12.

Goel, V.; Agrawal, R.; Sharma, V.: Factors affecting labour productivity: an integrative synthesis and productivity modelling. In: Global Business and Economics Review, Bd. 19, Nr. 3, 2017, S. 299-322.

Gupta, S. K.; Gupta, S.; Dhamija, P.: An empirical study on productivity analysis of Indian leather industry. In: Benchmarking: An International Journal, Bd. 26, Nr. 3, 2019, S. 815-835

Islamoglu, N. E.; Ryu, K.; Moon, I.: Labour productivity in modular assembly: a study of automotive module suppliers. In: International Journal of Production Research, Bd. 52, Nr. 23, 2014, S. 6954-6970

Jain, R.; Gupta, S.; Meena, M. L.; Dangayach, G. S.: Optimisation of labour productivity using work measurement techniques. In: International Journal of Productivity and Quality Management, Bd. 19, Nr. 4, 2016, S. 485-510

Jang, H.; Kim, K.; Kim, J.: Labour productivity model for reinforced concrete construction projects. In: Construction Innovation, Bd. 11, Nr. 1, 2011, S. 92-113.

Kamaruddin, S.; Khoo, S. Y.; Khan, Z. A.; Siddiquee, A. N.: The effect of layout design on productivity: An empirical study. In: International Journal of Productivity and Quality Management, Bd. 7, Nr. 4, 2011, S. 484-500

Munyai, T. T.; Mboniyane, B. L.; Mbohwa, C.: Productivity improvement in manufacturing SMEs: Application of work study techniques, 1. Auflage, New York, Productivity Press 2017

Phuluwa, H. S.; Grobler, J.: Investigating the impact of rapid responsiveness press tool manufacturing systems on South African labour productivity. In: International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice, Bd. 24, Nr. 6, 2017, S. 604-614

Proverbs, D. G.; Holt, G. D.; Olomolaiye, P. O.: Construction resource/method factors influencing productivity for high rise concrete construction. In: Construction Management and Economics, Bd. 17, Nr. 5, 1999, S 577-587

Schmenner, R. W.: International factory productivity gains. In: Journal of Operations Management, Bd. 10, Nr. 2, 1991, S. 229-254

Anhang II – Modellabgleich zur Beurteilung der Vollständigkeit

Tabelle 21: Komponenten und Einflussgrößen des Produktivitätsmodells von Jang et al. [Jang2011, S. 102]

Komponenten	Einflussfaktor
Betriebsmittel und Material	Betriebs- und Hilfsmittel (Zustand)
	Betriebs- und Hilfsmittel (Anzahl)
	Betriebs- und Hilfsmittel (Zeit für Wartung)
	Material (Menge)
	Material (Transportsystem)
	Material (Beschaffung)
Mitarbeiter	Mitarbeiter (Fähigkeiten)
	Mitarbeiter (Eigenverantwortung)
	Mitarbeiter (Gesundheit)
	Mitarbeiter (Erfahrung)
	Mitarbeiter (Ausbildung)
	Mitarbeiter (Training)
	Mitarbeiter (Motivation und Einstellung)
Charakter der Arbeit	Arbeitsplatz
	Arbeitsplatz (Zugänglichkeit)
	Arbeitsumgebung
	Vorbereitung
	Arbeitsmethode
	Arbeitsumfang (Menge und Schwierigkeitsgrad)
	Arbeitsgruppe
Arbeitsorganisation	Organisation (Personen und Struktur)
	Arbeitsplanung
	Sicherheit/Unfälle
Arbeitsverzögerung	Beanstandungen
Arbeitsanleitung	Arbeitsreihenfolge
	Arbeitsunterlagen
Arbeitstechnologie	Informationstechnologie
	Nacharbeit
	Verzögerung der Arbeit
	Durchgängigkeit der Arbeit

Tabelle 22 zeigt die Einflussgrößen des Modells von Jang et al [Jang11]. Für viele der aufgezeigten Einflüsse ist ein einfacher Abgleich mit dem Modell der Arbeits-

produktivität möglich, z.B. für die Einflussfaktoren Arbeitsmethode und Aufgabebearbeitung und Material (Menge, Transport und Beschaffung) und Materialhandhabung.

In diesen Fällen finden die Einflussfaktoren aus dem Vergleichsmodell eine direkte Entsprechung im Modell der Arbeitsproduktivität, auch wenn sich z.B. eine Einflussgröße im Vergleichsmodell in mehreren Stell- oder Regelgrößen des erarbeiteten Modells wiederfindet. Tabelle 23 stellt die Einflussgrößen des Vergleichsmodells den Stell- und Regelgrößen gegenüber.

