DISS. ETH Nr. 16333

FLEXIBILITÄTSPROFILE

Analyse und Konfiguration von Strategien zur Kapazitätsanpassung in der industriellen Produktion

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
LUTZ LEO GOTTSCHALK

Dipl.-Ing. Maschinenbau, Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen

geboren am 29. April 1971,
aus Deutschland.

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. PAUL SCHÖNSLEBEN (Referent)
Prof. Dr. habil. PETER NYHUIS (Korreferent)

2005

Seite Leer /
Blank leaf

Vorwort

Der intensive Austausch zwischen Hochschule und Unternehmenspraxis gehört insbesondere im Bereich des Produktionsmanagements zweifellos zu den spannendsten Aktivitäten der wissenschaftlichen Tätigkeit. Gleichzeitig liegt hier aber auch eine Herausforderung für beide Seiten. So muss sich der tatsächliche Wert von Forschungsergebnissen nicht zuletzt an deren Brauchbarkeit in der realen Welt der Produktionsbetriebe messen lassen. Nach Auffassung des Autors der vorliegenden Arbeit ist es für den Wissenschaftler sogar eine Verpflichtung, die Resultate der eigenen Forschungsarbeit potenziellen Anwendern in einer für diese zugänglichen Form anzubieten. Gründlichkeit und theoretische Fundierung stehen dazu nicht im Widerspruch. Andererseits erfordert dies jedoch auch die Offenheit der Nutzerseite für Ideen aus dem Hochschulumfeld sowie die Bereitschaft, neue Ansätze oder Methoden zumindest auszuprobieren und Impulse für weitere Verbesserungen zu geben.

Während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am ZENTRUM FÜR UNTERNEHMENSWISSENSCHAFTEN (BWI) DER ETH ZÜRICH hatte ich das Glück, auf ein Umfeld zu treffen, in dem der oben genannte Grundsatz nicht nur akzeptiert, sondern für selbstverständlich gehalten wird. Hierfür sowie für den Freiraum und das damit verbundene Vertrauen bei der Bearbeitung von Projekten und bei der Erstellung der Dissertation möchte ich mich in besonderer Form bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. Paul Schönsleben, bedanken. Darin einschliessen möchte ich Professor Markus Baertschi, der als Mitglied der Institutsleitung ganz wesentlich zur leistungsfähigen Arbeitsatmosphäre im BWI-Team beiträgt.

Weiterhin danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis vom INSTITUT FÜR FABRIKANLAGEN UND LOGISTIK (IFA) DER UNIVERSITÄT HANNOVER für die Übernahme des Korreferates und die in diesem Zusammenhang geleistete fachliche Unterstützung. Dabei möchte ich durchaus erwähnen, dass ich mich hierüber sehr gefreut habe, liefern doch die zahlreichen erstklassigen Arbeiten des IFA zur Fertigungssteuerung und zum Themengebiet der Logistischen Kennlinien wichtige Grundlagen für diese Dissertation.

Bereits die oben stehende Einleitung verdeutlicht, welchen Stellenwert ich der Zusammenarbeit mit der Industrie zumessen möchte. Zurückblickend gehören die vielen Gelegenheiten, in denen ich zum Teil sehr unterschiedliche Unternehmen kennenlernen konnte, sogar zu den wichtigsten Erfahrungen meiner Zeit in Zürich. Namentlich bedanken möchte ich mich jedoch vor allem bei den Herren Robin Hornung (flexis AG) und Dr. Stephan Bürkner (DaimlerChrysler AG) für ihre Hilfe beim Entwurf der Lösungsansätze für meine Arbeit sowie bei den Herren Christian Putzi (HILTI AG) und Christoph Wild (FISBA OPTIK AG) für die Unterstützung bei der Durchführung der Fallstudien.

Schliesslich darf ich auch allen Institutskollegen herzlich für das äusserst angenehme, freundschaftlich geprägte Arbeitsklima danken, das ganz ohne Zweifel zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen hat. Voraussetzung für die Bewältigung des durchaus erheblichen Aufwandes bei der Ausarbeitung meiner Dissertation war allerdings ein stets motivierendes und zumindest meistens geduldiges privates Umfeld. Ein sehr persönlicher Dank gilt deshalb meiner Freundin Tanja und meinen Eltern.

Zürich, November 2005 Lutz Gottschalk

Seite Leer /
Blank leaf

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ... III
Inhaltsverzeichnis ... V
Kurzfassung ... VII
Abstract ... IX
Verwendete Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes ... XI
Abbildungsverzeichnis ... XIV
Tabellenverzeichnis ... XVII
1 Einleitung ... 1
1.1 Motivation ... 1
1.2 Zielsetzung ... 3
1.3 Aufbau der Arbeit und Forschungssystematik ... 3
2 Flexibilität in der Produktion ... 5
2.1 Flexibilitätsbegriffe und -konzepte – eine kritische Übersicht ... 5
2.1.1 Begriffsvielfalt als Verständnisproblem ... 6
2.1.2 Einteilung der Flexibilitätsbegriffe ... 8
2.2 Flexibilität als Mittel zur Beherrschung von Unsicherheiten in der industriellen Praxis ... 17
2.2.1 Herausforderungen und Trends in Produktion und Logistik ... 17
2.2.2 Systematisierung von Risiken und Unsicherheiten in der Produktion und Abgrenzung des Betrachtungsfeldes für die vorliegende Arbeit ... 22
2.2.3 Typologisierung von Bedarfsunsicherheiten ... 26
2.3 Produktionskapazität und Möglichkeiten zu ihrer Anpassung ... 32
2.3.1 Kapazitätsdeterminanten ... 32
2.3.2 Verfügbare Kapazität, nutzbare Kapazität und Leistung ... 34
2.3.3 Massnahmen zur Kapazitätsanpassung ... 40
2.4 Planung flexibler Produktionskapazitäten ... 45
2.4.1 Flexibilität als Teilaspekt des Wertschöpfungsmanagements ... 45
2.4.2 Produktionsplanung und Kapazitäts-Flexibilität ... 48
2.4.3 Werkzeuge und Hilfsmittel zur Planung und Analyse flexibler Kapazitäten ... 51
2.5 Zusammenfassung und Handlungsbedarf ... 58
3 Beschreibungsmodell der Kapazitätsflexibilität ... 60
3.1 Quantitative Erfassung von Schwankungen des Kapazitätsbedarfs und von Massnahmen zur Kapazitätsanpassung ... 60
3.1.1 Kapazitätsänderung, Zeit und Kosten als beschreibende Dimensionen der kapazitiven Flexibilität ... 60
3.1.2 Modellierungsparameter ... 62

3.2 Massnahmen zur Kapazitätsanpassung im Vergleich 66
3.2.1 Klassifizierung von Anpassungsmassnahmen mit Hilfe der Nutzbarkeitsdauer ... 67
3.2.2 Kennzahlen zur Charakterisierung einzelner Anpassungsmassnahmen 68
3.3 Flexibilitätsprofile – Visualisierung der grösstmöglichen Kapazitätsveränderung im Zeitverlauf 72
3.3.1 Flexibilitätsprofil für ein einzelnes Arbeitssystem 72
3.3.2 Resultierende Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme 79
3.3.3 Wichtige Spezialfälle bei der Bestimmung des Produktausstosses von verketteten Arbeitssystemen 91
4 Planung und Bewertung von Strategien zur Kapazitätsanpassung 94
4.1 Aufgaben bei der Planung der Kapazitätsanpassung 95
4.1.1 Mögliche Mängel bei der Bereitstellung der geforderten Produktionskapazität... 95
4.1.2 Grobablauf bei der Anpassungsplanung der Produktionskapazität..... 96
4.2 Ermittlung des Kapazitätsbedarfes 98
4.2.1 Identifizierung von Bedarfsunsicherheiten 99
4.2.2 Bestimmung des erwarteten Kapazitätsbedarfs 104
4.3 Lösungsentwicklung für die bedarfsgerechte Kapazitätsanpassung 110
4.3.1 Erfassung von Massnahmen zur Kapazitätsveränderung durch die Bestimmung der beschreibenden Parameter 111
4.3.2 Konfiguration und Bewertung von Anpassungsstrategien 113
5 Fallbeispiele 120
5.1 Fallstudie 1: Mittelfristige Kapazitätsanpassungsplanung in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG 120
5.1.1 Ausgangslage bei der Herstellung von Metalldübeln für die Bauindustrie 120
5.1.2 Analyse von Bedarfsunsicherheiten und Abschätzung eines Bedarfsszenarios ..121
5.1.3 Mittelfristige Planung der Kapazitätsanpassung im Arbeitsgang Umformung in der Metalldübelfertigung 124
5.1.4 Fazit und Handlungsempfehlungen 124
5.2 Fallstudie 2: Produktionshochlauf in der Montage von opto-elektronischen Modulen bei der FISBA OPTIK AG 124
5.2.1 Ausgangslage in der Montage von opto-elektronischen Modulen für die Verwendung im Spezialanlagenbau 124
5.2.2 Analyse des Kapazitätsbedarfes 124
5.2.3 Entwurf und Bewertung alternativer Anpassungsstrategien 124
5.2.4 Diskussion der Bewertungsergebnisse und Handlungsempfehlung 124
6 Schlussbetrachtung 124
6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse 124
6.2 Ausblick 124
Anhang 124
Literaturverzeichnis 124
Lebenslauf des Autors 124

Kurzfassung

Die Beherrschung von Bedarfsschwankungen gehört zu den zentralen Aufgaben der Planung und Steuerung in produzierenden Betrieben. Dabei sind Bedarfsveränderungen nicht nur auf den Anstieg oder Rückgang der von den Abnehmern insgesamt nachgefragten Produktmengen beschränkt. Gleichermassen relevant sind Wünsche nach anderen, gegebenenfalls sogar neuen Produkten bzw. Produktvarianten oder die Verschiebung vereinbarter Liefertermine. Im kurz- und mittelfristigen Planungshorizont äussern sich diese Veränderungen der Kundenwünsche vor allem in der Anforderung, schwankende Kapazitätsbedarfe mit dem verfügbaren Kapazitätsangebot abzugleichen. Im Produktionsmanagement stehen dafür zwei verschiedene Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung. Dies ist einerseits die Umplanung von Start- und Endterminen für Produktionsaufträge sowie andererseits die Anpassung der Produktionskapazität. Angesichts der wachsenden Forderung nach immer kürzeren Lieferfristen und deren strikter Einhaltung werden die möglichen Freiheitsgrade in der Terminplanung unter Umständen erheblich eingeschränkt. Die Bereitstellung und der effiziente Einsatz flexibler Produktionskapazitäten wird somit in verstärktem Masse erzwungen oder zumindest zu einer unverzichtbaren Lösungsalternative bei der Planung und Abwicklung der Produktion.

Unter anderem durch die Einführung flexibler Arbeitszeitmodelle oder durch Möglichkeiten zur temporären Fremdvergabe von Wertschöpfungsanteilen stehen vielen Betrieben heute durchaus zahlreiche Möglichkeiten zur Veränderung ihrer Produktionskapazitäten zur Verfügung. Die entsprechenden Anpassungsmassnahmen unterscheiden sich dabei nicht nur in ihrem Beitrag zur Erhöhung bzw. Reduktion der Kapazität, sondern auch durch verschiedene zeitliche Randbedingungen sowie durch die Kosten, die jeweils für ihre Bereitstellung und Nutzung anfallen. In diesem Kontext stellt sich planungsverantwortlichen Mitarbeitern unter anderem die Frage, ob die verfügbaren Anpassungsmassnahmen überhaupt geeignet sind, um die künftig erwarteten Bedarfsunsicherheiten zu beherrschen. Darüber hinaus ist zu entscheiden, welche Anpassungsmassnahme bzw. Massnahmenkombination in welcher Bedarfssituation am besten einzusetzen ist. Die wissenschaftlich fundierte Erarbeitung geeigneter Methoden und Hilfsmittel zur Beantwortung der beiden genannten Fragestellungen ist die Zielstellung der vorliegenden Dissertation.

Durch die Ausarbeitung eines Modellierungsansatzes wurde zunächst die notwendige Grundlage geschaffen, um Schwankungen des Kapazitätsbedarfes sowie Massnahmen zur Kapazitätsveränderung in einer miteinander vergleichbaren Weise beschreiben zu können. Neben einer geeigneten Erfassung der Höhe einer Bedarfsveränderung bzw. des Kapazitätsbeitrages einer Anpassungsmassnahme werden dabei auch die bereits angesprochenen Zeit- und Kostenaspekte einbezogen. Schliesslich formt sich so ein mehrdimensionales Gesamtbild zur Flexibilität der Produktionskapazität, das von wichtiger Bedeutung für deren Planung und zweckmässige Nutzung ist.

Darauf aufbauend, wird mit einer Methode zur Bestimmung und Darstellung von *Flexibilitätsprofilen* eine einfache Möglichkeit bereitgestellt, um die schnellstmögliche und maximale Veränderungsfähigkeit der Kapazität eines Produktionssystems sichtbar zu machen. Dazu wird die Information zum Kapazitätsbeitrag einer Anpassungsmassnahme mit der zur zeit-

lichen Verfügbarkeit verknüpft. Diese zunächst nur für ein einzelnes Produktionssystem entwickelte Abbildungsform veranschaulicht zugleich, wie mehrere einsetzbare Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung zusammenwirken können. Durch die so erzielbare Transparenz kann unter anderem beurteilt werden, ob ein Produktionssystem grundsätzlich in der Lage ist, die künftig erwarteten Bedarfsschwankungen abzudecken. Dieser Aspekt steht auch bei der Erweiterung des Ansatzes auf Ermittlung *resultierender Flexibilitätsprofile* im Vordergrund. Ziel ist es, hier die Kapazitätsflexibilität verketteter Produktionssysteme abschätzen zu können. Dabei wird die Tatsache berücksichtigt, dass die Durchführung einer Kapazitätserhöhung an einem Produktionssystem erst dann sinnvoll ist, wenn dass dafür zusätzlich benötigte Material zur Verarbeitung bereits vom Vorgänger-Produktionssystem geliefert wurde. Bezogen auf das Gesamtsystem erhält die Materialdurchlaufzeit so zumindest im kurzfristigen Planungsbereich einen mitbestimmenden Einfluss auf die maximal mögliche Erhöhung des Produktausstosses. Ein entsprechend erzielbares Resultat ist nicht nur für die Produktionsplanung innerhalb eines Betriebes interessant, sondern ist gegebenenfalls auch eine wertvolle Information für Kunden oder Partner in einer Lieferkette.

In einem weitergehenden Schritt wird ein Verfahren zur Planung von Strategien zur Kapazitätsanpassung vorgeschlagen. Neben einer Empfehlung für eine grobe Vorgehensweise gehört dazu vor allem ein detaillierter Planungsablauf zur Konfiguration und Bewertung von Lösungen zur bedarfsgerechten Kapazitätsanpassung. Die erarbeitete Methode soll dabei die in der Praxis verbreitete Handlungsweise ersetzen, bei der die Auswahl und Einplanung von Anpassungsmassnahmen zumeist auf der Grundlage intuitiver, oftmals zu spät getroffener Entscheidungen erfolgt. In zwei Fallstudien wird schliesslich gezeigt, wie die entwickelten Lösungskonzepte auf konkrete Problemstellungen in der industriellen Praxis angewandt werden können.

Abstract

Managing fluctuations in demand is one of the core planning & control tasks for manufacturing companies. Demand fluctuations are not only caused by increases and drops in the total product volumes demanded by customers. Equally important are customer demands for different, or even new, products or product variants and changes in agreed delivery dates. For short and medium-term planning, these changes in customer requirements make it necessary to match fluctuating capacity requirements to disposable production capacity. In production management two different solution options are available: rescheduling of start dates and deadlines for production orders on the one hand and flexible adaptation of production capacity on the other. The growing demand for ever shorter delivery lead times and for strict adherence to these deadlines can pose considerable restrictions on the degrees of freedom for scheduling. This means that companies are now increasingly compelled, or at the least find it indispensable, to make flexible production capacity available and utilize it efficiently as a solution alternative in production planning and execution.

There are certainly a number of options available to many companies today for adapting production capacities, such as the introduction of flexible work shifts or temporary outsourcing of parts of the value chain. These adaptation measures differ not only in their contributions to increasing or reducing capacity but also in the amount of time and the costs that are required to set up and deploy them. In this context planners face the question of whether the available adaptation measures are at all sufficient for managing future demand uncertainties. Furthermore, the decision must also be made as to what adaptation measures or combination of measures can be implemented to best advantage in a given demand situation. The goal of the present dissertation research study is to develop scientifically-based, useful methods and aids for answering these two questions.

The elaboration of a modeling approach was the first step to provide the necessary basis for describing fluctuations in capacity requirements as well as measures for adapting capacity in such a way that they are comparable. In addition to quantifying changes in demand and the achievable increase or decrease of the production level by applying certain adaptation measures, the model also considers time and cost parameters. This then yields a multi-dimensional total picture of the flexibility of production capacity, which is an important support for its planning and targeted use.

Based on that, using a method of determining and graphing *Flexibility Profiles*, an easy-to-use way of visualizing the most rapid and maximum possibilities for capacity adaptation of a production system is developed. To do this, the information on the achievable increase or decrease in the production level by applying an adaptation measure is plotted together with the relevant time information in a time-capacity diagram. This type of diagram, which was initially developed an individual production system, reveals possible interactions of different executable measures to adapt manufacturing capacity. The transparency achieved in this way is an aid, among other things, to determining whether a production system is fundamentally capable of meeting future expected demand fluctuations. This is also the main aspect when the approach is extended in order to determine *resulting Flexibility Profiles* when the capacity flexibility of linked production systems is to be assessed. Here it is taken into consideration

that implementing measures to increase the capacity of a production system only makes sense if the materials required for processing have already been supplied by the upstream production unit or system. In the total system, then, the lead time of material becomes one of the determining factors, at least in the short-term planning horizon, of the maximum possible increase in product output. The information yielded by the flexibility profiles resulting from linked systems is not only interesting with regard to production planning within a production company but can also be valuable information for customers or partners in a supply chain.

In a further step, a method of planning strategies for capacity adaptation is proposed. Along with general recommendations for a rough procedure, a detailed planning procedure for configuration and evaluation of alternative strategies for meeting demand through capacity adaptation is presented. The method developed is intended to replace the common practice in industry whereby capacity adaptation measures are selected and scheduled for the most part based on intuitive decisions frequently made too late. In conclusion, two case studies demonstrate how the solution concepts developed can be applied to specific problems in industrial practice.

Verwendete Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes

Abkürzungen

Zeichen	**Erläuterung**
BKT	Betriebskalendertag
GE	Geldeinheit (z.B. EUR oder CHF)
ME	Mengeneinheit (z.B. Stück, kg, m^3 usw.)
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
Stk	Stück oder Stückzahl
Wo	Woche

Formelzeichen

Zeichen	**Einheit**	**Erläuterung**
A	[-]	Auslastung
B	[ME]	Bestand (Material) in einem Pufferlager
b	[-]	Degressionsfaktor bei der Berechnung von Lernkurven
c_{BM}, c_{PE}	[-]	Verfügbarkeitsgrad für Betriebsmittel bzw. Personal
db	[GE / ME]	Deckungsbeitrag (DB) pro Mengeneinheit eines hergestellten Produktes
DLZ	[Perioden]	Durchlaufzeit
FK_K	[-]	Flexibilitätskennzahl „Kosten"
FK_V	[-]	Flexibilitätskennzahl „Kapazitätsvolumen"
KAP	[h / Periode oder ME / Periode]	Kapazität eines Produktions- bzw. Arbeitssystems
KAPB	[h / Periode oder ME / Periode]	Kapazitätsbedarf

$KAPN_{PE}$	[h / Periode oder ME / Periode]	Nutzbare Personalkapazität
KOA	[GE]	Zusatzkosten durch die Kapazitätsanpassung
KOA_{akt}	[GE]	Kosten für die Aktivierung einer Anpassungsmassnahme
KOA_{betr}	[GE / Periode]	Laufende Kosten für die mögliche Nutzung einer Massnahme zur Kapazitätsveränderung
$KOA_{rück}$	[GE]	Kosten für die Rücknahme einer Massnahme
ko	[GE / ME]	Kostenanteil pro Mengeneinheit
$KAPT_{BM}$, $KAPT_{PE}$	[h / Periode oder ME / Periode]	Theoretische Betriebsmittel- bzw. Personalkapazität
$KAPV_{BM}$, $KAPV_{PE}$	[h / Periode oder ME / Periode]	Verfügbare Betriebsmittel- bzw. Personalkapazität
L	[h / Periode oder ME / Periode]	Leistung eines Produktions- bzw. Arbeitssystems
LG	[ME]	Losgrösse
M	[-]	Unreduzierbarkeitsfaktor bei der Bestimmung des Zeitaufwandes zur Herstellung einer Mengeneinheit durch Lernkurven
N	[ME]	Anzahl oder Menge eines Produktes
n	[-]	Anzahl der aufeinander folgenden Stufen bei verketteten Arbeitssystemen
P	[Geldeinheit / ME]	Verkaufs- / Abgabepreis für hergestellte Güter
O	[ME / Periode]	Ausstoss bzw. Output
t, (t)	[Perioden]	Zeit, Wert einer Grösse zum Zeitpunkt t
t_{akt}	[Perioden]	Aktivierungszeit einer Anpassungsmassnahme
t_{AZ}	[min / ME]	Spezifische Auftragszeit
t_{EZ}	[min / ME]	Bearbeitungszeit einer Mengeneinheit
t_{RZ}	[min]	Rüstzeit
t_{ein}	[Perioden]	Zeitspanne bis zum Eintritt eines veränderten Kapazitätsbedarfes

$T_{ND,max}$	[Perioden]	Maximale Nutzbarkeitsdauer einer Massnahme zur Kapazitätsanpassung
$T_{ND,min}$	[Perioden]	Minimale Nutzbarkeitsdauer einer Massnahme zur Kapazitätsanpassung
T_{SD}	[Perioden]	Schwankungsdauer des Kapazitätsbedarfs
T_{VZ}	[min]	Vorgabezeit
z	[-]	Anzahl der zur Verfügung stehenden Anpassungsmassnahmen zur Kapazitätsveränderung
Δ		Differenz bzw. Veränderung (zum Beispiel der Produktionskapazität)
η	[-]	Effizienzgrad der Personalkapazität
T	[min]	Zeitaufwand zur Herstellung einer Mengeneinheit in Abhängigkeit der insgesamt produzierten Stückzahl (Lernkurve)

Indizes

Zeichen	**Erläuterung**
ges	Gesamtwert
h, i, j, k, p, w	Allgemeine Lauf- oder Zählvariablen
m	Mittelwert
max	Maximalwert
min	Minimalwert
sum	Summenwert

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Begriffsvielfalt in der Management-Literatur zu Anforderungen und wünschenswerten Leistungen von Produktionssystemen 7

Abb. 2.2: Flexibilität in der Produktion – Ausgangslage in Forschung und Praxis 8

Abb. 2.3: Typologie bestehender produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsbegriffe nach betrieblichen Bezugsobjekten bzw. -sachverhalten 9

Abb. 2.4: Wandlungsbefähiger in der Fabrik nach HERNÁNDEZ als Beispiel für die systematische Bestimmung von Freiheitsgraden zur reaktiven oder aktiven Veränderung betrieblicher Systeme 13

Abb. 2.5: Aktuelle Herausforderungen und Trends für produzierende Unternehmen im internationalen Wettbewerb 18

Abb. 2.6: Entwicklung der Rohölpreise von Januar 2001 bis Februar 2005 20

Abb. 2.7: Kursentwicklung des US-Dollar im Vergleich zu den wichtigsten europäischen Währungen 21

Abb. 2.8: Systematisierung von Quellen der Unsicherheit und Risiko in der Produktion 22

Abb. 2.9: Darstellung des gewählten Betrachtungsbereiches (schraffiertes Feld) im Sinne der Klassen des Termin- und Kapazitätsmanagements 26

Abb. 2.10: Schematische Darstellung der Überlagerung von Schwankungstypen der Bedarfsmenge mit unterschiedlichen Zeithorizonten 28

Abb. 2.11: Globale Fakturierung (Monatsdaten) in der Halbleiterindustrie. Relative Veränderung zum Januar 1995. 29

Abb. 2.12: Verlauf der durchschnittlichen PKW-Modell-Lebenszyklen bei europäischen Automobilherstellern 30

Abb. 2.13: Primäre und sekundäre Determinanten der Produktionskapazität 33

Abb. 2.14: Hannoveraner Trichtermodell und Durchlaufdiagramm eines Arbeitssystems (nach Bechte) 35

Abb. 2.15: Typische Betriebszustände eines Arbeitssystems und Produktionskennlinien für Leistung, Reichweite und Durchlaufzeit 36

Abb. 2.16: Abgrenzung der Begriffe theoretische und verfügbare Kapazität sowie maximal mögliche und zu erbringende Leistung anhand eines Kennliniendiagramms 37

Abb. 2.17: Darstellung der Produktion als Transformationsprozess in einem Input-Output-Modell 45

Abb. 2.18: Koordination der Planungsebenen zur Bereitstellung und Nutzung flexibler Produktionskapazitäten 48

Abb. 2.19: Planungs- und Steuerungsprozesse in der Produktion, unterschieden nach ihren Fristigkeit 50

Abb. 2.20: Mögliche Handlungsalternativen bei fehlender Übereinstimmung von Belastung und Kapazitätsangebot ... 51

Abb. 2.21: Mögliche Ablaufschritte beim Kapazitätsabgleich im Termin- und Kapazitätsmanagement ... 52

Abb. 2.22: Einbindung eines MES in die betrieblichen Planungs- und Steuerungssysteme ... 54

Abb. 2.23: Graphische Darstellung kapazitiver Anpassungsoptionen, geordnet nach Nutzungspräferenz ... 57

Abb. 2.24: Einfluss der Taktzeit auf die Kapazität getakteter Produktionsprozesse ... 58

Abb. 3.1: Notwendige Dimensionen zur Beschreibung der Kapazitätsflexibilität ... 61

Abb. 3.2: Parameter zur quantitativen Erfassung von Schwankungsereignissen des Kapazitätsbedarfs ... 63

Abb. 3.3: Parameter zur Beschreibung von Massnahmen zur Erhöhung bzw. Reduktion der maximalen Produktionskapazität (maximal mögliche Leistung) ... 64

Abb. 3.4: Schematische Darstellung eines Flexibilitätsprofils für ein einzelnes Arbeitssystem ... 73

Abb. 3.5: Algorithmus zur Bestimmung von Flexibilitätsprofilen für einzelne Arbeitssysteme ... 77

Abb. 3.6: Beispielhafte Darstellung eines typischen Flexibilitätsprofils für ein einzelnes Arbeitssystem ... 78

Abb. 3.7: Erweitertes Modell eines Arbeitssystems ... 80

Abb. 3.8: Zeitelemente des Auftragsdurchlaufes ... 80

Abb. 3.9: Beispiel eines resultierenden Flexibilitätsprofils (tatsächlicher Ausstoss) für ein dreistufiges Produktionssystem ... 82

Abb. 3.10: Variablen für die Berechnung resultierender Flexibilitätsprofile ... 83

Abb. 3.11: Algorithmus zur Bestimmung resultierender Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme ... 87

Abb. 3.12: Maximal mögliche Erhöhung der Kapazität sowie des Ausstosses auf jeder Stufe eines verketteten Produktionssystems ... 90

Abb. 4.1: Mögliche Mängel bei der Anpassung der Produktionskapazität ... 95

Abb. 4.2: Grobes Ablaufschema bei der zielgerichteten Planung der Kapazitätsanpassung ... 97

Abb. 4.3: Darstellung des Einflusses von Veränderungen des Varianten- bzw. Produkt-Mix auf den effektiven Kapazitätsbedarf, ausgedrückt durch normierte Bedarfsmengen ... 106

Abb. 4.4: Qualitative Darstellung einer Lernkurve mit abnehmender Lernrate im doppelt-logarithmischen Diagramm ... 108

Abb. 4.5: Ablaufschema der Planung und Bewertung von Strategien zur Kapazitätsanpassung ... 114

Abb. 5.1: Herstellungsprozess in der Metalldübelfertigung 121

Abb. 5.2: Szenario des Kapazitätsbedarfes für die am meisten belastete *Maschine 1* im Arbeitsgang „Umformung" bei der Metalldübelherstellung 124

Abb. 5.3: Flexibilitätsprofil für den Arbeitsgang Umformung (Maschine 1) in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG 124

Abb.5.4: Beispielhafte Darstellung der Anpassungsplanung entsprechend Anpassungsstrategie 3 für Umformmaschine 1 in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG 132

Abb. 5.5: Prozessschritte in der Endmontage bei der Herstellung von opto-elektronischen Modulen 124

Abb. 5.6: Spezifizierter Bedarfsanstieg und installierte Basiskapazität zum Untersuchungszeitpunkt 124

Abb. 5.7: Flexibilitätsprofil für die mittel- bis langfristige Kapazitätsanpassung in Montageschritt 1 124

Abb. 5.8: Flexibilitätsprofil für die mittel- bis langfristige Kapazitätsanpassung im Arbeitsgang Test- bzw. Abschlussmessung 124

Abb. 5.9: Zeitliche Einplanung der Massnahmen und resultierender Verlauf der maximal verfügbaren Kapazität für die Anpassung im 2-Schicht-Betrieb mit Rotationsmodell 124

Abb. 5.10: Flexibilitätsprofile für die kurzfristige Kapazitätsanpassung nach Umsetzung der in Tabelle 5.4 beschriebenen Anpassungsstrategien 1 bis 3 124

Abb. 5.11: Resultierendes Flexibilitätsprofil für die maximal mögliche Erhöhung des Produktausstosses in der Montage opto-elektronischer Module im kurzfristigen Bereich nach Umsetzung von Anpassungsstrategie 2 124

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Ressourcenorientierte Flexibilitätstypen ... 11

Tab. 2.2: Flexibilitätstypen bezogen auf Unsicherheiten und Problemstellungen (zweckorientiert) ... 15

Tab. 2.3: Beispiele für Bedarfsunsicherheiten, klassifiziert nach Bedarfsunsicherheits-Typ und Zeitbezug ... 31

Tab. 2.4: Beispiele für Möglichkeiten zur Anpassung von Betriebsmittel- und Personalkapazität durch Veränderung der Intensität, zeitlichen Nutzung oder durch Erweiterung ... 44

Tab. 3.1: Definition der Modell-Parameter zur Beschreibung von Bedarfsunsicherheiten ... 63

Tab. 3.2: Definition der Modell-Parameter zur quantitativen Beschreibung von Massnahmen zur Kapazitätsanpassung ... 66

Tab. 3.3: Einordnung von Beispielen für Massnahmen zur Kapazitätsanpassung entsprechend der jeweils typischen Wertebereiche für die minimale und maximale Nutzbarkeitsdauer ... 68

Tab. 3.4: Datentabelle für die Bestimmung eines resultierenden Flexibilitätsprofils entsprechend Abbildung 3.9 ... 88

Tab. 4.1: Morphologisches Schema zur Charakterisierung von möglichen Schwankungsereignissen des Kundenbedarfs ... 100

Tab. 5.1: Verfügbare Massnahmen zur Kapazitätsanpassung im Arbeitsgang Umformung in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG ... 127

Tab. 5.2: Verfügbare Massnahmen zur Kapazitätserhöhung in Montageschritt 1 bei der Herstellung von opto-elektronischen Modulen ... 141

Tab. 5.3: Verfügbare Massnahmen zur Kapazitätserhöhung in der Test- bzw. Abschlussmessung bei der Herstellung von opto-elektronischen Modulen ... 142

Tab. 5.4: Alternative Anpassungsstrategien für den Montageschritt 1 und die Test- bzw. Abschlussmessung ... 124

Tab. 5.5: Bewertung der entwickelten Anpassungsstrategien für den Produktionshochlauf bei der Herstellung opto-elektronischer Module ... 124

1 Einleitung

Anhaltende Veränderungen prägen derzeit das Umfeld der industriellen Produktion aber auch die mit ihr verknüpften Abläufe in Beschaffung, Herstellung und Vertrieb selbst sind einer erheblichen, möglicherweise wachsenden Dynamik unterworfen. Innovationen bei Produkten und Produktionstechnologien, immer kürzer werdende Produktlebenszyklen sowie ein wachsender Wettbewerb auf heimischen und internationalen Märkten – dies sind nur einige Trends mit denen sich produzierende Unternehmen heute auseinandersetzen müssen. Hinzu kommt die vor allem im zurückliegenden Jahrzehnt rasche Weiterentwicklung bei den Informations- und Kommunikationssystemen mit weitreichenden Konsequenzen für die Planung und Steuerung sowie die Abwicklung von Transaktionsprozessen. Obwohl in Industrie, Wissenschaft und Politik vielfach über eine massive Beschleunigung des Wandels berichtet und diskutiert wird, ist dieser im Grundsatz keinesfalls neu. Im Gegenteil, das Streben um die Ausweitung von Marktanteilen durch bessere und vor allem billigere Produkte durch den Einsatz immer leistungsfähigerer Produktionsmittel und -konzepte kennzeichnet die Industrieproduktion seit ihrer historischen Entstehung im 19. Jahrhundert.

Allerdings kann in vielen Industriezweigen etwa seit den 70er Jahren eine deutliche Wettbewerbsverschärfung beobachtet werden. Technischer Fortschritt, Massenproduktion und Produktivitätssteigerung hatten dazu geführt, dass das Angebot industriell erzeugter Güter schneller gewachsen war als die Nachfrage der Kunden. Dieser Prozess, der sich über fast zwei Jahrzehnte erstreckte wird in der Literatur als Wechsel vom Verkäufer- zum Käufermarkt bezeichnet.[1] Als Reaktion wurden von den im Wettbewerb stehenden Unternehmen verschiedenste Lösungsansätze entwickelt. Diese reichen von einer Intensivierung der Produktion, beispielsweise durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrades oder die Realisierung von Skalen-Effekten, über die informationstechnische Integration von Produktentwicklung und Produktion bis hin zum Entwurf neuartiger unternehmensübergreifender Kooperationsformen. Ein Blick auf die jüngere Vergangenheit zeigt jedoch auch, dass nicht alle Management-Trends und Strategieansätze die an sie geknüpften hohen Erwartungen erfüllen konnten. Ein Sachverhalt hat sich jedoch in den letzten Jahrzehnten unwiderrufbar durchgesetzt – die Stellung des Kunden und seiner Wünsche als Mittelpunkt aller Bemühungen der unternehmerischen Tätigkeit.

1.1 Motivation

Das Erkennen und Akzeptieren dieser Gegebenheit führt jedoch nicht unmittelbar zu einer Vereinfachung der Wettbewerbssituation. Die Wünsche und das Verhalten der Kunden verändern sich laufend, so dass ein einmal erreichter Vorsprung schnell wieder verloren werden kann. Vor allem in den gesättigten Märkten fällt es zunehmend schwer, sich mit Hilfe der traditionellen Wettbewerbsargumente Qualität und Preis durchzusetzen. Neben einer kontinuierlichen, gezielten Innovation bei Produkten und Produktionsprozessen sowie der

[1] Vgl. z.B. Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 79, Seiler A., Marketing, 2001, S. 29 f. oder Hammer M. / Champy J., Business Reengineering, 1994, S. 11 ff.

Bereitstellung von ergänzenden Service-Angeboten sind es zunehmend auch logistische Leistungsmerkmale, die den Wettbewerb entscheidend mitbestimmen. Insbesondere die Fähigkeit, kürzere Lieferfristen als mögliche Wettbewerber zu gleichen oder geringeren Kosten anbieten und diese zuverlässig einhalten zu können, verspricht spürbare Wettbewerbsvorteile.[1] Um diese Anforderungen in der Realität trotz bestehender oder sogar wachsender Unsicherheiten im Hinblick auf die Bedürfnisse und das Verhalten potenzieller Kunden erfüllen zu können, müssen Produktionsbetriebe in der Lage sein, mit einer angemessenen Flexibilität auf Schwankungen, insbesondere des Bedarfes, zu reagieren. Die Flexibilität in der Produktion in ihren verschiedenen Ausprägungen kann dabei zunächst ganz allgemein als ein Instrument verstanden werden, um unter anderem auf veränderliche Kundenwünsche zu reagieren.

Die Beherrschung von Bedarfsschwankungen gehört zu den zentralen Aufgaben der Planung und Steuerung in produzierenden Unternehmen. Nicht nur der Anstieg oder Rückgang der von den Abnehmern nachgefragten Produktmengen sind hierbei relevant, sondern auch die Verschiebung vereinbarter Liefertermine oder Wünsche nach anderen, gegebenenfalls sogar neuen Produkten bzw. Produktvarianten. Im kurz- und mittelfristigen Planungshorizont äussern sich diese Veränderungen der Kundenwünsche vor allem in der Anforderung, schwankende Kapazitätsbedarfe mit dem verfügbaren Kapazitätsangebot abzugleichen.

Grundsätzlich stehen im Produktionsmanagement hierfür zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Dies ist einerseits die Umplanung von Start- und Endterminen für Produktionsaufträge sowie andererseits die Anpassung der Produktionskapazität. Obwohl beide Ansätze zur Lösung des beschriebenen Problems prinzipiell geeignet sind und auch die betriebliche Praxis beide Möglichkeiten kennt, geht die überwiegende Zahl der Werkzeuge zur Planung und Steuerung von einem weitgehend begrenzten, häufig sogar feststehenden Kapazitätsangebot aus. Damit ist die zeitliche Verschiebung von Produktionsaufträgen der in der Regel bevorzugte Lösungsweg, um realisierbare Produktionspläne zu erlangen. Dem stehen jedoch die gewachsenen Erwartungen an kurze Lieferfristen und die Forderung nach strikter Termineinhaltung in einem gewissen Umfang entgegen, da hierdurch die verfügbaren Freiheitsgrade bei der Terminplanung erheblich beschnitten werden können. Die Bereitstellung und der Einsatz flexibler Kapazitäten wird somit in wachsendem Masse erzwungen oder zumindest zu einer unverzichtbaren Handlungsalternative in der Planung und Abwicklung der Produktion.

Tatsächlich verfügen die meisten Produktionsbetriebe heute sogar über mehrere Alternativen zur Erhöhung oder Reduktion der eigenen Fertigungskapazitäten. Die Unterschiede liegen dabei typischerweise im Beitrag, den eine Massnahme zur Veränderung der Produktionskapazität leistet, aber auch in der für die Implementierung notwendigen Vorlaufzeit sowie in den bei der Nutzung anfallenden Kosten. Gleichzeitig stehen den Anpassungsalternativen häufig auch sehr unterschiedliche sich möglicherweise überlagernde Typen von Bedarfsschwankungen gegenüber. Der zielgerichtete und wirtschaftlich effiziente Einsatz der vorhandenen Kapazitäts-Flexibilität wird somit zu einer Planungsfragestellung, die den Zyklus der klassischen Produktionsplanung auf allen zeitlichen Ebenen erweitert.

---

[1] Siehe dazu u.a. Nyhuis P. / Wiendahl H.-P., Logistische Kennlinien, 2003, S. 1 ff. ,Porter M.E., Wettbewerbsvorteile, 2000, S. 169 ff., Luczak H., Servicemanagement, 1999, S. 1f. oder Fine H.C., Clockspeed, 1998, S. 29 ff.

1.2 Zielsetzung

Die allgemein mit dem Begriff der Flexibilität verknüpften Problemstellungen und daraus abgeleiteten Zielsetzungen im Kontext der industriellen Produktion sind vielfältig. Aufgrund der daraus resultierenden Mehrdeutigkeit und Interpretierbarkeit des Flexibilitätsbegriffes ist eine hohe Sorgfalt bei dessen Verwendung geboten, was in einer vertiefenden Diskussion in Kapitel 2.1 noch einmal aufgegriffen wird. Voraussetzung für die Erfüllung des für die vorliegende Arbeit unbedingt gültigen Anspruchs der praktischen Nutzbarkeit ist eine möglichst einfache Betrachtungsweise. Entsprechend besteht zunächst die Notwendigkeit, ein mit angemessenem Aufwand handhabbares Flexibilitätsverständnis zu entwickeln, mit dessen Hilfe die im vorigen Abschnitt formulierte Planungsfragestellung greifbar wird.

Daran anknüpfend ist die Herausarbeitung eines sachlich und begrifflich fokussierten, quantitativen Flexibilitätsbegriffes eine erste, als Grundlage dienende Aufgabestellung. Die Suche nach einer „besten" Flexibilitätsdefinition in der bestehenden wissenschaftlichen Literatur oder gar die Formulierung einer neuen ist hingegen nicht Gegenstand der Betrachtung. Ziel ist es, die Planung und Abwicklung der Produktherstellung im Kontext signifikant schwankender Kapazitätsbedarfe und gleichzeitig hoher Anforderungen an Lieferzeit und Termintreue ergänzend zu unterstützen.

Um dies sinnvoll realisieren zu können, ist es zunächst erforderlich, Schwankungen des Kapazitätsbedarfes und alternative Wege zur Kapazitätsanpassung geeignet zu charakterisieren und vergleichbar zu machen. Hierzu ist ein entsprechender Beschreibungsansatz zu entwickeln. In einem weitergehenden Schritt soll dieser schliesslich in Methoden und Werkzeuge umgesetzt werden, mit deren Hilfe planungsverantwortliche Mitarbeiter in Produktionsbetrieben bestehende Möglichkeiten zur bedarfsgerechten Kapazitätsanpassung gezielt konfigurieren und hinsichtlich ihrer Effizienz bewerten können. Dies schliesst die Ausarbeitung einer Grobspezifikation eines Software-Werkzeuges für die erarbeiteten Lösungen ein, da die tatsächliche Verwendung des entwickelten Ansatzes in der betrieblichen Praxis vermutlich an die Verfügbarkeit einfach handhabbarer Hilfsmittel geknüpft ist.

1.3 Aufbau der Arbeit und Forschungssystematik

Ausgangspunkt für die Erfüllung der oben formulierten Zielstellungen ist die Auseinandersetzung mit den wissenschaftlichen Arbeiten im Themengebiet der produktionswirtschaftlichen Flexibilität einerseits und Problemstellungen in der betrieblichen Praxis andererseits. Zu Beginn von Kapitel 2 werden deshalb in einem Überblick verschiedene Flexibilitätsbegriffe und -konzepte vorgestellt und diskutiert. Daraus kann unmittelbar die Forderung nach einer sachlichen Fokussierung auf konkrete und eindeutig beschreibbare Problembereiche abgeleitet werden. Um dies in der vorliegenden Arbeit plausibel zu verwirklichen, werden in Kapitel 2.2 zunächst relevante Problemstellungen für produzierende Unternehmen und Betriebe identifiziert und für den gewählten Bezugsrahmen systematisiert. Als Quellen konnten dafür verschiedene Beiträge in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur, aber auch veröffentlichte Wirtschaftsdaten und Fallstudien sowie die eigene Projektarbeit in Industrieunternehmen herangezogen werden. Auf dieser Grundlage erfolgt dann im selben Kapitel die bereits oben angedeutete Abgrenzung des Betrachtungsbereiches auf die Beherrschung von Bedarfsunsicherheiten durch die Anpassung der Produktionskapazität.

Anschliessend werden im dritten Teil von Kapitel 2.2 sowie in 2.3 die begrifflichen Grundlagen geschaffen und operationalisiert, um die relevanten Anforderungen und Lösungsaspekte für die Planung der Kapazitätsanpassung konsistent beschreiben zu können. Dabei wurde versucht, die in diesem Themengebiet bestehende Literatur angemessen zu berücksichtigen. Gleichzeitig wird unter anderem anhand von Beispielen gezeigt, welche Einflussgrössen in diesem Teilbereich der Produktionsplanung von Bedeutung sind und welche wesentlichen Problemstellungen es zu lösen gilt. In Kapitel 2.4 wird daran anknüpfend untersucht, wie heute in der betrieblichen Praxis mit den aufgeworfenen Fragestellungen umgegangen wird, so dass schliesslich in Kapitel 2.5 ein resultierender Handlungsbedarf formuliert werden kann.

Als Lösungsansatz werden zu Beginn des dritten Kapitels Dimensionen zur quantitativen Beschreibung von Änderungen des Kapazitätsbedarfes auf der einen Seite und Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung auf der anderen vorgeschlagen. Darauf aufbauend werden in einem nächsten Schritt Modellierungsparameter entworfen (Kapitel 3.1), die als Grundlage für die Entwicklung der in der Zielsetzung erwähnten Hilfsmittel und Werkzeuge dienen. Dem widmen sich die anschliessenden Kapitel 3.2 und 3.3 mit Lösungen für die Darstellung und Analyse von Massnahmenportfolios zur Kapazitätsanpassung sowie Kapitel 4 mit der Ausarbeitung einer methodischen Handlungsweise zur Konfiguration und Bewertung von Strategien zur bedarfsgerechten Kapazitätsanpassung. Die konsequente Verwendung des erarbeiteten Modellierungsansatzes ist dabei jeweils als Kernelement anzusehen. Neben einer Empfehlung für einen möglichen Ablauf bei der Anpassungsplanung in Kapitel 4.3 werden in Kapitel 4.2 zusätzlich Hinweise zur Ermittlung von Bedarfsunsicherheiten sowie zur Quantifizierung von Kapazitätsbedarfsniveaus gegeben.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Dokumentation von zwei Fallstudien in Kapitel 5, mit deren Hilfe die Tauglichkeit der entwickelten Lösungskonzepte nachgewiesen wird. Die Verschiedenheit der dabei behandelten Fragestellungen soll darüber hinaus die Breite eines möglichen Anwendungsspektrums andeuten.

Der Aufbau der Arbeit widerspiegelt zugleich das Vorgehen bei der Lösungserarbeitung, das sich weitgehend an dem von ULRICH und HILL vorgeschlagenen Forschungsprozess in der handlungsorientierten Betriebswirtschaftslehre orientiert.[1] Im Fall der vorliegenden Arbeit wird dieser durch die fundierte Herleitung der zu lösenden Fragestellung ergänzt. In diesem Sinne entsprechen die Bereitstellung der begrifflichen Grundlagen und deren Anwendung zur Beschreibung von betrieblichen Problem- und Aufgabenstellungen *terminologisch-deskriptiven* Aktivitäten. Dagegen ist die Konzeption der Modellparameter in Kapitel 3.1 als *empirisch-induktive* und die Ausarbeitung von Methoden oder Hilfsmittel zur Unterstützung der Planung der Kapazitätsanpassung als *analytisch-deduktive* Aufgabe einzuordnen. Die Validierung der Resultate mit Hilfe von Fallstudien entspricht wiederum einer *empirisch-induktiven* Arbeitsweise.

[1] Siehe Ulrich P. / Hill W., Wissenschaftstheoretische Grundlagen, 1976.

2 Flexibilität in der Produktion

Bereits seit vielen Jahren wird die Bedeutung der Flexibilität in den verschiedensten Bereichen des modernen Lebens und ganz besonders im betriebswirtschaftlichen Umfeld als Schlüsselkompetenz und wichtiger Erfolgsfaktor intensiv diskutiert. Dies gilt in bevorzugtem Masse für die industrielle Produktion, da sich zahlreiche Unternehmen hiervon eine Möglichkeit zur Erarbeitung substantieller Vorteile gegenüber bestehenden oder potenziellen Wettbewerbern erhoffen. Angesichts des sich fortlaufend verschärfenden globalen Wettbewerbs der Wirtschaftsregionen besitzt der Themenbereich um flexible Arbeitszeiten oder anpassungsfähige Strukturen von Fabriken und Logistiknetzwerken derzeit sogar eine ausserordentlich aktuelle Bedeutung.