Die Tabelle zeigt, dass sich ein Großteil der von Jang et al. [Jang11] identifizierten Einflüsse durch die Regel- und Stellgrößen des vorgestellten Arbeitsproduktivitätsmodells abbilden lassen (weiß hinterlegt). Einige Einflüsse im Modell von Jang et al. [Jang11] lassen sich nur durch die Aufgaben des Arbeitsproduktivitätsmodells zuordnen. Der von Jang et al. aufgezeigt Aspekt der Arbeitsgruppe findet keine Entsprechung im Arbeitsproduktivitätsmodell. Diese Einflüsse sind in Tabelle 23 grau hinterlegt. Zu diesen Einflüssen gehören viele der mitarbeiterbezogenen Einflüsse, wie die Fähigkeiten, Erfahrungen und Motivation und Arbeitseinstellung. Die mitarbeiterbezogenen Einflüsse lassen sich mit dem Modell der Arbeitsproduktivität nur innerhalb der Regelgröße *ungeplante Abwesenheit* oder aber durch die mitarbeiterbezogenen Aufgaben der Regelgröße *Durchführung der Arbeitsaufgabe* abbilden.

Der „Arbeitsumfang“ wird im Modell der Arbeitsproduktivität durch die Beziehungsgröße *gesamter Output* abgebildet. Diese Abbildung ist jedoch unvollständig, da die Arbeitsmenge nur einen Teil des Arbeitsumfangs darstellt. Da der Arbeitsumfang jedoch nicht durch das Produktivitätsmanagement beeinflusst werden kann, ist dieser für die Modellevaluation nicht bedeutsam.

Die Einflussgröße „Arbeitsgruppe“ lässt sich nicht durch das Modell der Arbeitsproduktivität abbilden. Zwar ist es denkbar, diesen Einfluss mit Stellgrößen wie der Informationshandhabung (auf Grund des steigenden Kommunikationsbedarfs bei Gruppenarbeit) oder der Aufgabe Personalführung zu verknüpfen, diese Verknüpfungen sind jedoch aus verschiedenen Gründen sehr vage. Zum einen ist der Einfluss der Arbeitsgruppe sehr umfangreich und kann theoretisch viele Aspekte der Arbeitsproduktivität adressieren. Zum anderen handelt es sich um eine mitarbeiterbezogene Einflussgröße, die im vorgestellten Arbeitsproduktivitätsmodell wenige Entsprechungen in Form von Stellgrößen finden.

Tabelle 22: Vergleich der Einflussfaktoren zwischen dem Modell der Arbeitsproduktivität und dem Vergleichsmodell

Anhang

Einflussfaktor (Jang et al.)	Stell- oder Regelgröße im Modell der Arbeitsproduktivität
Betriebs- und Hilfsmittel (Zustand)	Störungsbehebung
Betriebs- und Hilfsmittel (Anzahl)	kapazitätsbedingte Auslastungsverluste
Betriebs- und Hilfsmittel (Zeit für Wartung)	zusätzliche Tätigkeiten Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes
Material (Menge)	Materialhandhabung
Material (Transportsystem)	Materialhandhabung
Material (Beschaffung)	Materialhandhabung
Mitarbeiter (Fähigkeiten)	Durchführung der Arbeitsaufgabe
Mitarbeiter (Eigenverantwortung)	Durchführung der Arbeitsaufgabe
Mitarbeiter (Gesundheit)	krankheitsbedingtes Fehlen
Mitarbeiter (Erfahrung)	Durchführung der Arbeitsaufgabe
Mitarbeiter (Ausbildung)	Durchführung der Arbeitsaufgabe
Mitarbeiter (Training)	Durchführung der Arbeitsaufgabe
Mitarbeiter (Motivation und Einstellung)	krankheitsbedingtes Fehlen Durchführung der Arbeitsaufgabe
Arbeitsplatz	Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes
Arbeitsplatz (Zugänglichkeit)	Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes
Arbeitsumgebung	krankheitsbedingtes Fehlen
Vorbereitung	Vor- und Nachbereitung des Arbeitsplatzes
Arbeitsmethode	Aufgabenbearbeitung
Arbeitsumfang (Menge und Schwierigkeitsgrad)	gesamter Output
Arbeitsgruppe	-
Organisation (Personen und Struktur)	zusätzliche Tätigkeiten kapazitätsbedingte Auslastungsverluste
Arbeitsplanung	zusätzliche Tätigkeiten kapazitätsbedingte Auslastungsverluste
Sicherheit/ Unfälle	krankheitsbedingtes Fehlen
Beanstandungen	Ausschuss
Arbeitsreihenfolge	Aufgabenbearbeitung
Arbeitsunterlagen	Informationshandhabung
Informationstechnologie	Informationshandhabung
Nacharbeit	Nacharbeit
Verzögerung der Arbeit	Störungsbehebung
Durchgängigkeit der Arbeit	Störungsbehebung

Anhang III – Konzeptbeurteilung durch Experten: Fragebogen zur Beurteilung des Modells der Arbeitsproduktivität

Block 1: Informationen zu den Teilnehmern

Wie lautet ihre aktuelle Stellenbezeichnung

- Produktionsmitarbeiter
- Teamleiter
- Linienleiter
- Segment-/Bereichsleiter
- Projektingenieur
- Industrial Engineer
- Quality Engineer
- Sonstiges, und zwar

Wie alt sind Sie?

- unter 20 Jahre
- 20-29 Jahre
- 30-39 Jahre
- 40-49 Jahre
- 50-59 Jahre
- 60 Jahre und älter

Was ist derzeit Ihre Hauptverantwortung bei der Verbesserung der Produktivität (Mehrfachnennung möglich)?

- Gestaltung der Vorgehensweise zur Produktivitätsverbesserung
- Bereitstellung von Informationen
- Umsetzung von Produktivitätsmaßnahmen
- Planung, Steuerung und Kontrolle von Produktivitätsmaßnahmen
- Bereitstellung von Produktivitätsmethoden
- Bestimmung und Kontrolle von Zielvorgaben für die Arbeitsproduktivität
- Sonstiges, und zwar

Wie stehen Sie neuen Technologien und Vorgehensweisen gegenüber

- Ich interessiere mich sehr dafür und bin in meinem Umfeld oft der Erste, der sie nutzt
- Sobald sich in meinem Umfeld neue Vorgehensweisen verbreiten, nutze ich sie auch.
- Ich bin zuerst skeptisch und warte ab, wie sich neue Methoden bewähren
- Ich interessiere mich nicht dafür und nutze sie auch nicht.

Block 2: Beurteilung des Modells

Bewerten Sie die folgenden Aussagen:

Aussage 1: „Ein Wirkmodell der Arbeitsproduktivität ist für eine zielgerichtete und nachhaltige Verbesserung der Arbeitsproduktivität erforderlich.“

Aussage 1...	---	--	-	-/+	+	++	+++	Aussage 1...
lehne ich ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stimme ich zu.

Aussage 2: „Das vorgestellte Modell der Arbeitsproduktivität beinhaltet alle relevanten Einflussfaktoren.“

Aussage 2...	---	--	-	-/+	+	++	+++	Aussage 2...
lehne ich ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stimme ich zu.

Aussage 3: „Das vorgestellte Modell kann in verschiedenen Fertigungsformen angewendet werden.“

Aussage 3...	---	--	-	-/+	+	++	+++	Aussage 3...
lehne ich ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stimme ich zu.

Aussage 4: „Das Modell der Arbeitsproduktivität ist verständlich und die aufgezeigten Wirkzusammenhänge sind nachvollziehbar.“

Aussage 4...	---	--	-	-/+	+	++	+++	Aussage 4...
lehne ich ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stimme ich zu.

Aussage 5: „Das Modell der Arbeitsproduktivität hilft dabei, ein besseres Verständnis über die Einflüsse auf die Arbeitsproduktivität zu entwickeln.“

Aussage 5...	---	--	-	-/+	+	++	+++	Aussage 5...
lehne ich ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stimme ich zu.

Aussage 6: „Das Modell der Arbeitsproduktivität hilft dabei, geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsproduktivität abzuleiten.“

Aussage 6...	---	--	-	-/+	+	++	+++	Aussage 6...
lehne ich ab	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	stimme ich zu.

Schriftenreihe

Band 1

Koch, Jens Bodo: Unterstützung der schiffbaulichen Projektierung durch Repräsentation von Erfahrungswissen, 2004.

Band 2

Meyer, Sven: Flexible Gruppenarbeit in der Auftragsfertigung, 2004.

Band 3

Joswig, Dirk: Untersuchungen zum Zerspanverhalten weicher Elastomerwerkstoffe, 2005.

Band 4

Kerse, Nils: Unterstützung der schiffbaulichen Produktentstehung durch Einsatz von Virtual Reality (VR)-Technologien, 2007.

Band 5

Kurzewitz, Mathias: Kompetenzentwicklung als Element erfolgreicher Strategieumsetzung – dargestellt am Beispiel des Schiffbaus, 2007.

Band 6

Davids, Niko: Workflow-Management in Produktentwicklungsprojekten der Investitionsgüterindustrie, 2008.

Band 7

Möller, Carsten: Untersuchungen zum Drehen von gesinterten WC-Co Hartmetallwalzringen, 2009.

Band 8

Gotsch, Falko: Untersuchungen zum Zerspanverhalten von Elastomerschäumen mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Fertigung von Feder-Dämpfer-Bauteilen, 2009.