Allerdings prägen vielfältige Anforderungen auf der einen und unterschiedliche Begriffe sowie daran geknüpfte Konzepte und Strategien auf der anderen Seite die derzeitige Diskussion. So wird der Flexibilitätsbegriff in zahlreichen Zusammenhängen verwendet, die von der Anpassung an Technologie- und Prozessinnovation in kurzen Zeitspannen, über die schnelle Realisierung von Serienanläufen, bis hin zur kurzfristigen Realisierung variabler Kundenwünsche mit Hilfe leistungsfähiger Planungs- und Steuerungskonzepte reichen. Demzufolge ist es eine wesentliche Aufgabe dieses Kapitels, neben der Erläuterung der Ausgangslage in Wissenschaft und Praxis, die der Arbeit zugrunde liegende Fokussierung zu vermitteln.

2.1 Flexibilitätsbegriffe und -konzepte – eine kritische Übersicht

Die Auseinandersetzung mit der produktionswirtschaftlichen Flexibilität in der wissenschaftlichen Literatur bezieht sich in den allermeisten Fällen auf die Planung und Durchführung von Aufgaben entlang der inner- sowie teilweise auch überbetrieblichen *Wertschöpfungskette*. Zu dieser gehören neben der *Produktion*, als eigentlichem Transformationsprozess von Sachgütern und Dienstleistungen in Produkte, auch die *Beschaffung* von Sachgütern und Dienstleistungen sowie der *Absatz* der Produkte. Das Produkt eines Produktionsprozesses selbst kann wiederum als ein Sachgut bzw. im erweiterten Sinn als Sachgut mit, aus Sicht des Kunden, dazugehörenden Dienstleistungen aufgefasst werden.[1]

Die Ausweitung der Betrachtung auf den Lebenszyklus von Produkten, gekennzeichnet durch die Phasen Entwicklung, Herstellung, Gebrauch und Service sowie schliesslich die Entsorgung, erweitert das Spektrum möglicher, in Literatur und Praxis tatsächlich auch diskutierter Aspekte zur Flexibilität. Aus diesem Grund soll bereits an dieser Stelle eine erste Begrenzung des Betrachtungsbereiches auf die Produktion sowie darin auf die Phase der Herstellung von Produkten vorgenommen werden. Die Schnelligkeit bei der Produktentwicklung oder die Flexibilität bei der Unternehmensfinanzierung, zum Beispiel im Zusammenhang mit der Liquiditätsplanung usw., gehören damit nicht zum Untersuchungsgegenstand.

---

[1] Siehe dazu Schönsleben, P., Logistikmanagement, 2004, S. 7 f.

2.1.1 Begriffsvielfalt als Verständnisproblem

Zieht man daran anknüpfend die ursprüngliche Bedeutung des lateinischen Begriffes *Flexibilität* in Betracht, die wörtliche Übersetzung lautet Biegsamkeit oder Anpassungsfähigkeit, so geht es also um das „verbiegen" bzw. anpassen von Fertigungsabläufen, Produktionskapazitäten oder logistischen Prozessen. Eine präzisere und dennoch allgemein gehaltene Flexibilitäts-Definition ist in APICS zu finden. Darin wird Flexibilität charakterisiert als „Fähigkeit des Produktionssystems schnell, im Sinne von Ausmass und Zeit, auf externe oder interne Veränderungen zu reagieren. ...".[1]

Der Begriff des *Produktionssystems* bezeichnet darin eine im Hinblick auf die Planung als Einheit anzusehende organisatorische Struktur im Betrieb. Zu ihr gehören die zur Produkterstellung, das heisst für Bearbeitung, Transport bzw. Materialzuführung und Lagerung notwendigen Mitarbeiter und Betriebsmittel. Formal eingeschlossen sind auch Regeln und Methoden, die den Ablauf der Produktion definieren. In Analogie dazu ist ein *Arbeitssystem* ein organisatorisch untergeordnetes Objekt der betrieblichen Struktur, das zur Erfüllung einer spezifischen Arbeitsaufgabe eingesetzt wird. Typischerweise bestehen Arbeitssysteme aus einer oder mehreren, über gleichartige Fähigkeiten verfügende Person, Maschinen oder Anlagen. Es kann üblicherweise für die Ausführung einer mehr oder weniger komplexen Herstellungsoperation eingesetzt werden. Ein Produktionssystem kann dementsprechend aus mehreren Arbeitssystemen gebildet werden.[2]

Obwohl die meisten Autoren mit der oben angeführten, sehr einfachen Definition zur Flexibilität zunächst übereinstimmen, gibt es in der Literatur zahlreiche Weiterentwicklungen und Spezialisierungen des Flexibilitätsbegriffes mit dem Ziel, besondere Eigenschaften von Produktionssystemen hervorhebend zu charakterisieren. Inzwischen ist die Menge der Arbeiten und die daraus resultierende Vielfalt unterschiedlicher Begriffe und Sichtweisen derart gross, dass eine vollständige Übersicht kaum zu erreichen ist. In mehreren Übersichtsbeiträgen wird sogar ausdrücklich festgestellt und gleichzeitig bedauert, dass es offensichtlich unmöglich ist, ein einheitliches und vor allem eindeutiges Flexibilitätsverständnis zu entwickeln.[3]

---

[1] APICS Dictionary, 2005, S. 44: "Flexibility – The ability of the manufacturing system to respond quickly, in terms of range and time, to external or internal changes. ...". Das an dieser und weiteren Stellen der vorliegenden Arbeit zur Begriffsdefinition und -erläuterung herangezogene Wörterbuch der amerikanischen „Association for Operations Management" (früher „Educational Society for Resource Management") wurde bewusst gewählt. Die Organisation APICS nimmt eine international wichtige Rolle bei der Standardisierung von Fachbegriffen im Bereich Produktion und Logistik ein, der hier so weit wie möglich entsprochen werden soll.

[2] Die Begriffe work center oder load center (APICS Dictionary, 2005, S. 124) und Kapazitätsplatz (Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 27) werden in ähnlicher Weise wie der des Arbeitssystems definiert. Sie können deshalb im vorliegenden Zusammenhang als Synonyme verwendet werden. Im Gegensatz dazu bezeichnet eine (Produktions-)Ressource jedes im Herstellungsprozess benötigte Objekt, was Personal, Betriebsmittel sowie verbrauchtes und formal auch produziertes Material, Energie usw. einschliesst. Siehe dazu Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 395.

[3] Stellvertretend für verschiedene andere: Suarez F.F. / Cusumano, M.A. / Fine C.H. Flexibility and performance, 1991 und Sethi A. K. / Sethi S.P., Survey, 1990.

Ein wesentliches Problem in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass immer wieder neue, zusätzliche und teilweise sogar synonym verwendeten Begriffe definiert und in den Mittelpunkt der Diskussion gerückt werden. Beispiele hierfür sind *Agilität*, *Anpassungsfähigkeit* oder auch die zuletzt insbesondere in der deutschsprachigen Literatur behandelte *Wandlungsfähigkeit*. Allerdings gelingt es durch die Fülle der letztlich nur schwer von einander abgrenzbaren Terminologien und durch das im Literaturüberblick uneinheitliche Verständnis nur sehr begrenzt, bestehende praktische Problemstellungen mit jeweils empfohlenen Handlungsfeldern plausibel zu verknüpfen (vgl. dazu auch Abbildung 2.1).

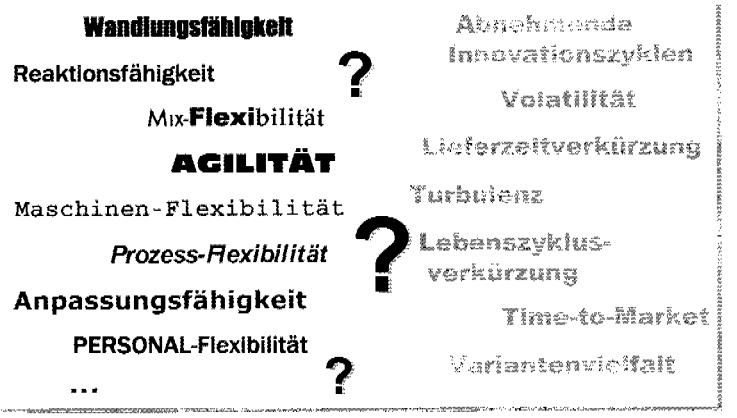


Abb. 2.1: Begriffsvielfalt in der Management-Literatur zu Anforderungen und wünschenswerten Leistungen von Produktionssystemen

Als Folge des uneinheitlichen begrifflichen Grundverständnisses besteht zudem eine vergleichbare Uneinigkeit bei möglichen Ansätzen zur Messung oder quantitativen Beschreibung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität. Zwar beschäftigen sich, gemessen an der Gesamtmenge der Beiträge zum Themengebiet, nur relativ wenige Autoren mit konkreten Mess- und Bewertungskonzepten, die absolute Anzahl ist dennoch zu gross, um einen umfassenden Überblick wiedergeben zu können. Eine grobe Unterscheidung der Lösungsvorschläge erlaubt jedoch die Einteilung in möglichst allgemeingültige, abstrakte Messkonzepte, die jedoch in der Regel nur schwer operationalisiert werden können sowie in solche, die auf sehr spezifische, abgegrenzte Anwendungsfälle ausgerichtet sind.[1]

Eine mögliche Ursache für die heute vorherrschende Unübersichtlichkeit in der Diskussion um die Flexibilität in der Produktion ist die Anzahl der durchaus sehr verschiedenen Fragestellungen, die mit ihr in Verbindung gebracht werden. Tatsächlich stehen Industriebetriebe heute vor einer ganzen Reihe von Herausforderungen, die den Einsatz von Flexibilität in den verschiedensten Ausprägungsformen notwendig machen oder wenigstens vorteilhaft erscheinen lassen (vgl. Abbildung 2.2). Es darf jedoch in Frage gestellt werden, ob es sinnvoll und notwendig ist, die, wie geschildert, sehr unterschiedlichen Anforderungen und Fähigkeiten in eine verknüpfte, umfassende begriffliche Systematik einzuschliessen.

---

[1] Beispiele hierfür sind die Arbeiten von SCHNEEWEISS (Planung, 1992, S. 151 ff.) oder GUPTA (Measurement and valuation, 1993), beide versuchen allgemeingültige Flexibilitätsmasse abzuleiten bzw. DIXON (Measuring manufacturing flexibility, 1992), der mit dem statistischen Hilfsmittel der Faktoranalyse spezielle Messgrössen vorschlägt, die zum Vergleich bestimmter Fähigkeiten zwischen Unternehmen eines Zweiges der Textilindustrie dienen sollen.

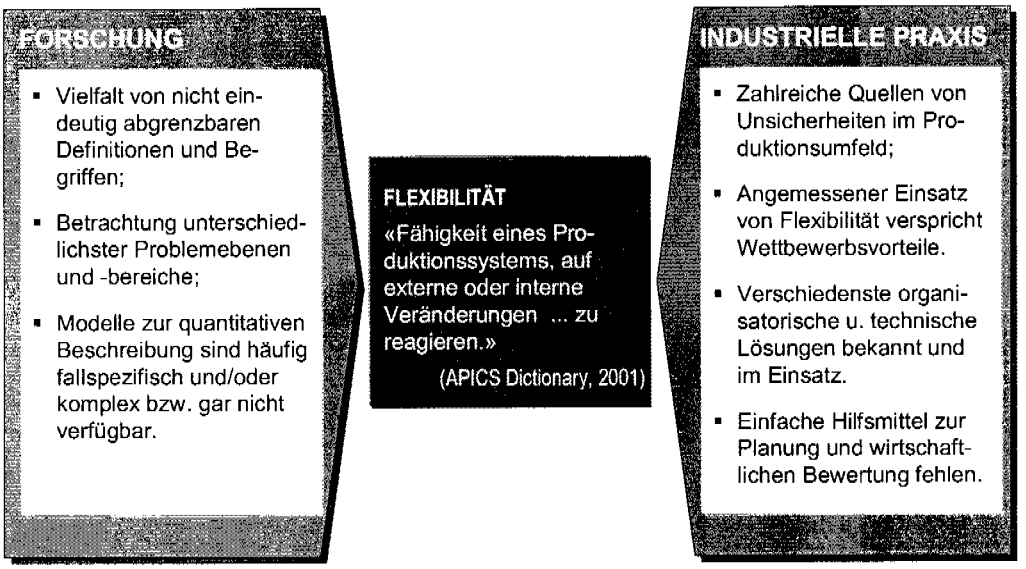


Abb. 2.2: Flexibilität in der Produktion – Ausgangslage in Forschung und Praxis

Folglich ist eine blosse Aufzählung einer Auswahl von Begriffen und Konzepten zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität wenig hilfreich. Gleiches gilt für eine chronologische Ordnung entsprechend ihrer wissenschaftshistorischen Entstehung. Viel mehr soll in den nächsten Abschnitten versucht werden, durch eine pragmatische und intuitive Gruppierung der wichtigsten Begriffe einen groben Überblick über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Diskussion zu schaffen. Angesichts mehrerer Jahrzehnte internationaler Forschungsarbeit im untersuchten Themengebiet besteht allerdings kein Anspruch auf Vollständigkeit.

2.1.2 Einteilung der Flexibilitätsbegriffe

Erwartungsgemäss sind in der wissenschaftlichen Literatur zum Themenbereich der produktionswirtschaftlichen Flexibilität bereits mehrere Vorschläge zur Systematisierung der begrifflichen und konzeptionellen Vielfalt veröffentlicht worden. Eine wesentliche Bedeutung kommt hierbei den zum Teil sehr umfangreichen Übersichtsbeiträgen zu.

So schlagen beispielsweise gleich mehrere Autoren eine *zeitbezogene* Klassifizierung von Möglichkeiten zur Anpassung der Produktionsleistung an Umfeldveränderungen vor. Die Unterscheidungskriterien reichen dabei von „sofort verfügbar" und „sehr kurzfristig", bis hin zu „langfristig", ohne jedoch diese relativen Zeitbezüge näher zu definieren.[1] Ein weiterer, relativ weit verbreiteter Ansatz ist die Einordnung nach den gewählten betrieblichen Betrachtungsebenen. DE TONI und TONCHIA bezeichnen diese Möglichkeit zur Systematisierung in ihrer gründlichen Literaturübersicht aus dem Jahr 1998 auch als *vertikale* bzw. *hierarchische* Klassifikation.[2] Als unterste Ebene, auf der eine Anpassung an veränderte Anforderungen erfolgen kann, wird dabei in der Regel eine einzelne Maschine oder Fertigungszelle angesehen. Übergeordnet sind entsprechend Produktionsbereiche, Werke oder Standorte sowie schliesslich die Ebene des gesamten Unternehmens. In vergleichbarer Weise erfolgt

[1] Vgl. dazu u.a. Zelenovich, D.M., Flexibility, 1982.

[2] Siehe De Toni A. / Tochia S., Manufacturing flexibility, 1998.

eine von WIENDAHL veröffentlichte Unterscheidung von *Veränderungstypen der Fabrik.*[1] GUPTA und GOYAL sehen hingegen in der *Art der Messung und Bewertung* der Produktionsflexibilität, etwa durch die Bestimmung des betriebswirtschaftlichen Nutzens, durch Performance-Kenngrössen oder durch Ansätze aus der Entscheidungstheorie usw., eine geeignete Möglichkeit zur Systematisierung.[2]

Die genannten Beispiele zeigen, dass sich bei einer Vielzahl der in der wissenschaftlichen Literatur diskutierten Ordnungsschemas die jeweils individuelle Sichtweise auf bestimmte betriebliche Aufgabenbereiche, zum Beispiel die Fabrikplanung, widerspiegelt. Hingegen bleiben andere Teilbereiche des Produktionsmanagements jeweils weitgehend unberücksichtigt. In umgekehrter Weise erlaubt jedoch die Beachtung der in der wissenschaftlichen Diskussion eingenommenen Blickwinkel auf die produktionswirtschaftliche Flexibilität selbst die Ableitung einer groben begrifflichen Systematisierung.

Wie in Abbildung 2.3 vereinfachend dargestellt ist, kann zunächst eine Unterscheidung von *ressourcenorientierten* Ansätzen und Erklärungsmodellen von solchen vorgenommen werden, die vorwiegend auf bestimmte Problemstellungen ausgerichtet sind. Letztere sollen im folgenden als *zweckorientierte* Flexibilitätsbegriffe bezeichnet werden. Als eine dritte Begriffsgruppe können Fähigkeiten von Betrieben bzw. Unternehmen identifiziert werden, die im Zusammenhang mit der Kultur und *sozialen Kompetenz* einer Organisation stehen, sich als Wertschöpfungspartner flexibel in Produktions- und Logistiknetzwerke einzubringen.

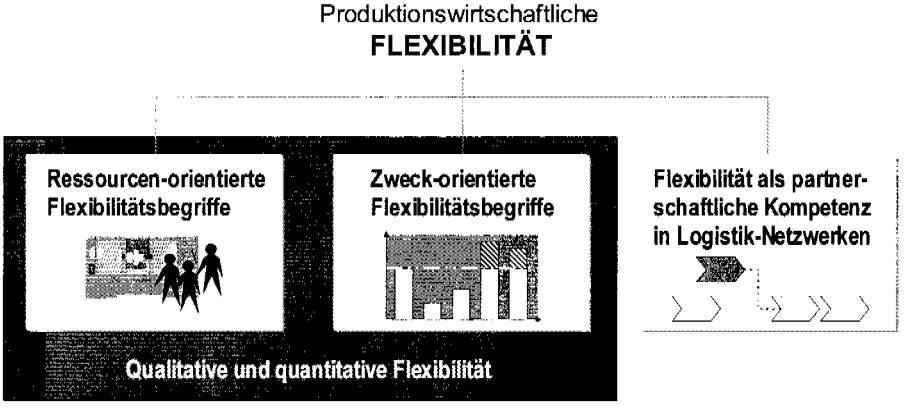


Abb. 2.3: Typologie bestehender produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsbegriffe nach betrieblichen Bezugsobjekten bzw. -sachverhalten

Als Grundtypen der Flexibilität im Produktionskontext sind indessen die *qualitative* und die *quantitative* Flexibilität von Personal und Betriebsmitteln anzusehen. Beide sind in den verschiedensten erweiterten oder spezialisierten Begriffskonzepten in einer impliziten Weise enthalten. Sie stehen deshalb auch am Anfang der in den nächsten Abschnitten folgenden kurzen Erläuterungen zu den Begriffsgruppen.

---

[1] Vgl. Gupta, D., Measurement and valuation, 1993; Wiendahl, H.-P., Wandlungsfähigkeit, 2002.

[2] Siehe dazu Gupta Y.P. / Goyal S., Concepts and measurements, 1989.

Qualitative und quantitative Flexibilität von Personal und Betriebsmitteln

Ohne einen eingrenzenden Bezug auf bestimmte Hierarchieebenen in der Fabrik oder auf konkrete betriebliche Problemstellungen beschreiben die Begriffe der qualitativen und quantitativen Flexibilität zwei grundlegende Eigenschaften von Produktionsressourcen. Dabei bezieht sich die qualitative Flexibilität von Mitarbeitern und Betriebsmitteln auf die Frage, ob diese nur für einen bestimmten oder für verschiedene Produktionsprozesse einsetzbar sind.[1]

Im Hinblick auf die industrielle Praxis ist davon auszugehen, dass für die meisten Betriebe die Aufgabe besteht, ein mehr oder weniger grosses Produktspektrum mit Hilfe verschiedener Herstellungsschritte und -verfahren zu produzieren. Entsprechend gross ist damit die Bedeutung der *qualitativen* Flexibilität in der Realität. Eine gezielte Förderung der entsprechenden Kenntnisse und Fertigkeiten des Personals, gegebenenfalls auch über das zwingend erforderliche Mass hinaus, kann zudem auch für eine grundsätzliche Verbesserung der Produktionsleistung sorgen.[2]

Im Unterschied dazu kennzeichnet die *quantitative* Flexibilität der Betriebsmittel die Fähigkeit bzw. beim Personal die Fähigkeit und die Bereitschaft, den mengenmässigen Ausstoss an Produkten in gewissen Grenzen zu verändern. Dies kann einerseits durch eine Anpassung der Intensität in einem Produktionsprozess oder andererseits durch die zeitliche Ausdehnung bzw. Reduzierung der Ressourcennutzung erfolgen.[3] So kann beispielsweise die Mengenleistung eines Montage-Prozesses in seiner Intensität durch die Veränderung der Taktzeit beeinflusst werden. Alternativ kann der Ausstoss aber auch durch die Anordnung von Zusatz- oder Freischichten zumindest zeitweise erhöht bzw. reduziert werden, was jedoch zumeist nur im Falle einer kurzeitig erforderlichen Anpassung sinnvoll ist.

Das Beispiel weist gleichzeitig auf einen häufig bestehenden, aber keinesfalls zwingenden Zusammenhang zwischen der qualitativen und der quantitativen Flexibilität hin. Wird die oben erwähnte Veränderung der Taktzeit tatsächlich realisiert, ist daran in der Regel ein ebenfalls veränderter Personalbedarf geknüpft. Besteht nun die Möglichkeit, zusätzlich benötigte oder frei werdende Mitarbeiter aufgrund ihrer qualitativen Fähigkeiten relativ einfach und schnell zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen in einem Betrieb zu „verschieben", trägt dies offensichtlich zur quantitativen Flexibilität des Gesamtsystems bei. Ohne dies an dieser Stelle weitergehend zu diskutieren, kann davon ausgegangen werden, dass eine hohe qualitative Flexibilität von Betriebsmitteln und Mitarbeitenden die quantitative Flexibilität eines Produktionssystems im Grundsatz positiv beeinflusst.

---

[1] Siehe dazu Schönsleben, P., Logistikmanagement, 2004, S. 165.

[2] Damit im Zusammenhang steht die Überlegung, dass eine relative Zufriedenheit der Mitarbeitenden mit den Inhalten der Arbeitsaufgabe, die u.a. durch wiederkehrende Herausforderungen und Veränderungen geschaffen werden kann, wesentlich ist für die Effizienz und Qualität des Arbeitsergebnisses. Der englische Begriff *job enrichment* beschreibt genau diese Gegebenheit (vgl. dazu auch Schönsleben, P., Logistikmanagement, 2004, S. 165).

[3] Vgl. hierzu Schönsleben, P., Logistikmanagement, 2004, S. 165 f.; Zäpfel, G., Produktionswirtschaft, 1982, S. 10 f.

Ressourcenorientierte Flexibilitätstypen und verwandte Begriffe

Charakteristisch für die hier als ressourcenorientiert bezeichneten Begriffe und Erklärungsmodelle ist, dass in erster Linie Freiheitsgrade zur Veränderung von Produktionssystemen Gegenstand der Betrachtung sind. Die Unterscheidung der dieser Gruppe zugeordneten Terminologien kann in der Regel im Hinblick auf die im Mittelpunkt stehenden betrieblichen Funktionen, Objekte und Teilsysteme erfolgen. Dies sind beispielsweise Maschinen und Anlagen, aber auch Personal oder Organisationsstrukturen. Zwar besteht in der Regel ein grundsätzlicher Bezug zu möglichen externen oder internen Veränderungen, die im Verständnis der oben angeführten allgemeinen Flexibilitätsdefinition die Anpassung eines Produktionssystems eigentlich erst notwendig machen, eine abgrenzende Konkretisierung erfolgt dagegen zumeist nicht. In der nachfolgenden Tabelle sind einige der in der einschlägigen Literatur regelmässig genannten Typen der Flexibilität aufgeführt, die anhand ihrer Definition bevorzugt als ressourcenorientiert angesehen werden können.

Bezeichnung	**Erläuterung / Definition**
Maschinen-Flexibilität	Wird bestimmt durch die Eignung einer Maschine zur Ausführung verschiedener Fertigungsprozesse (z.B. Bohren, Drehen, Schleifen etc.), ohne dass beim Wechsel zwischen den Fertigungsprozess hohe Änderungsaufwände anfallen.
Personal-Flexibilität	Wächst mit der Breite der verschiedenen Fertigungsaufgaben, die von den Produktionsmitarbeitern effektiv und wirtschaftlich verrichtet werden können.
Prozess-Flexibilität	Bezieht sich auf die Fähigkeit eines Produktionssystems, eine gegebene Auswahl von Produkten / Varianten, für die ggf. auch unterschiedliche Materialien eingesetzt werden, ohne wesentliche Umgestaltungs- bzw. Umrüstaufwände herstellen zu können.
Materialfluss-Flexibilität	Kennzeichnet die Nutzbarkeit der verfügbaren betrieblichen Transportsysteme, verschiedene Materialien und Produkte in einem Produktionswerk bewegen und an den Orten der Bearbeitung geeignet positionieren zu können.