Band 9

Neumann, Lutz: Risikomanagement bei der Gestaltung von Unternehmenskooperationen – untersucht am Beispiel der Investitionsgüterindustrie, 2009.

Band 10

Sellmer, Dirk: Untersuchungen zur Verbesserung des Arbeitsergebnisses beim Vollbohren unter besonderer Berücksichtigung der Prozesskräfte und der Spannbildung, 2010.

Band 11

Eggers, Daniel: Entwicklung von Dienstleistungsportfolios bei Investitionsgüterherstellern – dargestellt am Beispiel der maritimen Industrie, 2009.

Band 12

Kindler, Jörg: Werkstückqualität und Standzeitorientierung von Zerspanwerkzeugen bei der Umrissbearbeitung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, 2010.

Band 13

Frömming, Hanno: Zerspanung von WC-Co-Hartmetall im unterbrochenen Schnitt, 2011. Band 14 Schweitzer, Thomas: Nutzungsgradsteigerung verketteter Produktionslinien, 2011.

Band 15

Wagner, Lars Arne: Szenariobasierte Planung und Steuerung mit Simulation im Schiffbau, 2011.

Band 16

Schäfer, Christoph: Einsatzmodell zur systematischen Nutzung von Virtueller Realität in der Unikatproduktion, 2012.

Band 17

Hartmann, Dirk: Delamination an Bauteilkanten beim Umrissfräsen kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe, 2012.

Band 18

Kuyumcu, Arif: Modellierung der Termintreue in der Produktion, 2013.

Band 19

Czumanski, Thomas: Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion, 2013.

Band 20

Schütte, Christoph: Bohren und Hobeln von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen unter besonderer Berücksichtigung der Schneide-Faser-Lage, 2014.

Band 21

Wandt, Robert: Modellgestützte Fertigungssteuerung in der Unikatfertigung am Beispiel des Schiffbaus, 2014.

Band 22

Eichenseer, Christiane: Beschichtung, thermomechanische Charakterisierung und Spannungsanalyse von Schneidkeramik, 2014.

Band 23

Heinig, Martin: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten, 2015.

Band 24

Körkel, Gregor K.: Zerspanbarkeitsbewertung von Faserverbundkunststoffen bei der Fräsbearbeitung dünnwandiger Bauteile in der Großserie, 2015.

Band 25

Ramirez Martinez, Juan A.: Flexible Automated Assembly Systems for Large CFRP Structures using Geometrical and Force Information, 2015.

Band 26

Dose, Frank: Methode zur wissensbasierten Prozessentwicklung - Ein Ansatz für die Berücksichtigung sich wandelnder Teilsysteme beim Bohren von Schichtverbunden, 2015.

Band 27

Trzyna, Daniel: Modellierung und Steuerung von Eilaufträgen in der Produktion, 2015.

Band 28

Griefahn, Dominik M.: Geometrieprüfung innerer Strukturen von Faserverbund-Sandwichbauteilen, 2015.

Band 29

Borrmann, Christof: Adaptive Montageprozesse für CFK-Großstrukturen mittels Offline-Programmierung von Industrierobotern, 2016.

Band 30

Klingelhöller, Christian: Trennschleifen von CFK-Schalenbauteilen mit räumlich gekrümmten Konturen, 2016.

Band 31

Titov, Fedor: Technologiegestützte Angebotserstellung für den Umbau komplexer Investitionsgüter, 2016. Band 32 Tietze, Florian: Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion, 2017.

Band 33

Geis, Tobias: Bearbeitungsstrategien zur Zerspanung von Faser-Verbund-Honeycomb-Sandwich, 2017.

Band 34

Koppold, Nico: Kapazitätsplanung und -steuerung in der Instandhaltungsproduktion von Investitionsgütern, 2017.

Band 35

Halata, Philipp S.: Augmented-Reality-gestützte Informationsbereitstellung für die Unikatproduktion, 2018.

Band 36

Brügmann, Felix: Bauteilqualität und Werkzeugverschleiß beim Fräsen von CFK-Gelege unter räumlichen Eingriffsbedingungen, 2018.

Band 37

Benter, Martin: Analyse von Bewegungsabläufen mit 3D-Kameras, 2018.

Band 38

Koch, Christoph: Wertstromanalyse und -design für Auftragsfertiger, 2018.

Band 39

Cordes, Marcel: Modellierung von Bahngenauigkeit und dynamischer Stabilität beim robotergeführten Fräsen, 2019.

Band 40

Piontek, Andreas: Modellierung der Termintreue im Auftragsdurchlauf, 2020.

Band 41

Grabner, Constantin: Methodengestütztes Produktivitätsmanagement – Entwicklung eines datenbasierten Vorgehens, 2020.

Band 42

Glöckner, Robert: Entwicklung eines Gesamtmodells der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen, 2020.