Tab. 2.1: Ressourcenorientierte Flexibilitätstypen[1]

Bereits die in der oben stehenden Tabelle enthaltenen knappen Erläuterungen zeigen, dass es zwischen den einzelnen Flexibilitätstypen deutliche Überschneidungen gibt. Zudem besteht insbesondere bei der Maschinen- und der Personal-Flexibilität eine inhaltliche Ähnlichkeit mit der oben bereits beschriebenen qualitativen Flexibilität von Personal und Betriebsmitteln.

---

[1] Vgl. dazu auch die Erläuterungen zu den englischsprachigen Begriffen *Machine*, *Labor*, *Process* und *Material handling flexibility* in Browne J. et al., Classification of FMS, 1984; Sethi A.K. / Sethi S.P., Survey, 1990; Beach R. et al., Review, 2000 und Zhang Q. / Vonderembse M.A. / Lim J.-S., Manufacturing flexibility, 2003.

Neben diesen, auf bestimmte Teile eines Produktionssystems bezogenen Definitionen kann auch für die komplexen Begriffe der *Wandelbarkeit* und *Wandlungsfähigkeit*, wie sie unter anderem von WESTKÄMPER und WIENDAHL dargelegt werden, eine Zuordnung zur Gruppe der ressourcenorientierten Beschreibungsansätze erfolgen. Beide Autoren bezeichnen damit in ähnlicher Art und Weise die Fähigkeit von Unternehmensstrukturen, das heisst von Personal, Maschinen und Anlagen, logistischen Prozessen etc., zur Anpassung an unvorhergesehene Umfeldveränderungen. Die Flexibilität selbst wird in diesem Zusammenhang von den Autoren als Eigenschaft der gleichen Objekte angesehen, die dazu dient, auf vorhergesehene oder sogar geplante Veränderungen zu reagieren. Sie wird somit zur Teilmenge der weiterreichenden Wandlungsfähigkeit.[1]

Noch einen Schritt weiter gehen die Arbeiten von GOLDMAN, NAGEL und PREISS, die mit dem von ihnen massgeblich geprägten Begriff der *Agilität* die Fähigkeit zur Veränderung bereits auf der Ebene der Unternehmensstrategie und -kultur beginnen lassen. Das Streben nach Wettbewerbsfähigkeit wird so in nahezu allen Bereichen der unternehmerischen Tätigkeit zum Gegenstand der Betrachtung erklärt.[2] Die von REINHART vorgeschlagene *Reaktionsfähigkeit* für Unternehmen kann in einer ähnlichen Weise verstanden werden.[3]

Übereinstimmend gilt für die Wandlungsfähigkeit und die Agilität, dass augenscheinlich bewusst ein ganzer Komplex betrieblicher und unternehmerischer Problemstellungen in den Untersuchungsbereich einbezogen wird. Er umfasst neben sich rasch verändernden Kundenwünschen auch die mögliche Verschärfung von Wettbewerbsbedingungen oder die wachsende Komplexität der Wertschöpfung aufgrund zunehmend fragmentierter Lieferketten. Dieser als zusammenhängend dargestellte Sachverhalt wird in der Literatur verschiedentlich auch als *Turbulenz des Handlungsumfeldes* bezeichnet[4]. Die mit den Begriffen verknüpften Gestaltungsansätze befassen sich überwiegend mit der Identifizierung und Beschreibung von Freiheitsgraden zur reaktiven oder aktiven Veränderung von Objekten, Prozessen und Strukturen in Betrieben bzw. in Produktionsnetzwerken. So beschreibt zum Beispiel HERNÁNDEZ die Wandlungsfähigkeit als Systemeigenschaft hierarchisch strukturierter Fabrikebenen mit dem Ziel, diese zu systematisieren und damit einer Berücksichtigung in der Fabrikplanung zugänglich zu machen. Dabei wird die Ebene einer Arbeitsstation (vgl. Maschinen-Ebene) als unterstes Subsystem und das globale Umfeld der Fabrik als oberste Hierarchieebene betrachtet. Die geordnete Identifizierung von möglichen Veränderungsmechanismen erfolgt schliesslich durch die Verknüpfung von *Wandlungsobjekten* (z.B. Betriebsmittel oder Produktionslayout) auf allen Hierarchieebenen der Fabrik mit sechs prinzipiellen *Wandlungsbefähigern*. Letztere leitet der Autor aus drei Eigenschaften von Produktionssystemen ab, die er selbst als wandlungsfördernd bezeichnet: Dynamik, Komplexität, Vernetztheit (vgl. Abbildung 2.4.).[5]

---

[1] Siehe hierzu Westkämper E. et al., Ansätze zur Wandlungsfähigkeit, 2000; Wiendahl H.-P., Wandlungsfähigkeit, 2002.

[2] Siehe dazu u.a. Goldman S.L. et al., Agil im Wettbewerb, 1996.

[3] Vgl. Reinhart G., Reaktionsfähigkeit, 1999.

[4] Vgl. Warnecke H.-J., Fraktale Fabrik, 1996, Seite 18 ff. und Westkämper E., Produktion in Netzwerken, 1997.

[5] Vgl. Hernández Morales R., Systematik der W., 2003, S. 53 ff.

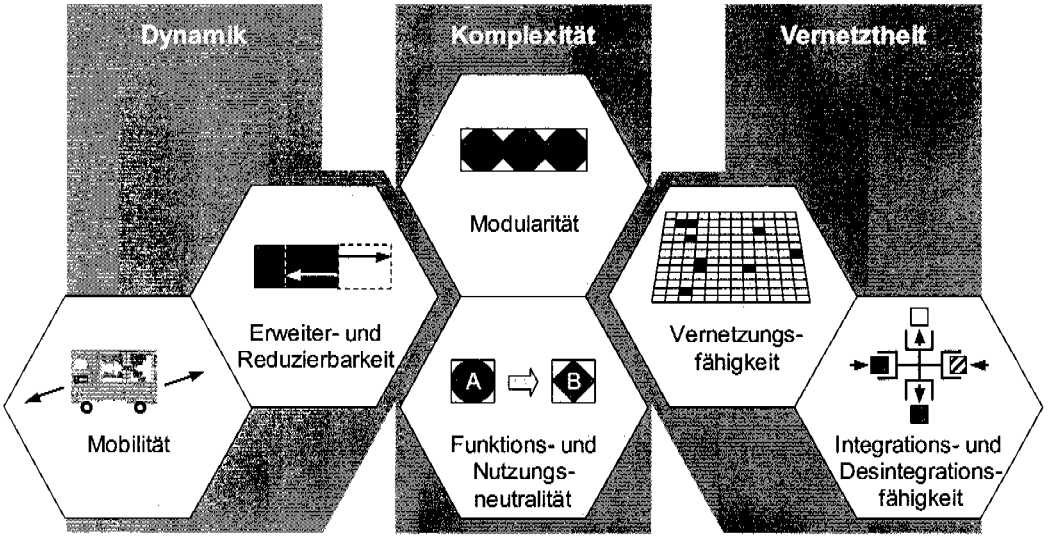


Abb. 2.4: Wandlungsbefähiger in der Fabrik nach HERNÁNDEZ als Beispiel für die systematische Bestimmung von Freiheitsgraden zur reaktiven oder aktiven Veränderung betrieblicher Systeme
(Quelle: Hernández Morales R., Systematik der W., 2003, S. 54)

Eine Konsequenz der bewusst vermiedenen Fokussierung auf präzise abgegrenzte Problembereiche bei den ressourcenorientierten Flexibilitätsbegriffen ist jedoch, dass die wissenschaftlichen Arbeiten, die sich mit Möglichkeiten zur Planung und Realisierung beschäftigen, in der Regel nicht über Richtlinien, Handlungsempfehlungen oder Best Practices hinausgehen. Dies gilt in besonderem Masse für Beiträge zu den komplexen Themenbezügen der Wandlungsfähigkeit und Agilität, welche zudem häufig durch einen relativ hohen Abstraktionsgrad geprägt sind. Hinzu kommt im Rahmen von Fabrik- und Produktionsplanungsprozessen die Notwendigkeit, die Fähigkeit zur aktiven Veränderung oder reaktiven Anpassung nicht nur zu konzipieren, sondern auch ihren möglichen betriebswirtschaftlichen Nutzen aufzeigen zu können. Dies erfordert in der Regel ein handhabbares, quantitatives Beschreibungsmodell, um Anforderungen an ein Produktionssystem und dessen mögliche Veränderungsleistungen vergleichbar zu machen. Dies ist jedoch zumeist nicht Bestandteil der oben in knapper Form erläuterten ressourcenorientierten Flexibilitätsbegriffe. Im Fall von Wandlungsfähigkeit und Agilität steht dieser Wunsch nach einem greifbaren Nachweis wirtschaftlicher Vorteile dem Begriffsverständnis, das vor allem auf den Umgang mit ungeplanten, nicht vorhersehbaren Ereignissen fokussiert ist, möglicherweise sogar entgegen. Gewiss wirken die genannten Umstände in erheblichem Masse erschwerend auf die tatsächliche Realisierung der Ansätze in der Praxis. Dennoch soll dadurch die wichtige Bedeutung der insbesondere mit dem Begriff der Wandlungsfähigkeit verbundenen Sichtweise auf die langfristige, strategische Entwicklung von Produktionssystemen in technischer sowie organisatorischer Hinsicht keinesfalls eingeschränkt werden.

Zweckorientierte Flexibilitätsbegriffe

Der oben beschriebenen Fokussierung auf Freiheitsgrade zur Veränderung von Produktionssystemen steht die Betrachtung von betrieblichen Problemstellungen und Unsicherheiten bei der Definition von Flexibilitätsbegriffen gegenüber. Dieser, hier in pragmatischer Weise als zweckorientiert bezeichneten Begriffsgruppe können zahlreiche, vor allem in der englischsprachigen Literatur in den 80er und 90er Jahren intensiv diskutierten Flexibilitätstypen

zugeordnet werden. Insbesondere GERWIN schlägt in verschiedenen Beiträgen vor, aus der Identifizierung konkreter Unsicherheiten eine Unterscheidung relevanter Dimensionen bzw. Arten produktionswirtschaftlicher Flexibilität abzuleiten. Im Gegensatz zu den ressourcenorientierten Begriffen erfolgt bei den zweckorientierten Begriffen jedoch keine exakte Spezifikation, welche Teile eines Produktionssystems sich in einer bestimmten Weise verändern sollen oder können.[1] Die unten folgende Tabelle 2.2 enthält eine Auswahl entsprechender Terminologien mit jeweils kurzen Erläuterungen, die unter Zuhilfenahme verschiedener Literaturquellen zusammengestellt wurde.

Eine darauf aufbauende, regelmässig zitierte Systematisierung von Flexibilitätstypen entwerfen NARAIN ET AL. mit ihrem Vorschlag zur Unterscheidung der drei Kategorien *Notwendige*, *Ausreichende* und *Kompetitive* Flexibilität. Auch hier bilden zunächst verschiedene, in der Praxis beobachtete Problemstellungen den Ausgangspunkt, zu denen beispielsweise unsichere Kundenanforderungen im Sinne schwankender Bedarfe oder kürzer werdende Lieferfristen, aber auch die Realisierbarkeit eines breiten Produkt-Mix gehören. Durch eine zeitlich-hierarchische Gruppierung der identifizierten Problemsachverhalte in operative, taktische sowie strategische Klassen erfolgt schliesslich die Zuordnung zu den oben genannten Begriffskategorien. Demnach klassifizieren die Autoren die Beherrschung kurzfristig-operativer Unsicherheiten als Notwendige Flexibilität, während zur Bewältigung mittel- und langfristiger Veränderungen durch die Ausreichende bzw. Kompetitive Flexibilität erfolgen soll. Die einzelnen, spezielle Problemfelder adressierende Flexibilitätstypen können somit ebenfalls zeitlich-hierarchisch eingeordnet werden. Problematisch erscheint allerdings die von NARAIN ET AL. vorgenommene Zuordnung der Problemstellungen. Diese wirkt teilweise willkürlich gewählt und muss zudem aus heutiger Sicht als unvollständig angesehen werden, so dass dieser Ansatz hier nicht weitergehend diskutiert werden soll.[2]

Dessen ungeachtet bietet die zweckorientierte Sichtweise auf den hier behandelten Themenkomplex mindestens einen grundsätzlichen Vorteil. Zunächst ermöglicht die Fokussierung auf bestimmte, klar beschreibbare Problemstellungen in der Produktion und in deren Umfeld die eindeutige Zuordnung von möglichen Anforderungen, z.B. kurzfristige Bedarfsschwankungen, zu verfügbaren oder bereitzustellenden Lösungsansätzen, z.B. flexible Arbeitszeitmodelle. Dadurch wird nicht eine unter Umständen benötigte Leistung des betrieblichen Systems, sondern die eigentlich zu lösende Aufgabe in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt. Mittels quantitativer Beschreibungsansätze für Anforderungen auf der einen und bestimmte Ausprägungen von Flexibilität als Leistung des Produktionssystems auf der anderen Seite lassen sich zudem Vergleichs- und Bewertungsmöglichkeiten schaffen. Gelingt dies in einer sinnvoll handhabbaren Weise, wird das ohne Zweifel komplexe Sachgebiet der produktionswirtschaftlichen Flexibilität schliesslich für spezifische Planungsaufgaben zugänglich.

---

[1] Siehe u.a. Gerwin D., Research on flexibility, 1987 und Gerwin D., Strategic perspective, 1993.

[2] Siehe dazu Narain R. et al., Strategic implications of flexibility, 2000.

Bezeichnung	Erläuterung / Definition
Volumen-Flexibilität	Beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, unterschiedlich grosse Produktionsmengen (aggregiert über alle produzierten Produkte / Varianten) pro Zeiteinheit wirtschaftlich herstellen zu können.
Mix-Flexibilität	Charakterisiert die grundsätzliche Möglichkeit eines Systems, verschiedene Produkte / Produktvarianten gleichzeitig herzustellen. Entsprechend muss der zeitliche und finanzielle Aufwand zur Umrüstung relativ begrenzt sein. Die Mix-Flexibilität eines Systems ist damit um so grösser, je besser es gelingt, die Zusammensetzung des Produkt-Mix an einen bestehenden Bedarf anzupassen, ohne gleichzeitig Einbussen beim Gesamtausstoss hinnehmen zu müssen.
Produkt-Wechsel- bzw. Nachfolger-Flexibilität	Besteht dann, wenn ein Produktionssystem in der Lage ist, mit relativ begrenzten finanziellen Mitteln sowie in angemessenen Zeiträumen neue Produkte in das bestehende Produktionsprogramm aufnehmen bzw. den Wechsel zwischen Produktgenerationen realisieren zu können.
Liefertermin-Flexibilität	Steht im Zusammenhang mit der Anforderung, eine (i.d.R. vertraglich) für einen bestimmten Zeitraum vereinbarte Produktmenge innerhalb kurzer Fristen liefern zu können. Dies umfasst auch die Möglichkeit, Liefertermine in möglichst weiten Grenzen ändern zu können.
Durchlauf-Flexibilität	Bezeichnet die Fähigkeit, Produkte mit Hilfe verschiedener Maschinen oder Bearbeitungsschritte, also auf alternativen Wegen durch einen Betrieb oder ein Produktionsnetzwerk, herstellen zu können. Diese, in der englischsprachigen Literatur als *Rerouting flexibility* bekannte Systemeigenschaft ist insbesondere bei Störungen (z.B. Maschinenausfall) von Bedeutung.
Material-Flexibilität	Bezieht sich auf die gegebenenfalls bestehende Notwendigkeit, verschiedene Werkstoffe oder Eingangsprodukte mit uneinheitlicher Qualität sicher verarbeiten zu können.

Tab. 2.2: Flexibilitätstypen bezogen auf Unsicherheiten und Problemstellungen (zweckorientiert)[1]

[1] Vgl. dazu die ähnlichen Erläuterungen zu den englischsprachigen Begriffen *Volume*, *Mix*, *Product / Changeover*, *Delivery time*, *Rerouting* und *Material flexibility* beispielsweise in Gerwin, D., Research on flexibility, 1987; Sethi A.K. / Sethi S.P., Survey, 1990 und Suarez F.F. / Cusumano M.A. / Fine C.H., Study of flexibility, 1995.

Abschliessend soll an dieser Stelle noch auf ein weiteres flexibilitätsbezogenes Begriffsverständnis hingewiesen werden, das erst seit relativ kurzer Zeit in Verbindung mit der wachsenden Bedeutung einer effektiven Zusammenarbeit in Produktions- und Logistiknetzwerken zum Betrachtungsgegenstand geworden ist.

Flexibilität als Kompetenz in der Zusammenarbeit in Produktions- und Logistik-Netzwerken

Angesichts der deutlich verschärften Wettbewerbsbedingungen haben zahlreiche Unternehmen bereits vor einigen Jahren damit begonnen, die eigene Wertschöpfungstiefe schrittweise zu reduzieren. Dieser Trend ist bis heute ungebrochen. Mit wachsender Konsequenz vergeben inzwischen nicht nur grosse, sondern auch mittelständische Unternehmen Wertschöpfungsanteile, die nicht zu den eigenen Kernaktivitäten gehören, an externe Lieferanten und Dienstleister. Eine Konsequenz dieser zunehmenden Fragmentierung der Wertschöpfungskette ist die enge Verflechtung von Lieferanten, Produzenten und Kunden in Netzwerken von immer grösserer Komplexität. Eine ganze Reihe aktueller wissenschaftlicher Arbeiten widmet sich dieser Thematik.

Darüber hinaus gibt es noch verschiedene weitere Motive für die Knüpfung unternehmerischer Partnerschaften, beispielsweise zur gemeinsamen Produktentwicklung, zur Abwicklung logistischer oder administrativer Dienstleistungen oder auch zur Eröffnung eines Marktzuganges. Die Herausforderung, die es dabei zu bewältigen gilt, liegt einerseits in der Anforderung, in einer hinreichend engen, vertrauensvollen Art und Weise mit den verschiedenen Partnern zusammenzuarbeiten, gleichzeitig aber auch der Dynamik der Markt- und Umfeldentwicklung Rechnung zu tragen. Dies bedeutet, dass es beim Management von Produktions- und Logistiknetzwerken eine wesentliche Aufgabenstellung ist, diese in angemessenen Zeitspannen entsprechend den bestehenden Marktbedarfen strukturell anzupassen. Dies bedeutet nichts anderes als die Möglichkeit, ungeachtet einer möglicherweise bestehenden Komplexität im Netzwerkaufbau oder bei der Abwicklung unternehmensübergreifender Prozesse, neue Partner bei Bedarf integrieren bzw. ein zu grosses, ineffizientes Netzwerk restrukturieren zu können.[1]

Diese Umstände müssen dabei aber keineswegs als Nachteil verstanden werden. Gelingt es einem Unternehmen sich besser als seine Wettbewerber auf die Anforderungen zur Zusammenarbeit in Lieferketten einzustellen, können wesentliche Wettbewerbsvorteile erzielt werden. Diese Fähigkeit darf auch als eine *soziale Kompetenz* von Unternehmen aufgefasst werden, sich *flexibel* als attraktiver Partner in Produktions- und Logistiknetzwerke einbringen zu können.[2] Dass der hier betonte unternehmenskulturelle Aspekt durchaus eine reale Bedeutung hat, zeigt sich derzeit eindrücklich im Zusammenhang mit den Schwierigkeiten, vor denen westliche Unternehmer zum Teil beim Betreten des asiatischen Produktions- und Absatzraums stehen. Ein weiteres Beispiel für das in diesem Abschnitt beschriebene Begriffsverständnis ist das Konzept der *Virtuellen Fabrik*. Zur Realisierung des dem Ansatz zugrunde liegenden temporären Zusammenschlusses unabhängiger Unternehmen ist zweifellos ein hohes Mass an organisatorischer Flexibilität bei den beteiligten Partnern notwendig.[3]

---

[1] Vgl. dazu Hieber R., Supply Chain Management, 2002, Seite 98.

[2] Siehe Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, Seite 76 f.

[3] Siehe Schuh G. / Millarg K. / Göranson Å., Virtuelle Fabrik, 1998, Seite 80 ff.

Eine weitergehende Behandlung des eben dargelegten Begriffsbezuges zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität soll hier aber nicht erfolgen, da dieser im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht unmittelbar im Zentrum der Untersuchung steht. Vielmehr hat die Diskussion in diesem Kapitel gezeigt, dass „Flexibilität ein komplexes, multidimensionales und schwer zu durchschauendes Konzept" ist.[1] Entsprechend lässt sich eine direkte Frage nach dem Wesen der Flexibilität auch durch eine Beschränkung auf den betrieblichen Kontext, wie oben dargestellt, nicht einfach beantworten. Aussichtsreicher erscheint dies dagegen bei der Frage, wozu Flexibilität eigentlich benötigt wird. Dies soll deshalb Gegenstand des nun folgenden Kapitels sein.

2.2 Flexibilität als Mittel zur Beherrschung von Unsicherheiten in der industriellen Praxis

Das wirtschaftliche Umfeld wird derzeit von zahlreichen Unsicherheiten bestimmt, die nach Auffassung verschiedener Beobachter seit einigen Jahren sogar einer schnell zunehmenden Veränderungsdynamik unterworfen sind.[2] Der in diesem Zusammenhang häufig verwendete und bereits oben erwähnte Begriff des „turbulenten Handlungsumfeldes" bezeichnet dabei den Umstand, dass sich mehrere, in der Regel äussere Einflussfaktoren zeitgleich verändern können. Es erscheint gerade deshalb notwendig, die Komplexität der Gesamtproblematik durch eine differenzierende Betrachtungsweise zu reduzieren. Die daraus resultierende Möglichkeit zur Fokussierung ist Voraussetzung, um geeignete Strategien zur Beherrschung im Einzelfall relevanter spezifischer Unsicherheiten gezielt entwickeln und einsetzen zu können.

In den nächsten Abschnitten wird deshalb, ausgehend von aktuellen betriebswirtschaftlichen Herausforderungen für produzierende Unternehmen, zunächst eine grobe Systematisierung bestehender Unsicherheiten in der Produktion vorgenommen. Darauf aufbauend erfolgt schliesslich die für diese Arbeit gültige Abgrenzung des Betrachtungsbereiches sowie dessen weitergehende Untersuchung.

2.2.1 Herausforderungen und Trends in Produktion und Logistik

Kein anderer Sachverhalt bestimmt im Moment die Diskussion in Industrieunternehmen und in der Management-Literatur mehr als der Begriff der *Globalisierung*. Neben den damit verknüpften Chancen, beispielsweise dem freien interkontinentalen Güter- und Kapitalverkehr, sind es vor allem Ängste vor völlig neuen Wettbewerbssituationen, welche die Gesellschaften in den traditionellen Industrieländern verunsichern. Ob dies berechtigt ist, wird sich möglicherweise schon in der näheren Zukunft zeigen. Überraschend ist diese Entwicklung jedoch keineswegs. Bereits in den 80er Jahren haben verschiedene Autoren der Wirtschaftsforschung, darunter PORTER, auf einige wesentliche Trends hingewiesen, mit denen sich

---

[1] Sethi A.K. / Sethi S.P., Survey, 1990: "... flexibility is a complex, multidimensional, and hard to capture concept."

[2] Stellvertretend für zahlreiche andere: Wiendahl H.-P., Wandlungsfähigkeit, 2002; Westkämper E., Produktion in Netzwerken, 1997.

Industrieunternehmen und mit ihnen die Wirtschaftsstandorte in Nordamerika, Japan und Westeuropa heute auseinander setzen müssen.[1]

Dabei haben die Veränderungen, die zu einem wesentlichen Teil auf der Auflösung der strikten Trennung der politischen Systeme und dem Wegfall von Handelshemmnissen beruhen, höchst unterschiedliche Auswirkungen auf die Struktur und die Aktivitäten von Unternehmen bzw. Lieferketten. Risiken und Chancen sind gleichermassen erkennbar, so dass die pauschale Komprimierung zu einem Begriff ‚Globalisierung' unter Umständen zu Ungenauigkeiten führt. Zudem überlagern sich die Auswirkungen mit bereits bestehenden Veränderungsprozessen in der Produktionswirtschaft, was mit Hilfe der unten stehenden Abbildung 2.5 sowie in den nachfolgenden Abschnitten grob zusammengefasst werden soll.

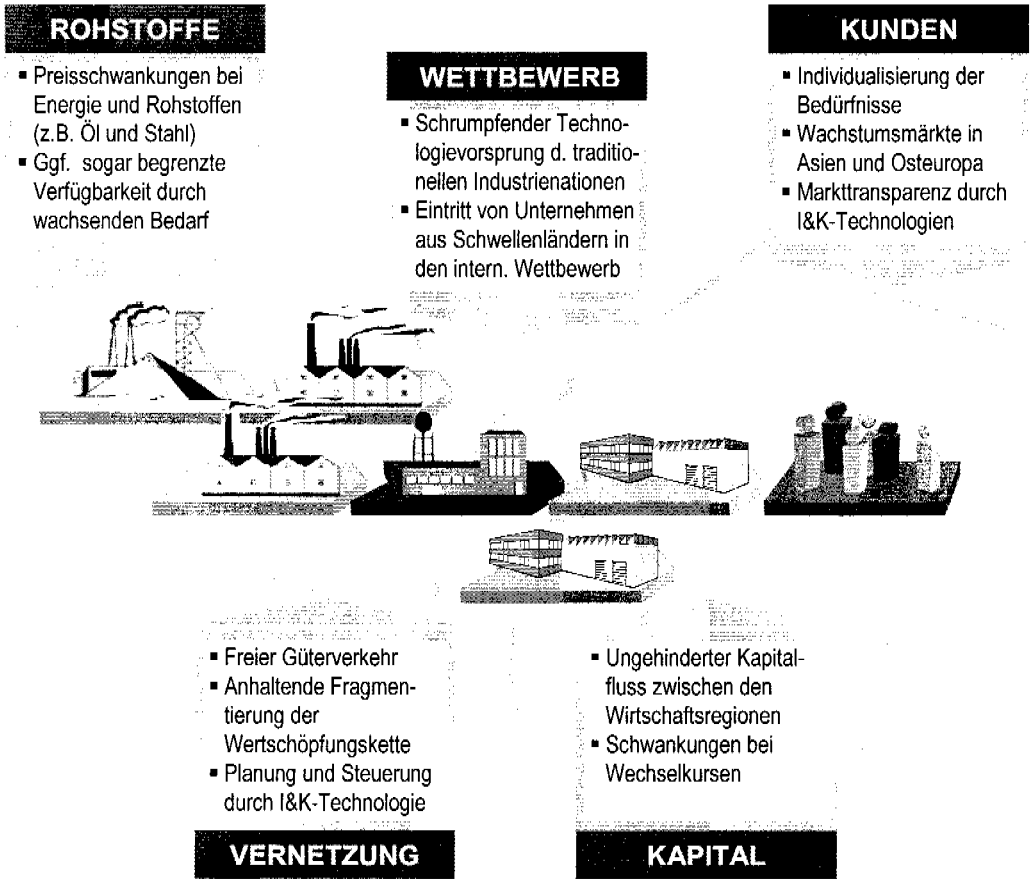


Abb. 2.5: Aktuelle Herausforderungen und Trends für produzierende Unternehmen im internationalen Wettbewerb

Kundenwünsche: wachsende Anforderungen, sinkende Loyalität

Die seit langem geltenden Wettbewerbsmassstäbe Qualität und Preis der Produkte besitzen nach wie vor eine elementare Bedeutung. Während sie jedoch in der Vergangenheit wesentlicher Gegenstand der Auseinandersetzung zwischen konkurrierenden Unternehmen beim Ringen um Kunden und Marktanteile waren, werden diese traditionellen Wettbewerbsargumente heute in wachsendem Masse zur Grundvoraussetzung, um am Markt überhaupt akzeptiert zu werden. Signifikante Wettbewerbsvorteile lassen sich durch sie häufig nicht

[1] Vgl. dazu u.a. Porter M.E., Competition, 1986, S. 2 ff.

mehr erzielen. Stattdessen hat sich inzwischen der Faktor Zeit als wichtige zusätzliche Einflussgrösse fest etabliert. Deutlich wird dies beispielsweise an den kontinuierlich wachsenden Erwartungen der Kunden an immer kürzere Lieferfristen und der Möglichkeit zu kurzfristigen Änderungen individueller Produktspezifikationen bei gleichzeitig maximaler Liefertreue. Der Zeitwettbewerb äussert sich darüber hinaus auch in einer fortschreitenden Verkürzung von Innovationszyklen. Durch die Verkürzung der Zeitspannen für die Entwicklung und Einführung von neuen Produkten, mit innovativen oder zusätzlichen Merkmalen sollen Wettbewerbsvorsprünge errungen oder wenigstens verteidigt werden.[1]

Damit verknüpft, gehen die Anteile des Endkundenbedarfes, die mit Massenprodukten bedient werden können, immer weiter zurück. Was im Bereich der Investitionsgüterindustrie durch die Ausrichtung auf spezifische Kundenanforderungen durch massgeschneiderte Produktangebote längst zum Standard geworden ist, setzt sich zunehmend in weiten Teilen der Endkundenmärkte durch. Zahlreiche Unternehmen haben bereits erkannt, dass die Bereitstellung ergänzender Mehrwertdienstleistungen auch hier eine durchaus massgebliche Rolle bei der Kaufentscheidung der Endkunden spielen kann. Diese klar zu beobachtende Individualisierung der Kundebedarfe, begleitet von zum Teil sprunghaften Veränderungen bei Kundenwünschen und Absatzzahlen, führt zu erheblichen Unsicherheiten in den Betrieben.[2]

Den gestiegenen Anforderungen an produzierende Unternehmen steht auf der anderen Seite eine tendenziell abnehmende Loyalität der Kunden gegenüber. Die inzwischen nahezu globale Verfügbarkeit leistungsfähiger Informationsmedien – insbesondere des Internets – verschafft einem potenziellen Käufer von standardisierten Produkten und Dienstleistungen schnell und kostengünstig einen umfassenden Überblick zu vergleichbaren Angeboten. Erfolgt schliesslich der Erwerb von Waren selbst ebenfalls ohne den direkten Kontakt von Verkäufer und Kunde, etwa bei der Abwicklung von Transaktionen über elektronische Einkaufsplattformen oder Auktionen, verschwindet der Aspekt einer möglichen Kundenbindung nahezu vollständig.

Intensiver internationaler Wettbewerb

Die seit Beginn der 90er Jahre schrittweise vollzogenen Öffnung der grossen Volkswirtschaften in Asien und Osteuropa bot zahlreichen Unternehmen aus den westlichen Industrienationen zunächst die Gelegenheit, neue Absatzmärkte und günstige Produktionsstandorte zu erschliessen. Durch die derzeit stattfindende langfristige Angleichung der infrastrukturellen Rahmenbedingungen für Produktion und Vertrieb von Gütern in den Schwellenländern an das Niveau der entwickelten Industriestaaten droht den etablierten Wirtschaftsstandorten nicht nur die Abwanderung ganzer Industriezweige. Vielmehr wächst in diesen aufstrebenden Wirtschaftsregionen eine heimische Industrie heran, die zunehmend auch in Europa und Nordamerika als ausserordentlich leistungsfähige Wettbewerber auftreten. Jüngstes Beispiel hierfür ist die Übernahme der Personal-Computer-Sparte des traditionsreichen US-amerikanischen Computerherstellers IBM durch den chinesischen Anbieter Lenovo. Verschärft wird diese Entwicklung auch durch das immer schnellere Schrumpfen des technologischen Wettbewerbsvorsprunges der entwickelten Industrieländer. Viele Unternehmen haben im

---

[1] Vgl. stellvertretend für andere Kuhn A. / Hellingrath B., Supply Chain Management, 2002, S. 2 oder Christopher M., Agile Supply Chain, 2000.

[2] Siehe dazu u.a. Baumgarten H. / Thoms J., Trends und Strategien, 2002, S. 8 oder auch und Wiendahl H.-P., Wandlungsfähigkeit, 2002.

Rahmen von Aktivitäten zur Produktionsverlagerung dazu mehr oder weniger absichtsvoll beigetragen.[1]

Globales Wirtschaftswachstum führt zu Volatilität bei Preisen für Energie und Rohstoffen

Das anhaltend hohe Wachstum vor allem der chinesischen Volkswirtschaft sowie die Konjunkturerholung in den übrigen Wirtschaftsgebieten hat in der jüngsten Vergangenheit zu einer erheblichen Verknappung des Angebots und damit zu extremen Steigerungen der Preise für Rohstoffe und Energie geführt. Beispielhaft dafür ist der Höhenflug des Ölpreises seit Beginn des Jahres 2001 (siehe Abbildung 2.6).

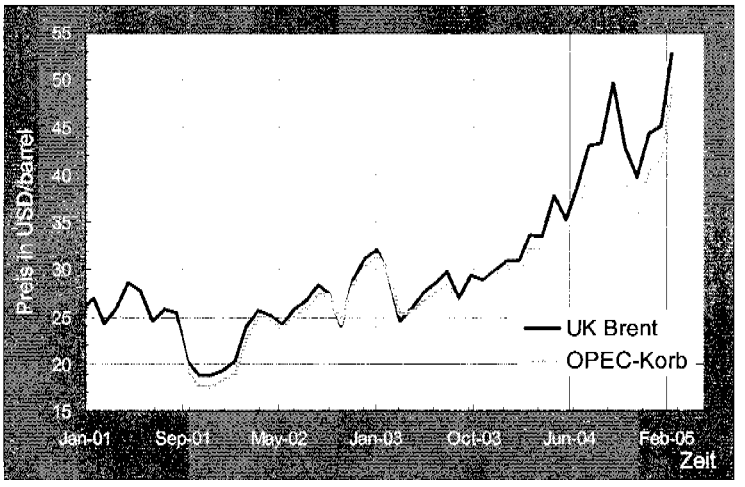


Abb. 2.6: Entwicklung der Rohölpreise von Januar 2001 bis Februar 2005
(Quelle: Deutscher Mineralölwirtschaftsverband)

Ein ähnliches Bild bietet sich bei den Preisen für Stahlprodukte (z.B. Warm- und Kaltbandstahl). Hier haben sich die Weltmarktpreise seit Anfang 2002 etwa verdoppelt. Zumindest mittelfristig ist mit einer Fortsetzung dieses Trends zu rechnen. Als weltweit mit Abstand grösster Stahlproduzent spielt China auch hier eine Schlüsselrolle.[2] Die Auswirkungen auf die globale Konjunktur im Falle eines fortlaufenden Anstieges der Rohstoffkosten ist schwer einschätzbar. Für zahlreiche Unternehmen wird dadurch die mittel- und langfristige Produktions- und Investitionsplanung erheblich erschwert.

Globaler Kapitalmarkt

Die in der Vergangenheit eher abgeschotteten nationalen Kapitalmärkte haben sich bereits in der Vergangenheit zu einem einzigen globalen Handelsplatz verbunden. Grosse Kapitalmengen können innerhalb relativ kurzer Zeiträume problemlos zwischen Ländern und Wirtschaftsregionen fliessen. Die schnelle Entwicklung leistungsfähiger Informationssysteme in der jüngeren Vergangenheit und ihre weltweite Zugänglichkeit haben hier einen entscheidenden Beitrag geleistet. Geschwindigkeit und Kosten zur Übertragung von Informationen bzw. zur Ausführung von Transaktionen sind um Grössenordnungen gesunken. Die Vergabe von finanziellen Mitteln liegt somit im Ermessensspielraum international agierender Kapitalgeber mit hohen Erwartungen an die Verzinsung des eingesetzten Vermögens. In der Regel handelt es sich dabei um institutionelle Investoren, zum Beispiel angelsächsische Pensions-

[1] Vgl. Porter M.E., Competition, 1986, S. 2 sowie Speck K. / Kisseloff I., Trends und Challenges, 2005.

[2] Quelle: Informationsbroschüre der IKB Deutsche Industriebank AG: „Mittelfristige Entwicklungsperspektiven für Stahl-, Schrott- und NE-Metallpreise", November 2004 (www.ikb.de).

fonds, asiatische Investmenthäuser oder europäische Versicherungsunternehmen, die über erhebliche Finanzvolumina verfügen.[1]

Neben den sich unter Umständen rasch ändernden Bewertung von Unternehmen auf den Aktienmärkten unterliegen besonders auch die nationalen wirtschaftspolitischen Entscheidungen einer indirekten Kontrolle durch den internationalen Finanzmarkt. So können beispielsweise Veränderungen von Zins- und Steuerniveaus etc. den Zufluss von internationalen Kapitalströmen verstärken oder unterbrechen mit der Folge, dass Währungskurse steigen oder fallen.

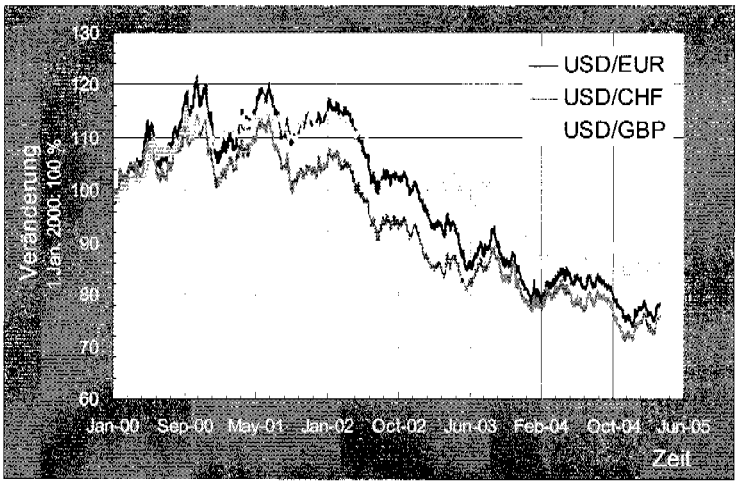


Abb. 2.7: Kursentwicklung des US-Dollar im Vergleich zu den wichtigsten europäischen Währungen (Quelle: www.oanda.com)

Auch das Ungleichgewicht einer nationalen Zahlungsbilanz[2] kann die Bewertung einer Währung stark beeinflussen. Ein Beispiel dafür ist die anhaltende Schwäche des Dollars insbesondere gegenüber den europäischen Währungen (siehe Abbildung 2.7). Die aktuelle Konsequenz für exportorientierte Unternehmen, die in Europa produzieren und beschaffen, ist eine erheblich geschwächte Wettbewerbsfähigkeit.

Voranschreitende Vernetzung von Unternehmen in Produktion und Dienstleistung

Die wachsende Komplexität von Produkten und Fertigungstechnologien sowie immer kürzer werdenden Produkt-Innovationszyklen führten bereits in den 80er und 90er Jahren zu einer verstärkten Spezialisierung von Unternehmen bzw. Unternehmensbereichen. Im Verlauf dieses Prozesses, der wie schon erwähnt von einer Zunahme des Wettbewerbsdruckes begleitet wurde, begannen Unternehmen, sich auf strategisch ausgewählte Tätigkeitsbereiche – ihre Kernkompetenzen – zu fokussieren und nicht hinzugehörende Aktivitäten an zuliefernde oder Service leistende Unternehmen auszulagern. Dieser Trend ist bis heute ungebrochen.

Die Folge sind zunehmend fragmentierte Wertschöpfungsketten, deren regionale Ausdehnung und Verzweigung durch den Zugang zu weltweit verteilten Beschaffungsmärkten und Produktionsstandorten oftmals erheblich sind. Eine intensive unternehmerische Zusammenarbeit in den Bereichen Produktentwicklung, Produktion und Service muss mit einer immer grösseren

---

[1] Siehe dazu ausführlich Koch E., Internationale Wirtschaftsbeziehungen, 1998, S. 32 ff. und S. 99.

[2] Die Zahlungsbilanz ist eine statistische Aufzeichnung der wirtschaftlichen Transaktionen zwischen In- und Ausländern eines Landes oder einer Wirtschaftsregion in einer Periode. Üblicherweise sind dies Monate oder Quartale. Entsprechende Daten werden in der Regel von Nationalbanken erfasst und veröffentlicht. (siehe Gabler Wirtschaftslexikon, Band V-Z, 15. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 2000, Seite 3569 f.)

Anzahl von Partnern in kürzer werdenden Zeiträumen realisiert werden. Geringe Transaktionskosten sowie die Nutzung leistungsfähiger Informations- und Kommunikationstechnologien für die unternehmensübergreifende Planung und Steuerung sind heute wesentliche Grundpfeiler und gleichzeitig Voraussetzung für die erfolgreiche Zusammenarbeit von Unternehmen in globalen Lieferketten.[1]

Die hier kurz erläuterte Übersicht zu aktuellen Entwicklungsrichtungen im Umfeld produzierender Unternehmen lässt sich ohne Zweifel noch um den einen oder anderen Aspekt erweitern. Relevant für den effizienten Einsatz von Flexibilität in der Produktion und damit für die vorliegende Arbeit ist jedoch, wie sich diese eher grundsätzlichen Trends konkret im Sinne zu bewältigender Risiken und Unsicherheiten auf die Planung und Steuerung in der Produktion auswirken.

2.2.2 Systematisierung von Risiken und Unsicherheiten in der Produktion und Abgrenzung des Betrachtungsfeldes für die vorliegende Arbeit

Um eine weitergehende Diskussion von Risiken und Unsicherheiten im Produktionsumfeld sowie eine Fokussierung auf ausgewählte Bereiche sinnvoll durchführen zu können, ist es zunächst notwendig, diese geeignet zu systematisieren. Ein sehr nützlicher Ansatz dazu stammt aus dem Bereich des Risikomanagements für Lieferketten. Dabei wird eine Perspektive eingenommen, die ein betrachtetes Produktionssystem nicht isoliert, sondern als Teil einer Supply Chain ansieht. Aus diesem Grund werden die *Top-Level-Prozesse* des *Supply Chain Operations Model (SCOR)*[2] als Grundlage für die Identifizierung von Kategorien der Unsicherheit verwendet (siehe dazu Abbildung 2.8). Danach können grundsätzlich *Bedarfs-*, *Versorgungs-*, *Planungs- und Steuerungs-* sowie *Produktionsrisiken* unterschieden werden, vervollständigt durch die Berücksichtigung verschiedener *Umfeldrisiken*.[3]

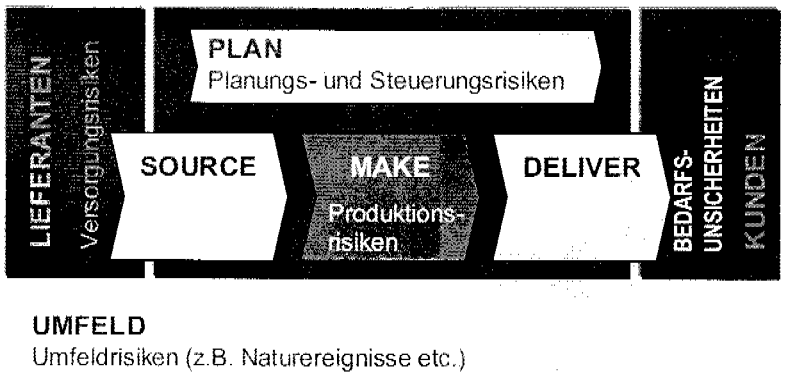


Abb. 2.8: Systematisierung von Quellen der Unsicherheit und Risiko in der Produktion (In Anlehnung an Ziegenbein A. et al., Robust planning, 2003.)

---

[1] Vgl. dazu Hieber R., Supply Chain Management, 2002, S. 8 ff., Baumgarten H. / Darkow I.-L., Konzepte im SCM, 2002, S 93 f. und Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 83 ff.

[2] Siehe Supply Chain Council, SCOR-Model, 2003.

[3] Siehe Ziegenbein A. et al., Robust planning, 2003.

Erläuterung der Kategorien von Risiko und Unsicherheit

Unter Planungs- und Steuerungsrisiken können solche Schwierigkeiten verstanden werden, die im Zusammenhang mit einer fehlerhaften oder unzureichenden Verwendung von Instrumenten zur Planung und Steuerung von Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsaktivitäten stehen.[1] Im Hinblick auf die im vorigen Abschnitt erwähnte tendenziell zunehmende Komplexität von Wertschöpfungsnetzwerken ist der Einsatz moderner Informationssysteme zur Unterstützung von oftmals unternehmensübergreifenden Planungsprozessen unumgänglich geworden. Eine schnelle und kostengünstige Möglichkeit zum Informationsaustausch zwischen Kunden, Lieferanten und Dienstleistern verspricht Vorteile unter anderem bei Effizienz und Geschwindigkeit der Leistungserstellung. Gleichzeitig steigen die Aufwände für die Bereitstellung und Aufrechterhaltung der Softwaresysteme sowie die Anforderungen an die Anwender. Etwaige Fehler führen unter Umständen zum Gegenteil dessen, was ursprünglich von einer softwaregestützten Planung und Steuerung erwartet wird.[2]

Ebenso wie die Planungs- und Steuerungsrisiken gehören auch die Produktionsrisiken zur Gruppe der internen Unsicherheiten. Hierzu sind vor allem der Ausfall oder auch die Fehlfunktion von Produktionsmitteln sowie das ungeplante Fehlen von Personal zu zählen. Die Konsequenzen sind entsprechend ein reduzierter oder sogar unterbrochener Produktausstoss bzw. Qualitäts- oder Ausbeuteschwankungen.

Zu den externen Risiken gehören Versorgungs- und Bedarfsunsicherheiten sowie naturgemäss die Umfeldrisiken. Letztere sind aus der Sicht eines Unternehmens bzw. einer Lieferkette nicht nur unkontrollierbar, sondern in der Regel auch nicht vorherzusehen. Beispiele sind Naturkatastrophen, politische Instabilitäten oder Arbeitskämpfe. Aber auch die oben bereits erwähnten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, vor allem Steuer- und Zinsniveaus sowie Wechselkurse können zu dieser Kategorie gezählt werden.[3]

Versorgungsrisiken können auf drei verschiedene Arten entstehen – entweder durch die beschaffte Ware oder Dienstleistung selbst oder durch einen einzelnen Lieferanten bzw. durch den gesamten Beschaffungsmarkt.[4] Insbesondere bei zugelieferten Komponenten bzw. Modulen mit hoher Komplexität und gleichzeitig grosser Bedeutung für die Funktionalität und Zuverlässigkeit des Endproduktes ist von einem erhöhten Beschaffungsrisiko auszugehen. Ein kürzlich bekannt gewordenes Beispiel aus der Automobilindustrie, bei dem ein Zulieferer für Einspritzpumpen durch Qualitätsprobleme eine grosse Zahl bereits ausgelieferter Systeme zurückrufen musste und damit einen mehrtägigen Produktionsstillstand bei einigen deutschen Fahrzeugherstellern verursachte, zeigt, dass es sich hierbei keineswegs nur um theoretische Überlegungen handelt[5].

---

[1] Vgl. auch hier Ziegenbein A. et al., Robust planning, 2003.

[2] Siehe dazu u.a. Schönsleben, Logistikmanagement, 2004, S. 445 ff. sowie Kuhn A. / Hellingrath B., Supply Chain Management, 2002, S. 29 f.

[3] Weitergehende Ausführungen dazu u.a. in Pfohl H.-C., Risiken und Chancen, 2002, S. 13 f.

[4] Vgl. Zsidisin G.A., Supply Risk, 2003.

[5] Siehe dazu einen Bericht in der Stuttgarter Zeitung vom 29. Januar 2005, „Mercedes-Benz setzt Bosch unter Druck", Seite 15.

Mindestens ebenso bedeutend für bestehende Versorgungsrisiken sind in der Regel jedoch verspätete oder unvollständige Lieferungen und im extremen Fall sogar der Ausfall von Lieferanten. Der weiter voranschreitende Trend zur Bildung global verzweigter Produktions- und Logistiknetzwerke (vgl. Abschnitt 2.2.1) ist dabei grundsätzlich geeignet, Versorgungsrisiken zu verstärken. Hinzu kommen im Falle von Beschaffungsmärkten mit wenigen Lieferanten oder begrenzten Lieferkapazitäten generelle, unter Umständen dauerhafte Versorgungsprobleme, die durch lange Wiederbeschaffungszeiten, instabile Preise und Verfügbarkeitsengpässe gekennzeichnet sind. Die, wie oben erwähnt, gestiegenen Preise für Rohöl und Stahl dokumentieren diesen Sachverhalt eindrücklich.

Die Ungewissheit, welche Produkte bzw. Produktvarianten, in welchen Mengen zu welchem Zeitpunkt in der Zukunft nachgefragt werden und entsprechend herzustellen sind, charakterisiert im wesentlichen die Unsicherheit des Bedarfes. Für viele Unternehmen gehört diese letzte Risikokategorie zu den grössten Herausforderungen. Obwohl es in vielen Wirtschaftszweigen schwierig ist, eine tatsächliche Zunahme von Schwankungen der absoluten Nachfragemengen auf Endkundenebene zu belegen, wird vielfach von einer wachsenden Dynamik bei der Nachfrage berichtet. Zu den wichtigsten Ursachen hierfür dürften gleich mehrere der in Abschnitt 2.2.1 genannten Trends in der Produktion gehören. So führt der stark gewachsene Wettbewerb und immer individuellere Kundenwünsche plausibel zu einer erschwerten Vorhersehbarkeit der Bedarfsentwicklung aus der Sicht eines einzelnen Unternehmens. Hinzu kommt das Problem der möglichen Verstärkung von Bedarfsschwankungen entlang einer Lieferkette, was in der Literatur durch den Begriff des *Bullwhip-Effektes* beschrieben wird.[1] Es ist davon auszugehen, dass die Zunahme der Komplexität und die globale Verteilung von Lieferketten bzw. -netzwerken tendenziell zu einer Zunahme des Phänomens führt.

Abgrenzung des Betrachtungsbereiches: Beherrschung von Bedarfsunsicherheiten durch die Anpassung der Produktionskapazität

Neben einer Strukturierung von Risiken und Unsicherheiten im Produktionsbereich eignet sich die in Abbildung 2.8 dargestellte Systematik auch zur Abgrenzung von Betrachtungsbereichen. Wie bereits in der Einleitung angedeutet wurde, sollen im Rahmen dieser Arbeit ausschliesslich Bedarfsunsicherheiten berücksichtigt werden, die es durch den Einsatz flexibler bzw. genauer formuliert, durch *bedarfsgerecht anpassbare* Produktionskapazitäten zu beherrschen gilt. Im Sinne der in Kapitel 2.1 geführten Diskussion entspricht dies eindeutig einer problemorientierten Sichtweise auf die Thematik der produktionswirtschaftlichen Flexibilität. Damit soll allerdings *nicht* zum Ausdruck gebracht werden, dass von einer generellen Überlegenheit dieser Flexibilitätsauffassung auszugehen ist.

Die gewählte Einschränkung des Betrachtungsfeldes ist notwendig, um im weiteren Verlauf der Arbeit ein eindeutiges und präzises, quantitatives Beschreibungsmodell entwickeln und in Konzepte zur Planung und Analyse umsetzen zu können. Gleichzeitig wird die Signifikanz der gewählten Fokussierung durch einen erneuten Blick auf die in Abschnitt 2.2.1 genannten

---

[1] Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, Seite 97: „Der Bullwhip- oder Peitschenhieb-Effekt beschreibt ein extremes Schwanken der Bestände am Anfang einer Versorgungskette bei gleichzeitig kleiner oder keiner Änderung des Kundenbedarfs. Grosser Rückstand wechselt sich zudem mit grossem Überbestand ab."; Eine erste Beschreibung des Phänomens gelang Forrester J.W. (Industrial dynamics, 1958) bereits im Jahr 1958.

Einflüsse aus dem Produktionsumfeld sowie ihr Zusammenwirken eindeutig unterstrichen. Um im Wettbewerb erfolgreich zu sein, sind Produktionsbetriebe gezwungen, innerhalb immer kürzer werdender Lieferfristen auf unsichere, zunehmend diversifizierte Kundenbedarfe zu reagieren. Hohe Anforderungen an die zuverlässige Einhaltung von Lieferterminen schliessen eine *Flexibilität des Auftragsfälligkeitstermins*[1] oftmals aus. Die von vielen Unternehmen verfolgte Strategie, die eigene Wertschöpfungstiefe zu reduzieren und simultan Materialbestände abzubauen, führt ausserdem dazu, dass Produktionsaufträge unter Umständen nicht vorzeitig freigegeben werden können, da benötigte Zulieferteile möglicherweise noch nicht zur Verfügung stehen. Der Freiheitsgrad, bei der Produktionsplanung im Rahmen des Termin- und Kapazitätsmanagements Start- und Entermine für Produktionsaufträge zu verschieben, um so Kapazitätsengpässen auszuweichen, verringert sich zunehmend. WIENDAHL beschreibt diesen Sachverhalt durch einen Wandel der Zielsetzungen in der Fertigungssteuerung. Lag die Priorität in der Vergangenheit vor allem auf der Auslastung von Maschinen und Anlagen, so werden heute kurze Durchlaufzeiten (und damit auch kurze Lieferfristen), eine hohe Termintreue sowie auch geringe Bestände in den Vordergrund gestellt.[2]

Die Planung von Produktionsaufträgen muss demnach, wie in Abbildung 2.9 dargestellt, in zunehmendem Masse in die *unbegrenzte Kapazität* erfolgen. Dies bedeutet, dass die Einlastung von Aufträgen für eine betrachtete Produktionsressource ohne Berücksichtigung der Kapazität vorgenommen werden kann. Im Gegensatz dazu werden bei der Planung in die *begrenzte Kapazität* Auftragsfälligkeitstermine als in gewissen Grenzen disponierbar angesehen, da hier Kapazitätslimite nicht überschritten werden sollen.[3] Tatsächlich sind in der Realität Produktionskapazitäten niemals unbegrenzt verfügbar. Zudem sind grosse Überkapazitäten in der Regel unwirtschaftlich, so dass eine geeignete Anpassung der Kapazitäten im Anschluss an die Bedarfsermittlung nach Zeitperioden geplant und umgesetzt werden muss.

Dennoch führt die in dieser Arbeit gewählte Betrachtungsweise auch zu einer gewissen Vereinfachung der realen Problemstellungen in Produktionsbetrieben. So ist davon auszugehen, dass auch andere Arten der Unsicherheit für den tatsächlichen Bedarf an Produktionskapazität von Bedeutung sind. Beispiele dafür sind Qualitätsprobleme mit zugelieferten Bauteilen (Versorgungsunsicherheit) oder in der eigenen Fertigung (Produktionsunsicherheit). In beiden Fällen kann eine gegebenenfalls erforderliche Nachlieferung bzw. Nacharbeit von Produkten in der geforderten Qualität die verfügbaren Fertigungskapazitäten zusätzlich belasten.

---

[1] Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 168: „Die Flexibilität des Auftragsfälligkeitstermins gibt an, ob der (interne oder externe) Kunde flexibel ist in bezug auf den von ihm vorgegebenen Fälligkeitstermin der Lieferung."

[2] Siehe Wiendahl H.-P., Fertigungsregelung, 1997, S. 3 f.

[3] Vgl. dazu Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 251.

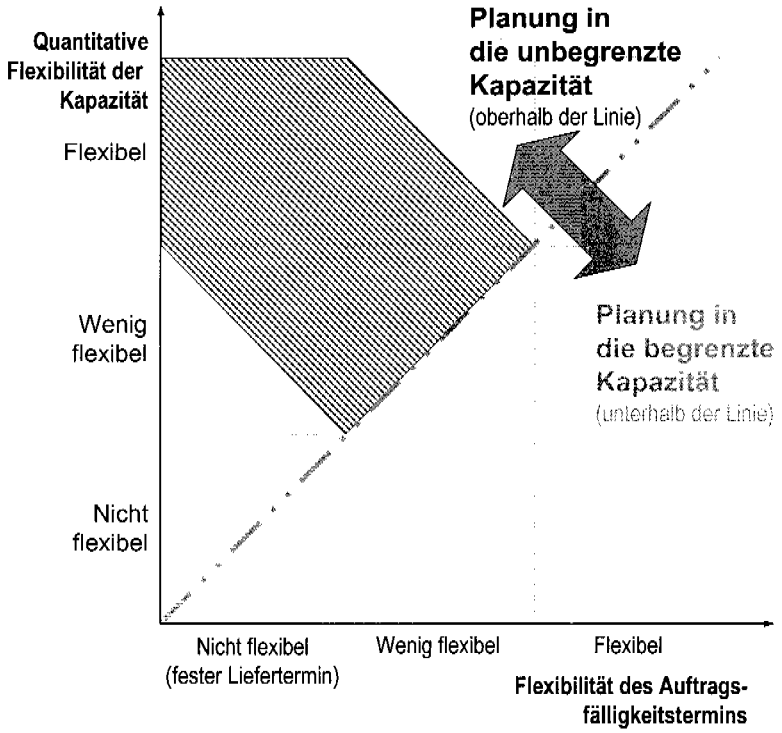


Abb. 2.9: Darstellung des gewählten Betrachtungsbereiches (schraffiertes Feld) im Sinne der Klassen des Termin- und Kapazitätsmanagements (In Anlehnung an Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 252.)

Auf der anderen Seite ist die Anpassung der Produktionskapazität nur eine von verschiedenen Möglichkeiten zum Umgang mit Bedarfsunsicherheiten. Denkbar ist beispielsweise, dass übermässige Bedarfsschwankungen in Lieferketten durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Kunden und Lieferanten effizient *vermieden* werden können. Die gezielte Entwicklung eines Produktspektrums sowie des zugehörigen Kundenkreises mit dem Ziel die jeweiligen Nachfrageschwankungen auszugleichen und damit deren Auswirkungen zu *vermindern*, ist eine weitere Alternative. Entsprechend wird deutlich, dass die Bereitstellung und der Einsatz flexibler Produktionskapazitäten nicht isoliert betrachtet werden darf, sondern Bestandteil eines umfassenden Produktionsmanagements sein muss. In Kapitel 2.4 wird unter anderem diese Überlegung noch einmal aufgegriffen.

2.2.3 Typologisierung von Bedarfsunsicherheiten

Ausprägung und Ausmass von Bedarfsunsicherheiten, ob ausgelöst durch die Wünsche des Endkunden oder beeinflusst durch das dynamische Verhalten von Lieferketten, können, je nach Branche und Unternehmen, sehr unterschiedlich sein. Ausgehend von einer Definition des Bedarfs-Begriffes soll deshalb in diesem Kapitel eine grobe Klassifizierung von Bedarfsunsicherheiten vorgenommen werden.

In Anlehnung an APICS ist der *Bedarf* der Willen (eines Abnehmers, z.B. Kunden) ein bestimmtes Produkt oder eine bestimmte Komponente zu erhalten. Der Bedarf kann dabei von verschiedenen Quellen geäussert werden, beispielsweise von einem Kunden als direkte Bestellung oder als Vorhersage. Andere Möglichkeiten sind ein Lieferabruf einer vorgelagerten

Stufe in der Lieferkette oder die Bestellung eines Ersatzteils usw.[1] Die Menge und der gewünschte Zeitpunkt der Bedarfserfüllung sind hier ausdrücklich als ergänzende Aspekte zu betrachten. Dies bedeutet, dass die Formulierung eines Bedarfes durch einen Abnehmer in jedem Fall Informationen zu *Art* und implizit auch Qualität eines Produktes (ggf. auch Produktvariante bzw. Produktfamilie), zur gewünschten *Menge* sowie zum *Liefertermin* enthält. Unter Umständen können auch Preisinformationen Bestandteil der Bedarfsäusserung sein. Beispielhaft dafür sind e-Business-Transaktionen, bei denen der Käufer mit der Bedarfsmenge auch eine Preisgrenze festlegt und einen Anbieter sucht, der das Kaufangebot wahrnehmen möchte.

Hieran anknüpfend können nun verschiedene Grundtypen von Bedarfsunsicherheiten identifiziert werden. Aus der Sicht eines Anbieters kann entsprechend unklar sein, welches Volumen eines bestimmten Produktes und welche Produkte bzw. welche Produktvarianten eines bestehenden Sortiments in Zukunft benötigt werden. Hinzukommen kann die Anforderung, neue oder veränderte Produkte anbieten und damit auch effizient herstellen zu können. Entsprechend der in Kapitel 2.1.2 vorgestellten zweckorientierten Flexibilitätsbegriffe können die oben genannten Ausprägungen der Bedarfsunsicherheit den Flexibilitätstypen Volumen-, (Varianten-)Mix- und Produktwechsel-Flexibilität zugeordnet werden. Erfolgt eine Verknüpfung der Veränderung des nachgefragten Volumens, Varianten-Mix´ oder Produktspektrums mit jeweils geforderten Zeitpunkten für deren Erfüllung, so entspricht dies einer impliziten Berücksichtigung von Terminunsicherheiten.

Weiterhin lassen sich aus der oben stehenden Erläuterung des Bedarfs-Begriffes auch Typen der Unsicherheit bezüglich des erzielbaren Produktpreises und der gewünschten Produktqualität ableiten. Da in dieser Arbeit, wie durch die Abgrenzung des Betrachtungsbereiches im vorangegangenen Abschnitt festgelegt, die Auswirkung von Bedarfsunsicherheiten auf die benötigte Produktionskapazität im Mittelpunkt stehen soll, sind Schwankungen des vom Abnehmer akzeptierten Preises, nur von indirekter Bedeutung. Führen hingegen veränderte Anforderungen an die Produktqualität zu substantiellen Änderungen am Produktionsprozess, so entspricht dies einer Produktänderung im oben beschriebenen Sinne.

Bedarfsmengenschwankungen (Volumen)

Die Zu- oder Abnahme des Bedarfes für ein bestimmtes Produkt innerhalb einer oder mehrerer Zeitabschnitte (Perioden) kann als Bedarfsmengen- bzw. Volumenschwankung bezeichnet werden. In einer im Jahr 2003 von KIRCHNER, WINKLER und WESTKÄMPER veröffentlichten Umfrage zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit in produzierenden Unternehmen gaben etwa 95% der Befragungsteilnehmer an, dass Veränderungen der Nachfragemenge als eine der Hauptursachen für Turbulenzen in ihrem Betrieb anzusehen sind. Unter *Turbulenz* verstehen die Autoren dabei die mit Unruhe und gegebenenfalls auch Ineffizienz verbundene Reaktionen eines betrieblichen Systems auf interne oder externe Störungen. Nochmals etwa 85 % der Unternehmen sehen kurzfristige Änderungen des Bedarfstermins und Änderungen der geforderten Lieferzeit als wesentliches Problem an, was letztlich ebenfalls einer Veränderung der Bedarfsmenge in einer betrachteten Zeitspanne entspricht.[2]

---

[1] Vgl. APICS Dictionary, 2005, S. 29.

[2] Details dazu in Kirchner S. / Winkler R. / Westkämper E., Unternehmensstudie, 2003.

Ursachen und Ausprägung von Volumenschwankungen können in der Praxis sehr verschieden sein. So können beispielsweise Konjunkturverläufe und Produktlebenszyklen ebenso Einfluss auf Bedarfsmengen nehmen, wie saisonale Käuferpräferenzen oder das Bestellverhalten von Endkunden bzw. das von Partnern einer Lieferkette. Tatsächlich ist sogar von einer Koexistenz verschiedener Schwankungsphänomene auszugehen, die sich überlagern und damit zu einer mehr oder weniger schwer vorherzusagenden Volatilität der Bedarfsmenge für ein Produkt bzw. eine Produktfamilie führen können. In Abbildung 2.10 wird versucht, diesen Zusammenhang graphisch darzustellen. Im unteren Teil des Bildes wird ein Ausschnitt eines relativ stark fluktuierenden Bedarfsverlaufes im kurzfristigen Bereich gezeigt, der bei einer mittelfristig aggregierten Betrachtung (mittleres Bild) nicht sichtbar ist. Stattdessen wird dabei aber ein Bedarfsmuster erkennbar, bei dem es sich beispielsweise um eine Saisonalität handeln könnte. Eine weitere Vergröberung der Betrachtung zeigt schliesslich eine langzyklische Bedarfsentwicklung, die unter Umständen deutlich geringeren relativen Schwankungen unterworfen sein kann.

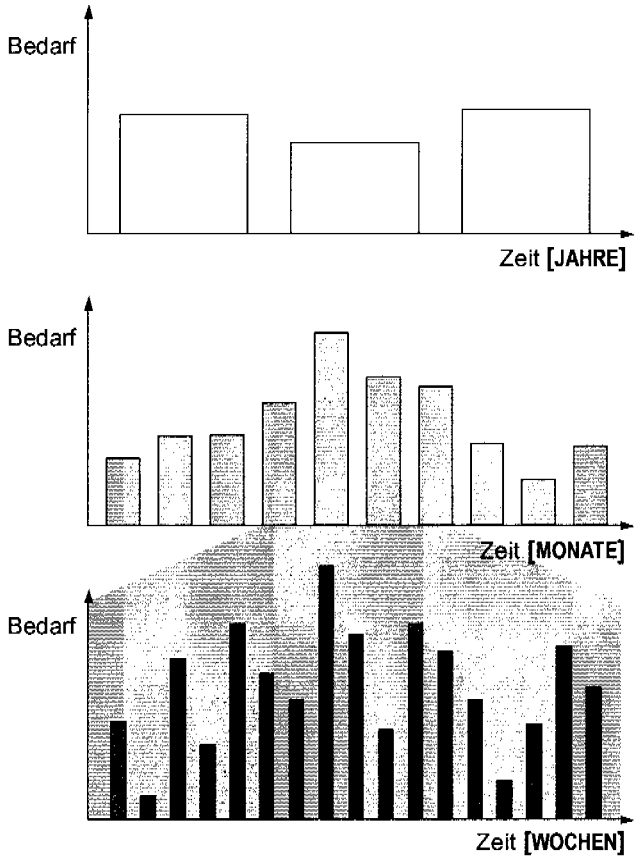


Abb. 2.10: Schematische Darstellung der Überlagerung von Schwankungstypen der Bedarfsmenge mit unterschiedlichen Zeithorizonten

Ein reales Beispiel zeigt Abbildung 2.11, in der die relative Veränderung der monatlichen Fakturierungszahlen von Unternehmen der Halbleiterbranche (weltweit) abgebildet ist. Hier liegen die monatlichen Schwankungen in einer Grössenordnung von 10 bis 30 Prozent, während die langzyklischen Bedarfsschwankungen bei 100 Prozent und darüber liegen. Zum Teil noch stärker ausgeprägt sind besonders die langfristigen Marktzyklen, die das nachgelagerte Geschäft mit Produktionsausrüstung für die Halbleiterindustrie prägen. Ein sehr gut dokumentiertes Bespiel eines Herstellers von Automaten zur Chip-Montage zeigt, dass hier Volumenschwankungen im Bereich von Faktor 3 bis 4 binnen Jahresfrist möglich sind.[1]

[1] Siehe Verbeck A. / Ziegenbein A. / Erni P., Risiken reduzieren, 2003.

Beide Zahlenbeispiele unterstreichen die Ergebnisse der oben zitierten Unternehmensbefragung. Grundsätzlich vergleichbares Zahlenmaterial lässt sich auch für andere Industriesektoren finden, unter anderem durch die Auswertung von Erstzulassungsdaten im Automobilsektor usw. Hierauf soll aber an dieser Stelle verzichtet werden, da die bereits angeführten Fakten die Relevanz der Problematik von Bedarfsmengenschwankungen eindrücklich nachweisen.

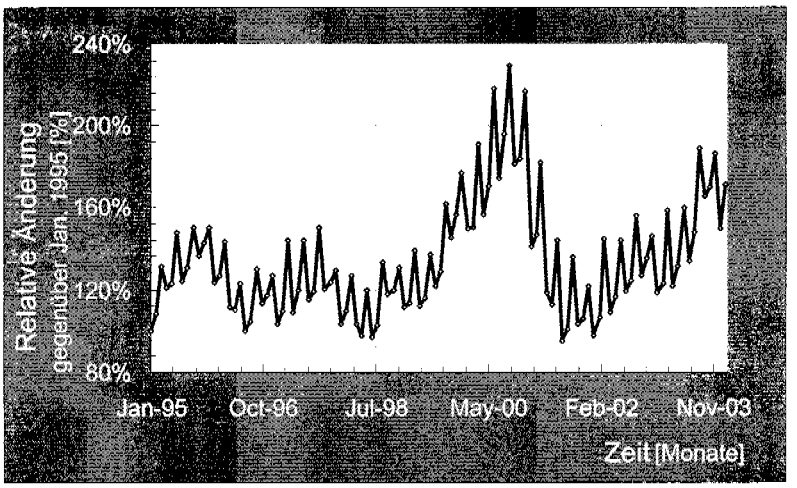


Abb. 2.11: Globale Fakturierung (Monatsdaten) in der Halbleiterindustrie als relative Veränderung zum Januar 1995 (Quelle: „Global Billings History Report (1990 - present)", Semiconductor Association Industry, www.sia-online.org)

Veränderung des nachgefragten Varianten- oder Produkt-Mix

Während es im Fall von Volumenschwankungen offensichtlich ist, dass eine Verbindung zur benötigten Produktionskapazität besteht, ist dies im Hinblick auf Veränderung des Varianten-Mix nicht unmittelbar der Fall. Unter dieser Art der Bedarfsänderung wird im vorliegenden Kontext die Zu- oder Abnahme der Bedarfsmenge einer bestehenden Variante bzw. eines bestehenden Produktes verstanden, ohne dass sich die Gesamtmenge aller Varianten oder Produkte ändert, die durch das betrachtete Produktionssystem bearbeitet werden. Dies bedeutet formal, dass der Rückgang der Stückzahl bei einer Variante (oder Produkt) durch den Anstieg bei einer anderen ausgeglichen wird, was letztlich durch eine Verschiebung der Mengenanteile der von der Veränderung betroffenen Varianten (Produkte) ausgedrückt werden kann.

In der betrieblichen Praxis werden Produktionssysteme in sehr vielen Fällen zur Herstellung eines mehr oder weniger breiten Varianten- und Produktspektrums eingesetzt. Da dies in der Regel nicht ohne Umrüstvorgänge zu realisieren ist und die bearbeiteten Produktionslose nicht für jede Produktvariante gleich sein müssen, ist die für die Herstellung einer Mengeneinheit konsumierte Zeit eine varianten- bzw. produktspezifische Grösse. Eine temporäre oder dauerhafte Veränderung des nachgefragten Varianten- und Produktspektrums kann sich somit auf die insgesamt benötigte Produktionszeit auswirken, was einer Veränderung des Kapazitätsbedarfes entspricht. Eine detaillierte Erläuterung zur Bestimmung des effektiven Kapazitätsbedarfes und dessen quantitativer Formulierung erfolgt in Kapitel 4.2.

Die bereits erwähnte Unternehmensbefragung zur Wandlungsfähigkeit in Produktionsunternehmen sieht die Änderung des nachgefragten Varianten- bzw. Produkt-Mix, ähnlich wie die Änderung der gesamten Nachfragemenge, unter den Hauptursachen für Unruhe und Turbulenz in der Produktion. Etwas mehr als 80 % der befragten Unternehmen schätzten

diesen Unsicherheitsaspekt als relevant und kritisch für das eigene Handeln ein.[1] Ein konkretes Fallbeispiel dazu stammt aus der Automobilindustrie und wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes unter eigener Beteiligung untersucht.[2] Ein zum Projekt-Konsortium gehörender Automobilhersteller ging bei der Planung der Endmontage für eine Produktreihe seiner Kleinwagen-Marke davon aus, dass der Markt ein preiswertes Fahrzeug mit geringem Kraftstoffverbrauch und begrenztem Ausstattungsumfang bevorzugen würde. Tatsächlich wurde aber im Verlauf des Produktlebenszyklus' deutlich, dass in wachsendem Masse andere als die ursprünglich anvisierten Käuferschichten angesprochen wurden. Erkennbar wurde dies durch die Zunahme der Wünsche hinsichtlich Umfang und Vielfalt der Fahrzeugausstattung, auf die mittelfristig mit produktseitigen und vor allem kapazitiven Anpassungen beim Hersteller selbst und seinen Zulieferern reagiert werden musste.

Veränderung des Varianten- und Produktspektrums

Viele Produktionsbetriebe werden regelmässig mit der Anforderung konfrontiert neue Produkte oder Varianten in eine laufende Produktion zu integrieren. Neben der sich dadurch möglicherweise sprunghaft ändernden Gesamtbedarfsmenge ist zusätzlich die Unsicherheit im Hinblick auf den zur Herstellung eines neuen Produktes erforderlichen spezifischen Zeit- und damit Kapazitätsbedarf von Bedeutung. Dies gilt in ähnlicher Weise für solche Produkte bzw. Produktvarianten, deren Spezifikation so weit verändert wurde, dass dies entsprechende Anpassungen im Produktionsprozess nach sich zieht sowie weiterhin für Nachfolgeprodukte, die ein auslaufendes Produkt ersetzen.

Ein wesentliches Indiz für die Bedeutung dieser Art der Bedarfsunsicherheit wird anhand der fortgesetzten Verkürzung von Produktlebenszyklen in vielen Industriebereichen deutlich. Das in Abbildung 2.12 gezeigte Beispiel stammt ebenfalls aus der Automobilindustrie. Hier haben sich die Zeiträume zwischen zwei Modellwechseln in den zurückliegenden Jahren wettbewerbsbedingt um etwa 30 Prozent und damit drastisch verringert. Für die Praxis heisst dies, dass Produktionssysteme nicht nur für verschiedene Produkt-

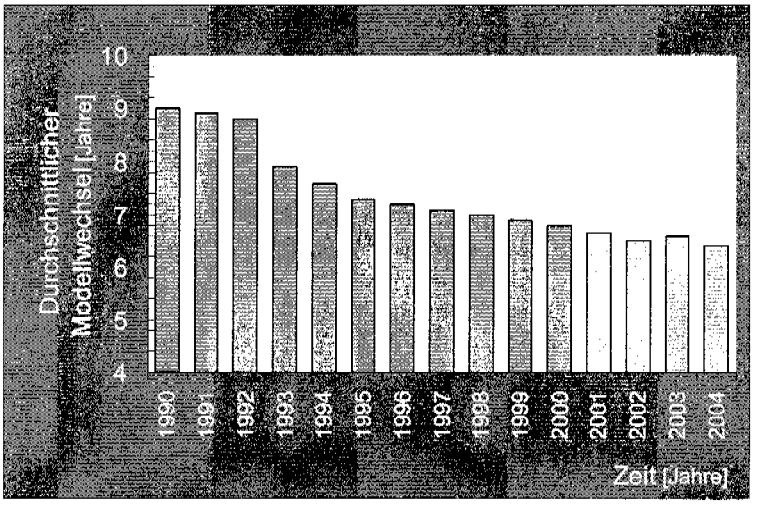


Abb. 2.12: Verlauf der durchschnittlichen PKW-Modell-Lebenszyklen bei europäischen Automobilherstellern (Quelle: Automobil Produktion, www.automobil-produktion.de)

[1] Siehe Kirchner S. / Winkler R. / Westkämper E., Unternehmensstudie, 2003

[2] Beim hier erwähnten Forschungsprojekt handelt es sich um das von der Europäischen Union im 5. Rahmenprogramm geförderte Projekt LicoPro (IST-2001-37603), das zwischen September 2002 und August 2005 unter Mitwirkung des Autors bearbeitet wurde.

varianten bzw. Produkte, sondern zunehmend auch für mehr als nur eine Produktgeneration einsetzbar sein müssen.[1] Um dies sinnvoll realisieren zu können, ist eine Vielzahl von Aspekten zu berücksichtigen, die von der Bereitstellung technischer und organisatorischer Lösungskonzepte bis hin zu Ansätzen für die geeignete Investitionsbewertung reichen. Im operativen Betrieb ist jedoch der tatsächliche Kapazitätsbedarf sowie die bedarfsgerechte Kapazitätsbereitstellung, zum Beispiel zur Anpassung an Produktan- oder -ausläufe, und eine diesbezüglich sinnvolle Planung von wesentlichem Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines Produktionsbetriebes.

Ähnlich wie das bereits für die Volumenschwankungen angedeutet wurde, lassen sich auch für die beiden anderen Grundtypen der Bedarfsunsicherheit bestimmte Ausprägungsformen identifizieren, die sich insbesondere im Hinblick auf die Fristen ihres möglichen Eintrittes unterscheiden. In Tabelle 2.3 werden daher einige konkrete Beispiele für Bedarfsschwankungen genannt sowie im Hinblick auf Bedarfsunsicherheits-Typ und Zeitbezug geordnet.[2]

	Bedarfsmenge (Volumen)	**Varianten- und Produkt-Mix**	**Produktspektrum**
Kurzfristig	▪ Kurzzyklische Volatilität (z.B. aufgrund eines unregelmässigen Bestellverhaltes der Kunden) ▪ Schwankungen von Lieferfristen	▪ Selektive Erhöhung des Volumenanteils einer Variante (z.B. aufgrund einer Marketingaktion) ▪ Veränderung der Produktionsreihenfolge	▪ Änderung von Produktspezifikationen (z.B. zur Erhöhung von Qualität oder Funktionalität) ▪ Produktion nach Kundenspezifikation („Engineer to order")
Mittelfristig	▪ Saisonale oder andere zyklische Absatzschwankungen ▪ Grossaufträge (z.B. für Kundenprojekte)	▪ Zyklische oder dauerhafte Verschiebung von Varianten-Anteilen (z.B. aufgrund saisonaler Käuferpräferenzen)	▪ Wachsende Zahl an Produktvarianten ▪ Transfer von Produkten bzw. Wertschöpfungsanteilen zwischen Produktionsbetrieben eines Netzwerkes
Langfristig	▪ Eintritt in neue Märkte ▪ Akquisition bzw. Verlust von Kunden ▪ Konjunkturelle Zyklen	▪ Wettbewerbsbedingte Erhöhung der Variantenvielfalt ▪ Zunahme des Produkt- und Variantenspektrums infolge langfristiger Ersatzteilgarantien	▪ Produktionsanlauf für neue oder Nachfolger-Produkte ▪ Auslauf von bestehenden Produkten / Produktgenerationen

Tab. 2.3: Beispiele für Bedarfsunsicherheiten, klassifiziert nach Bedarfsunsicherheits-Typ und Zeitbezug

[1] Siehe dazu auch Schuh G. / Sesterhenn M. / König R., Lebenszyklusgestaltung, 2003.
[2] Siehe dazu auch Gupta D. / Buzacott J.A., Understanding flexibility, 1989.

Der Nutzen dieser Unsicherheits-Typ und mögliche Eintrittsfristigkeit unterscheidenden Betrachtungsweise liegt in der Möglichkeit, einzelne Schwankungsphänomene differenziert zu erkennen. Dies kann gleichzeitig als Grundlage angesehen werden, um gegebenenfalls erforderliche Anpassungsreaktionen – hier die Veränderung der Produktionskapazität – gezielt auswählen und einplanen zu können. Dieser Sachverhalt wird in Kapitel 4.2 ausführlicher behandelt. Zunächst sollen jedoch der Begriff der Produktionskapazität sowie mögliche technische und organisatorische Massnahmen zu ihrer Anpassung näher untersucht werden.

2.3 Produktionskapazität und Möglichkeiten zu ihrer Anpassung

Unter dem Begriff der *Kapazität* kann das Leistungsvermögen eines Produktionssystems, unabhängig von Art, Grösse und Struktur, in einem festgelegten Zeitabschnitt verstanden werden.[1] Die Messung kann in Mengeneinheiten (Abkürzung: ME, zum Beispiel Stück, Tonnen, Kubikmeter) oder auch in Zeiteinheiten (häufig Stunden) pro Periode (z.B. BKT, Woche, Monat oder sogar Jahr) erfolgen. Beide Möglichkeiten sind in der Praxis verbreitet, wobei der Vorteil der Kapazitätsmessung in Zeiteinheiten in der Regel in der höheren Genauigkeit liegt. Verwendet wird der Kapazitätsbegriff üblicherweise für einzelne Arbeitssysteme, aber auch für Fertigungsbereiche, Werkstätten oder Montagelinien bis hin zu ganzen Betrieben. Um die Kapazität realer Produktionssysteme sinnvoll bestimmen, planen und schliesslich auch gezielt verändern zu können, ist es zunächst erforderlich, die massgeblichen Einflussfaktoren zu bestimmen, was nun im nächsten Abschnitt erfolgen soll.

2.3.1 Kapazitätsdeterminanten

Der Ausstoss an Gütern eines Produktionssystems in einer festgelegten Zeitperiode wird von verschiedenen Faktoren geprägt, die unter anderem von KERN als *Kapazitätsdeterminanten* bezeichnet werden. Als primäre Faktoren können das Personal und die zur Verfügung stehenden Betriebsmittel angesehen werden. Beide gemeinsam bestimmen die Kapazität eines Produktionssystems. Damit sind sie zugleich Ansatzpunkte für gegebenenfalls notwendige Aktivitäten zur Kapazitätsveränderung. Ergänzt werden die primären durch sekundäre Determinanten. Dies sind zum Beispiel die zur Produktion benötigten Roh- und Hilfsmaterialien sowie Energie usw. Im Gegensatz zu Personal und Betriebsmitteln verfügen die sekundären Kapazitätsdeterminanten über kein eigenes Leistungspotential, wirken aber unter Umständen limitierend auf den Ausstoss eines betrachteten Produktionssystems.[2]

Abbildung 2.13 zeigt diesen Sachverhalt in Form eines vereinfachten Fliessbildes. Darin wird ersichtlich, dass die Höhe des Produktausstosses nicht nur von den Kapazitäten bei Personal und Betriebsmitteln bestimmt wird, sondern auch von der Verfügbarkeit des zu verarbeitenden Materials. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Kapazitätsanpassung von Bedeutung. So führt eine Kapazitätserhöhung grundsätzlich erst dann zu einer tatsächlich

---

[1] Vgl. dazu Kern W., Kapazität und Beschäftigung, 1975; Ähnliche Definitionen finden sich in Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 27 oder APICS Dictionary, 2005, S.14.

[2] Siehe dazu Kern W., Messung industrieller Fertigungskapazitäten, 1962, S. 44 ff. sowie Kaluza B., Kapazität und Flexibilität, 1994.

vergrösserten Produktionsmenge, wenn ein entsprechendes Angebot an zusätzlichem Rohmaterial vorhanden ist. Dies gilt in ähnlicher Weise für alle Arten von Hilfsstoffen und Energie sowie für zu produzierende oder zu beschaffende Werkzeuge.

Darüber hinaus können Informationen im Sinne von Planungs- und Steuerungsdaten den sekundären Determinanten hinzugerechnet werden, da beispielsweise fehlende oder falsche Produktionsaufträge den Ausstoss eines Produktionssystems ebenfalls beeinträchtigen können. Zieht man umgekehrt die Möglichkeit der Bildung von Rüstzeit-optimierten Produktionsreihenfolgen in Betracht, können Planungsinformationen sogar aktiv die Nutzungseffizienz von Fertigungskapazitäten beeinflussen.

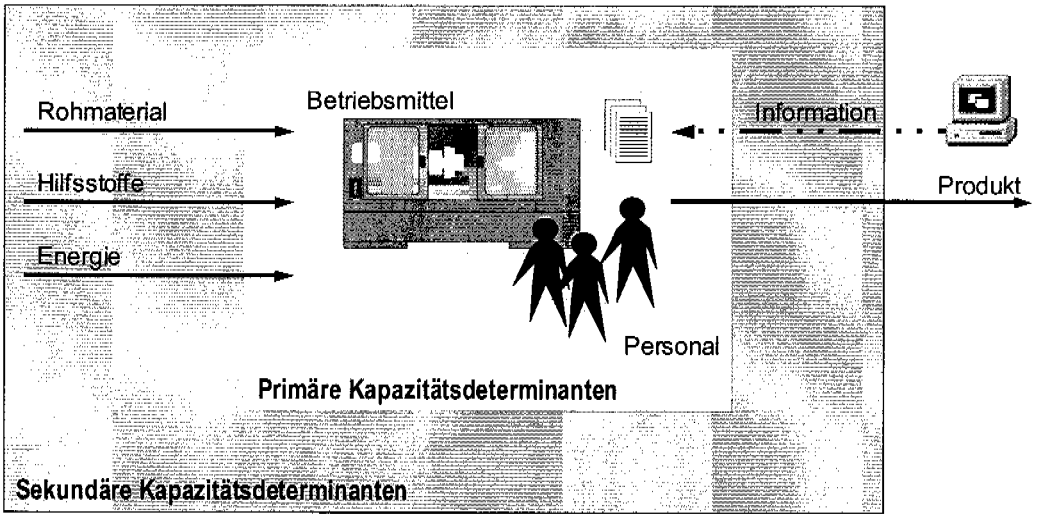


Abb. 2.13: Primäre und sekundäre Determinanten der Produktionskapazität

Allerdings ist die Kenntnis der primären Determinanten Personal- und Betriebsmittelkapazität sowie der limitierend wirkenden sekundären Kapazitätsdeterminanten allein nicht ausreichend, um den möglichen Produktausstoss eines Systems geeignet planen zu können. Dafür sind vor allem zwei wichtige Aspekte verantwortlich. Einerseits steht die aus den Betriebszeiten für Maschinen und Anlagen sowie aus den Arbeitszeiten für Personal berechenbare theoretische Kapazität zumeist nicht real zur Verfügung, da Störungen, Ausfallzeiten, Krankheit und andere Einflüsse berücksichtigt werden müssen. Andererseits führt eine zu grosse *Auslastung* eines Arbeitssystems zu langen, unter Umständen stark schwankenden Durchlaufzeiten.[1] Dies ist durch die Berücksichtigung einer *taktischen Unterauslastung* sowie durch den Einsatz einer geeigneten Fertigungssteuerung nach Möglichkeit zu vermeiden.

Die Auslastung gilt dabei als Messgrösse für die Intensität der Nutzung eines Arbeitssystems. Sie wird aus dem Verhältnis von tatsächlicher Ausstossleistung und verfügbarer Kapazität in einem bestimmten Zeitraum gebildet.[2] Darin ist die verfügbare Kapazität die um Störungen und ungeplante oder geplante Ausfallzeiten reduzierte theoretische Maximalkapazität.

---

[1] Siehe dazu das Dritte und Achte Produktionslogistische Grundgesetz nach Nyhuis und Wiendahl, Losgistische Kennlinien, 2003, S. 137 ff.

[2] Vgl. dazu auch Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 633 f. und S. 675 f.

Eine Abgrenzung weiterer wichtiger Begriffe zur Kapazität sowie entsprechende Erläuterungen werden im folgenden Abschnitt gegeben. Zur Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen Kapazität, Leistung und Durchlaufzeit erfolgt zunächst ein knapp gehaltener Exkurs in die Theorie der Produktionskennlinien.

2.3.2 Verfügbare Kapazität, nutzbare Kapazität und Leistung

Produktionsaufträge belasten Arbeitssysteme zumeist unregelmässig. Neben den bereits in Kapitel 2.2 diskutierten Kapazitätsbedarfsschwankungen führen vor allem unterschiedliche Auftragsgrössen sowie die stochastischen Auftragszugänge dazu, dass die Auftragsabarbeitung als eine Aneinanderreihung von Übergangszuständen anzusehen ist. Das an der Universität Hannover entworfene *Trichtermodell* beschreibt in vereinfachender Analogie zu physikalischen Fliesvorgängen Arbeitssysteme als Trichter (vgl. Abbildung 2.14, linker Teil). Stochastisch zugehende Aufträge „fliessen" nach Ablauf einer belastungsabhängigen Wartezeit sowie einer auftragsspezifischen Arbeitsgangdauer[1] wieder aus dem System ab. Das gefüllte Trichtervolumen entspricht den im Puffer des Arbeitssystems wartenden sowie den an den Arbeits- bzw. Kapazitätsplätzen bearbeiteten Produktionsaufträgen. Die grösstmögliche Öffnung des Trichters steht sinnbildlich für die *maximal verfügbare Kapazität* des Arbeitssystems, die aber nicht in jedem Fall genutzt werden muss. Der in einem bestimmten Zeitabschnitt realisierte Ausstoss eines Arbeitssystems kann als *Leistung* bezeichnet werden. Die Messung erfolgt identisch zur Kapazität in Mengeneinheiten oder Zeit pro Periode.

Ein stabiler Systemzustand ist im Trichtermodell nur dann gewährleistet, wenn die Zugangsrate in jedem Fall kleiner ist, als die maximale Abgangsrate (maximal verfügbare Kapazität) und im Mittel den gleichen Wert besitzt, wie die mittlere Leistung im selben Zeitraum. Andernfalls würde der Trichter überlaufen, was in der betrieblichen Praxis einem Überlastzustand mit unkontrolliert wachsenden Umlaufbeständen entsprechen würde. Die Anwendung des Trichtermodells ist grundsätzlich nicht auf ein einzelnes Arbeitssystem beschränkt, sondern kann auf Fertigungsbereiche oder auch auf ganze Stufen einer Lieferkette ausgedehnt werden.[2]

Die Vorgänge der Trichter-Analogie lassen sich in ein Durchlaufdiagramm übertragen, das im rechten Teil der Abbildung 2.14 dargestellt ist. Hierfür werden die zugehenden und die abgehenden Aufträge mit ihrem Arbeitsinhalt, üblicherweise gemessen in Vorgabestunden, kumuliert über dem Zugangs- bzw. dem Fertigstellungstermin aufgetragen. Bei der Ermittlung der Zugangskurve wird dabei der sich zu Beginn des Betrachtungszeitraumes im Arbeitssystem befindende Bestand als Anfangswert berücksichtigt. Die durchschnittliche Steigung der Abgangskurve entspricht der mittleren, im Betrachtungszeitraum tatsächlich erbrachten Ausstossleistung des Systems. In gleicher Weise steht die Steigung der Zugangskurve für die

---

[1] Die Arbeitsgangdauer für einen Auftrag ergibt sich als Summe der Rüstzeit und Einzelbearbeitungszeit je Mengeneinheit, multipliziert mit der entsprechenden Losgrösse. Eine synonymer Begriff ist die Auftragszeit.

[2] Ausführlicher dazu Wiendahl H.-P., Fertigungsregelung, 1997, S. 33 ff. sowie Nyhuis P. / Wiendahl H.-P., Logistische Kennlinien, 2003, S. 24 f.

mittlere Belastung. In einem stabilen Zustand und bei ausreichend langer Beobachtungsdauer müssen die Zu- und Abgangskurven parallel verlaufen.

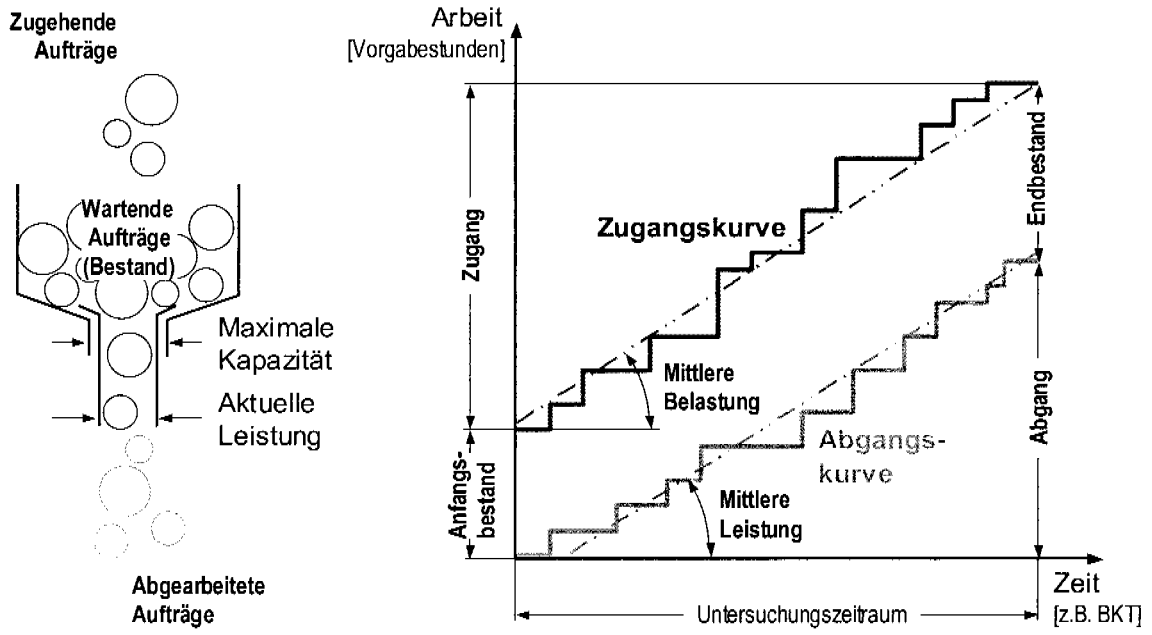


Abb. 2.14: Hannoveraner Trichtermodell und Durchlaufdiagramm eines Arbeitssystems (nach Bechte)[1]

Der Wert des Durchlaufdiagramms für die Praxis liegt unter anderem in der Möglichkeit, wichtige Kenngrössen direkt ablesen zu können. So kann der Bestand im System als vertikaler Abstand zwischen der Zugangs- und Abgangskurve zu jedem Betrachtungszeitpunkt bestimmt werden. Der Horizontale Abstand hingegen gibt die *Bestandsreichweite* an, die eng mit der Durchlaufzeit des Arbeitssystems verknüpft ist. Die Reichweite gibt an, wie lange der aktuelle Bestand ausreicht, um das betrachtete Arbeitssystem bei unveränderter Leistung mit Arbeit zu versorgen. Die Abstände zwischen den idealisierten Mittelwertlinien für Zu- und Abgang repräsentieren entsprechend den Mittelwerten für Bestand und Reichweite im Beobachtungszeitraum.[2]

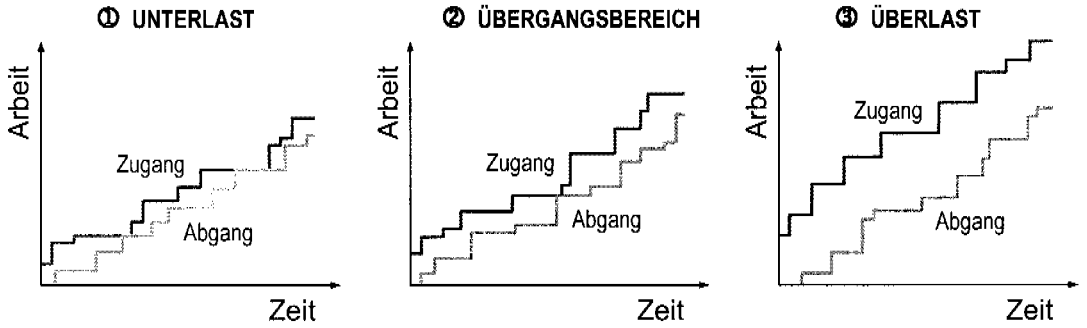
Allerdings lassen sich diese Kenngrössen mit Hilfe des Durchlaufdiagramms nur für eine begrenzte Zeitspanne visualisieren, so dass damit lediglich bestimmte (mittlere) Systemzustände erfasst werden können. Im oberen Teil der Abbildung 2.15 sind drei typische Betriebszustände eines Arbeitssystems in Durchlaufdiagrammen dargestellt. Im Unterlastzustand (Abbildung 2.15, oben, links) berühren sich die Zu- und die Abgangskurve regelmässig, was bedeutet, dass zu diesen Zeitpunkten kein Auftrag zur Bearbeitung zur Verfügung steht und das betroffene Arbeitssystem ungenutzt bleibt. Hingegen ist ein Überlastzustand dadurch gekennzeichnet, dass zwischen beiden Kurven eine vergleichsweise grosse Bestandsfläche liegt. In der Praxis bedeutet dies zwar, dass einerseits eine grösstmögliche Auslastung des Systems erzielt wird, jedoch andererseits auf Kosten langer, gegebenenfalls stark streuender Durchlaufzeiten und damit unpünktlicher Aufträge.

---

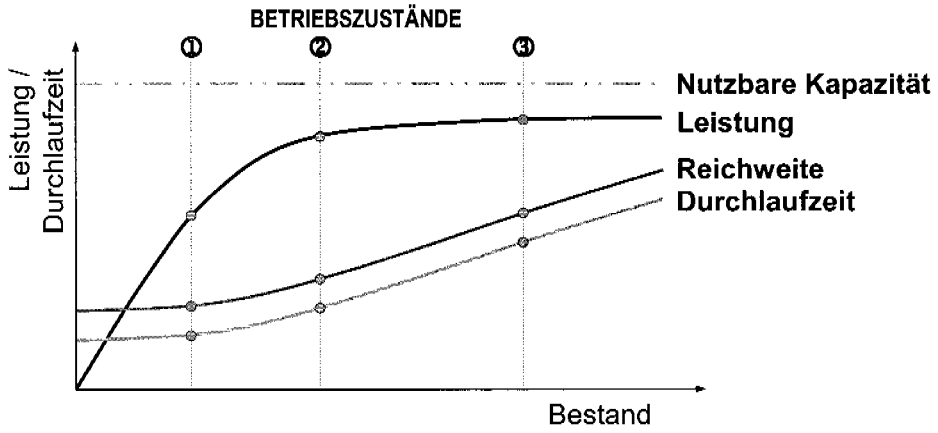
[1] Bechte W., Belastungsorientierte Auftragsfreigabe, 1984, S. 36 ff. und S. 50 f.

[2] Vgl. Wiendahl H.-P., Fertigungsregelung, 1997, S.91 ff.

Eine stetige Wiedergabe möglicher Betriebszustände erlaubt schliesslich die Darstellung von Produktionskennlinien. Im Sinne einer Wirkbeziehung verknüpfen diese die Höhe des Bestandes einerseits mit jeweiligen Werten für Leistung oder Reichweite andererseits (siehe Abbildung 2.15, unterer Teil).[1]



a) Typische Betriebszustände eines Arbeitssystems



b) Übertragung der Betriebszustände in ein Kennliniendiagramm

Abb. 2.15: Typische Betriebszustände eines Arbeitssystems und Produktionskennlinien für Leistung, Reichweite und Durchlaufzeit
(Nach Nyhuis und Wiendahl, Logistische Kennlinien, 2003, S. 37.)

Der Verlauf der Leistungskennlinie zeigt, dass sich oberhalb eines bestimmten Bestandsniveaus nur noch geringe Leistungszuwächse erzielen lassen, da das Arbeitssystem nun über eine so grosse Arbeitsmenge verfügt, dass es kaum noch zu Stillständen aufgrund fehlender Aufträge kommt. Umgekehrt bedeutet dies, dass die Erreichung einer sehr hohen Auslastung eines Arbeitssystems mit einem überproportionalen Anstieg des Bestandes und dadurch mit einer stark anwachsenden Durchlaufzeit verbunden ist.[2]

---

[1] Siehe Nyhuis P. / Wiendahl H.-P., Logistische Kennlinien, 2003, S. 36 ff.

[2] Dies entspricht der Umkehrung des *Dritten Produktionslogistischen Gesetzes* nach NYHUIS und WIENDAHL (Logistische Kennlinien, 2003, S. f.), welches aussagt, dass eine Verringerung der Arbeitssystemauslastung zu einer überproportionalen Reduktion von Bestand und Durchlaufzeit führt. Dies gilt in erster Linie für gut ausgelastete Kapazitäten. Bei kleinen Auslastungswerten besteht ein weitgehend proportionaler Zusammenhang mit dem Bestand.

Dieses Verständnis verdeutlicht zugleich die Notwendigkeit, die theoretisch mögliche Kapazität von der verfügbaren und der nutzbaren Kapazität sowie von der tatsächlichen Leistung eines Produktionssystems sorgfältig zu unterscheiden. In Abbildung 2.16 werden die wesentlichen Kapazitätsbegriffe im Zusammenhang mit der oben kurz erläuterten Leistungskennlinie qualitativ dargestellt.

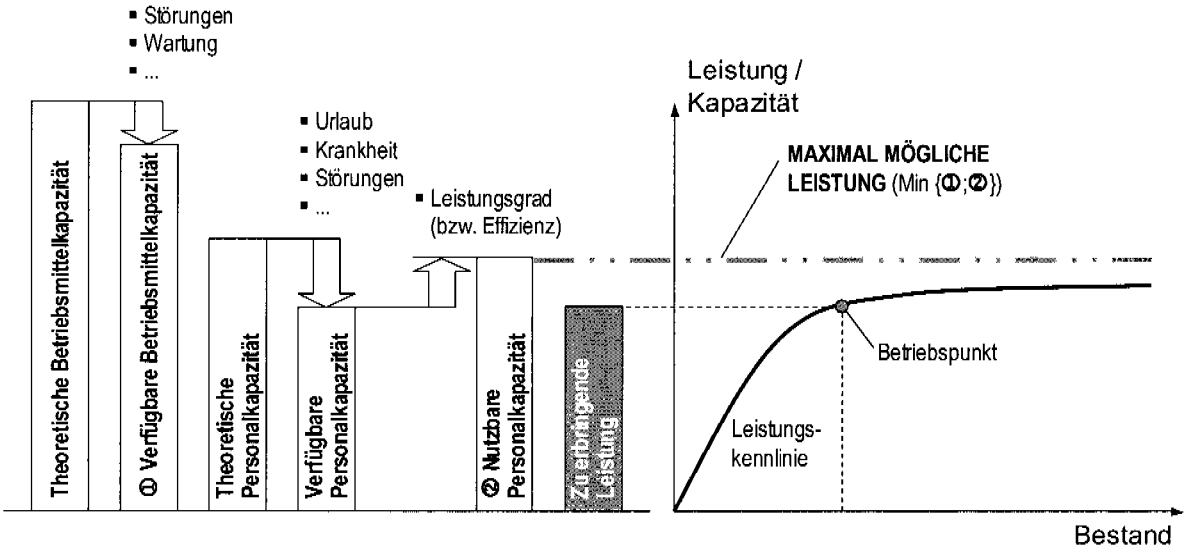


Abb. 2.16: Abgrenzung der Begriffe theoretische und verfügbare Kapazität sowie maximal mögliche und zu erbringende Leistung anhand eines Kennliniendiagramms (In Anlehnung an Nyhuis und Wiendahl, Logistische Kennlinien, 2003, S. 67.)

Ausgangspunkt einer Kapazitätsbetrachtung ist demzufolge stets die theoretisch mögliche Kapazität der *Betriebsmittel* und des *Personals*. Diese auch als *Grund-* oder *Nennkapazität* bezeichneten Grössen können aus der Anzahl Maschinen und deren theoretisch möglicher Laufzeit (24 Stunden an sieben Wochentagen) bzw. aus der Anzahl der einsetzbaren Mitarbeiter und deren Wochenschichtzahl berechnet werden.[1] In beiden Fällen handelt es sich typischerweise um eine theoretische *Maximalkapazität*. Im Hinblick auf die Seite der Betriebsmittel ist möglicherweise zusätzlich eine *Minimalkapazität* (in Abbildung 2.16 nicht enthalten) zu beachten. Dies ist genau relevant, wenn beim Betrieb von Maschinen und Anlagen aus technischen Gründen eine Mindest-Produktionsmenge nicht unterschritten werden kann. Beispiele dafür gibt es in der chemischen Industrie. In kontinuierlich betriebenen Anlagensystemen ist die Höhe des Produktausstosses pro Zeiteinheit nicht beliebig skalierbar, da zur Sicherstellung der Produktqualität und zur Aufrechterhaltung der Anlagensicherheit häufig ein minimaler Durchsatz nicht unterschritten werden darf.

Davon unabhängig sind in der Realität sowohl die *verfügbare Betriebsmittelkapazität* als auch die *verfügbare Personalkapazität* unter Umständen deutlich kleiner als die theoretisch möglichen Kapazitätswerte. Ursache dafür sind geplante oder ungeplante Stillstands- bzw. Revisionszeiten bei den Betriebsmitteln sowie Urlaubs- oder andere Abwesenheitszeiten (zum Beispiel durch Krankheit) beim Personal. Zudem sollten kurzfristig, ungeplant auftretende

[1] Vgl. dazu Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 674 f.

Störungen nicht ausschliesslich bei der Bestimmung der verfügbaren Betriebsmittelkapazität berücksichtigt werden, da diese ja erwartungsgemäss während des Betriebes auftreten und damit die verfügbare Kapazität insgesamt beeinträchtigen. Die Abschätzung der tatsächlich verfügbaren Kapazitäten erfolgt in der Praxis häufig mit Hilfe eines *Verfügbarkeitsfaktors*, dessen korrekte Bestimmung allerdings an längerfristige Beobachtungen und Erfahrungen geknüpft ist. Dies gilt in ähnlicher Weise für den *Effizienz-* oder *Leistungsgrad*, mit dem üblicherweise die verfügbare zur letztlich *nutzbaren Personalkapazität* korrigiert werden kann. Der Wertebereich dieses Faktors kann unter, aber auch über dem Wert 1 liegen. Der Effizienzgrad sagt aus, wie hoch der tatsächliche Ausstoss im Vergleich zu einem erwarteten Standard-Ausstoss ist.[1] Zugleich kann hier die Tatsache berücksichtigt werden, dass das menschliche Handeln von Erfahrungs- oder Lerneffekten geprägt ist. Dies bedeutet, dass sich der Wert des Effizienzgrades im Zeitverlauf, insbesondere in der Einführungsphase eines neuen oder veränderten Produktes oder Produktionsprozesses, durchaus ändern kann.

Das Minimum aus verfügbarer Betriebsmittelkapazität und nutzbarer Personalkapazität ergibt schliesslich die zu einem bestimmten Zeitpunkt *verfügbare Maximalkapazität* eines Produktionssystems. Sie entspricht der *maximal möglichen Leistung* (siehe Abbildung 2.16). Die Gleichungen 2-1 bis 2-3 geben den geschilderten Ablauf zur Bestimmung der maximalen Kapazität und Leistung eines Arbeitssystems formelmässig wieder.

$$KAPV_{BM} = c_{BM} \cdot KAPT_{BM} \qquad \textbf{(Gl. 2–1a)}$$

$$KAPV_{PE} = c_{PE} \cdot KAPT_{PE} \qquad \textbf{(Gl. 2-1b)}$$

mit

$KAPT_{BM}$, $KAPT_{PE}$	Theoretische Kapazität von Betriebsmittel bzw. Personal [h / Periode oder ME / Periode]
$KAPV_{BM}$, $KAPV_{PE}$	Verfügbare Kapazität für Betriebsmittel bzw. Personal [h / Periode oder ME / Periode]
c_{PE}, c_{PE}	Verfügbarkeitsfaktor für Betriebsmittel bzw. Personal [-]

Damit erfolgt die Berechnung der nutzbaren Personalkapazität durch:

$$KAPN_{PE} = \eta \cdot KAPV_{PE} = \eta \cdot c_{PE} \cdot KAPT_{PE} \qquad \textbf{(Gl. 2-2)}$$

mit

$KAPN_{PE}$	Nutzbare Personalkapazität [h / Periode oder ME / Periode],
η	Effizienzgrad der Personalkapazität [-].

Die maximale Kapazität eines Arbeitssystems und entsprechend Abbildung 2.16 auch die maximal mögliche Leistung kann mit Hilfe von Gleichung 2-3 bestimmt werden.

---

[1] Siehe APICS Dictionary, 2005, S. 36 zur Definition des Begriffes „efficiency".

$$KAP_{max} = Min\{KAPV_{BM}; KAPN_{PE}\} = L_{max} \qquad \textbf{(Gl. 2-3)}$$

mit

KAP_{max}	Maximal verfügbare Kapazität eines Arbeitssystems [h / Periode oder ME / Periode],
L_{max}	Maximal mögliche Leistung eines Arbeitssystems [h / Periode oder ME / Periode].

Der Vollständigkeit wegen soll hier auch noch die Bestimmungsgleichung für die Auslastung angegeben werden. Obwohl hier formal die Möglichkeit besteht, getrennte Werte für die Auslastung der Betriebsmittelkapazität und die der Personalkapazität anzugeben, ist im Hinblick auf eine gezielte Steuerung der Auslastung ausschliesslich die durch Gleichung 2-3 gegebene maximale Kapazität von Relevanz.

$$A = \frac{L}{KAP_{max}} \qquad \textbf{(Gl. 2-4)}$$

mit

A	Auslastung [-]
L	Aktuelle Leistung [h / Periode oder ME / Periode].

Ferner zeigt Abbildung 2.16, dass die von einem Arbeitssystem nachweisbar erbrachte oder zu erbringende Leistung kleiner sein muss als die maximal mögliche Leistung. Insbesondere für Nicht-Engpass-Arbeitssysteme gilt, dass es nicht möglich und auch nicht notwendig ist, eine dauerhaft hohe Auslastung zu erzielen. Mit der Festlegung einer *taktischen Unterlast* können längere Wartezeiten und Durchlaufzeitschwankungen begrenzt werden. Die so gewählte Kapazität eines Arbeitssystems wird in der Literatur zum Teil auch *verplanbare Kapazität* genannt.[1] Wie hoch eine taktische Auslastungsreduktion sinnvollerweise ausfallen sollte, ist von der spezifischen Leistungscharakteristik eines Arbeitssystems abhängig, die zum Beispiel aus einer individuell ermittelten Kennlinie hervorgeht. Arbeitet ein Produktionssystem an der Kapazitätsgrenze, ist es ausreichend, wenn durch eine geeignete Fertigungsteuerung sichergestellt wird, dass in erster Linie der Kapazitätsengpass zu jedem Zeitpunkt mit einem ausreichenden Bestand an Arbeitsaufträgen versorgt ist, da dieser den Ausstoss des Gesamtsystems limitiert.

Schwankende Belastungssituationen, die in dieser Arbeit im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, können nun dazu führen, dass die grundsätzlich installierte maximal verfügbare Kapazität zeitweise oder auch länger andauernd überschritten wird. In diesem Fall ist zweifellos eine Kapazitätserhöhung notwendig. Unter Umständen ist dies aber auch schon früher in

---

[1] Vgl. dazu u.a. Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 676. In der englischsprachigen Literatur wird für diese, das tatsächlich zu erwartenden Ausstossniveau repräsentierende Kapazität der Begriff „rated capacity" verwendet. Andere Synonyme sind „calculated capacity" oder „effective capacity". Siehe dazu u.a. APICS Dictionary, 2005, S. 97.

Betracht zu ziehen, nämlich genau dann, wenn ein steigender Bedarf dazu führt, dass sich die zu erbringende Leistung an einem oder mehreren Arbeitssystemen eines Produktionssystems ihrer maximal möglichen Leistung nähert. In einem solchen Fall kann zwar prinzipiell ein stabiler Zustand erhalten werden, die Betriebspunkte der betroffenen Arbeitssysteme bewegen sich auf der Leistungskennlinie möglicherweise sehr weit nach rechts, mit den oben bereits geschilderten Konsequenzen für Umlaufbestand und Durchlaufzeit. Umgekehrt kann der Rückgang der Belastung an einem im Übergangsbereich (vgl. Abbildung 2.15) betriebenen Arbeitssystem dazu genutzt werden, die vorgehaltene verfügbare Kapazität zum Beispiel durch den Abbau von Überstunden zu reduzieren. Geht man, wie in Kapitel 2.2.2 diskutiert, davon aus, dass die Belastung von Produktionssystemen direkt an Kundenaufträge geknüpft ist und damit weder im Umfang reduziert, noch nennenswert zeitlich verschoben werden kann, ist die Anpassung der Kapazität die verbleibende Möglichkeit, die Auslastung und damit Bestand und Durchlaufzeit etwa konstant zu halten.

Im folgenden Abschnitt sollen nun mögliche Massnahmen zur Kapazitätsanpassung beispielhaft und ohne den Anspruch auf Vollständigkeit sowie hohen Detaillierungsgrad genannt und strukturiert werden.

2.3.3 Massnahmen zur Kapazitätsanpassung

Unter der Annahme, dass die in Abschnitt 2.3.1 erwähnten sekundären Kapazitätsdeterminanten nicht begrenzend wirken, kann der Ausstoss eines Produktionssystems ohne weitere Einschränkung durch eine Veränderung von Betriebsmittel- und / oder Personalkapazität erreicht werden. In vielen Betrieben dominiert die Personalkapazität die maximal mögliche Leistung, da bestehende Arbeitszeitmodelle selten die gesamte zur Verfügung stehende Betriebsmittelkapazität ausnutzen. Dies ist in der Praxis vor allem bei wenig automatisierten, personalintensiven Produktionsprozessen, zum Beispiel in der Montage, der Fall. Beim Einsatz teurer, hochautomatisierter Produktionsanlagen mit relativ geringem Personalbedarf sind aus Gründen der Wirtschaftlichkeit oftmals längere Maschinenlaufzeiten üblich, so dass eine signifikante Kapazitätssteigerung unter Umständen nicht allein durch eine Erhöhung der nutzbaren Personalkapazität erreicht werden kann. Bei kontinuierlich betriebenen Produktionssystemen, dies sind beispielsweise grosse Chemieanlagen, Kraftwerke oder Raffinerien, bestimmt in erster Linie die Betriebsmittelkapazität den Produktausstoss.

Auf der Grundlage des zu Beginn dieses Kapitels formulierten Kapazitätsbegriffes können nun verschiedene Grundalternativen zur Kapazitätsveränderung benannt werden. Formal sind dies Möglichkeiten zur

- Veränderung der Intensität eines Produktionsprozesses,
- Verlängerung oder Verkürzung der Einsatzzeit innerhalb eines Betrachtungszeitraumes sowie
- Erweiterung oder Reduktion der Anzahl gleichartig eingesetzter Betriebsmittel bzw. Mitarbeiter.[1]

---

[1] Siehe dazu auch die Erläuterungen von Zäpfel G., Produktionswirtschaft, 1982, S. 10 f. zur quantitativen Kapazität.

Dabei sind die durch die Gleichungen 2-1 bis 2-3 beschriebenen Sachverhalte auch bei der gezielten Kapazitätsveränderung zu beachten. Dies bedeutet einerseits, dass eine Massnahme zur Veränderung der Betriebsmittelkapazität eine entsprechende Anpassung der Personalkapazität erforderlich machen kann und umgekehrt. Andererseits muss auch bei der Planung und Nutzung von Anpassungsmassnahmen eine Unterscheidung von theoretischem und verfügbarem bzw. nutzbarem Kapazitätsbeitrag vorgenommen werden.

Veränderung der Intensität von Produktionsprozessen

Der Produktionsausstoss pro Zeiteinheit (z.B. Stunde oder Schicht), der mit den gegebenen Mitteln dauerhaft aufrecht erhalten werden kann, wird hier als Produktionsgeschwindigkeit oder *Intensität* bezeichnet. Im Unterschied zur Definition der Kapazität, bei der Bezug auf einen festgelegten Zeitabschnitt genommen wird, unabhängig davon, ob das betrachtete Arbeitssystem im gesamten Zeitraum betrieben wird, ist hier die produzierte Menge pro Zeit im aktiven Zustand gemeint.

Wege zur Beeinflussung der Intensität können sowohl auf der Seite der Betriebsmittel sowie auch beim Personal bestehen. Häufig bieten getaktete Montageprozesse diese Möglichkeit der Kapazitätsanpassung. Eine mehr oder weniger stark gestufte Verkürzung der Taktzeit erlaubt eine relativ genaue Skalierung der Produktionskapazität. Da getaktete Prozesse allerdings eine genaue Abstimmung der einzelnen Tätigkeitsumfänge pro Arbeitsstation erfordern, ist eine Taktzeitverkürzung in der Regel mit einem zusätzlichen Mitarbeiterbedarf verbunden. In umgekehrter Weise bewirkt eine Verlängerung der Taktzeit eine Reduktion der Kapazität bei gleichzeitiger Freisetzung von Personal.

Auch mittels Rationalisierung können Steigerungen der Intensität erzielt werden, beispielsweise durch Parallelbearbeitung von Werkstücken oder durch die Entlastung der Arbeitskräfte von überflüssigen Routineaufgaben. Bei komplexen und arbeitsintensiven Arbeitsvorgängen kann zudem die personalseitige Intensität durch die Qualifizierung der Mitarbeitenden bzw. durch den gezielten Einsatz erfahrener Arbeitskräfte positiv beeinflusst werden.

Im Gegensatz zu den gebrachten Beispielen muss eine einfache Beschleunigung der Tätigkeitsabläufe durch eine Verkürzung von Vorgabezeiten für unveränderte Arbeitsinhalte kritisch betrachtet werden. Falls sich hier überhaupt signifikante Kapazitätssteigerungen erzielen lassen, handelt es sich um ein ohnehin bestehendes Verbesserungspotenzial, das losgelöst von einem zusätzlichen Kapazitätsbedarf erschlossen werden sollte. Darüber hinaus muss in Betracht gezogen werden, dass eine erhöhte Leistungsanforderung an die Produktionsmitarbeiter unter Umständen zu Einbussen bei der erreichten Produktqualität führt. Ein scheinbarer Kapazitätsgewinn kann so schnell wieder verloren sein.

Verlängerung / Verkürzung der Einsatzzeit

Mit dem Begriff der Einsatzzeit ist der Zeitraum der Nutzung von Betriebsmitteln bzw. die Dauer der Tätigkeit des Personals innerhalb des für die Kapazitätsbetrachtung gewählten Bezugszeitraums gemeint. Hierfür typische Massnahmen beziehen sich häufig auf die Veränderung der Personal-Arbeitszeiten, wodurch als logische Folge auch die Nutzung der Betriebsmittel beeinflusst wird bzw. umgekehrt, bei einer Verlängerung der Einsatzzeit entsprechende Reserven bestehen müssen. Einfache Beispiele für Möglichkeiten zur Kapazitätserhöhung sind Überstunden oder Wochenend-Zusatzschichten. Ein Kapazitätsabbau

kann entsprechend durch Arbeitszeitverkürzungen oder Freischichten realisiert werden. Allerdings sind hierbei zumeist verschiedene gesetzliche und betriebliche Vereinbarungen zu beachten, die unter anderem die tägliche und wöchentliche Arbeitsdauer begrenzen.

Inzwischen haben sich in der Praxis vielfach Arbeitszeitregelungen durchgesetzt, die auf einen Ausgleich von Überzeiten durch Freizeit setzen und damit bei langfristiger Betrachtung gar keinen Kapazitätsbeitrag bieten, sondern die Personalkapazität lediglich bedarfsgerecht verschieben. Abweichungen zwischen der erbrachten und der vereinbarten Durchschnittsarbeitszeit werden auf einem Arbeitszeitkonto verrechnet, das in festgelegten Zeitabständen ausgeglichen werden muss. Dieses Prinzip, das in verschiedenen Ausgestaltungsformen ein mehr oder weniger grosses Vertrauensverhältnis zwischen Unternehmen und Mitarbeitern voraussetzt, hat sich in der Praxis vielfach bewährt. Dies bestätigt unter anderem eine Studie des FRAUNHOFER INSTITUTS FÜR SYSTEMTECHNIK UND INNOVATIONSFORSCHUNG. Danach nutzten bereits 1997 mehr als die Hälfte der befragten Betriebe aus dem Bereich der Investitionsgüterindustrie in Deutschland flexible Arbeitszeitmodelle mit einem monatlichen oder jährlichen Ausgleichshorizont.[1]

Generell kann die Nutzungsdauer von Betriebsmitteln durch eine Erhöhung bzw. Reduzierung der Anzahl der Wochenschichten variiert werden. Soll dies jedoch über längere Zeiträume aufrecht erhalten werden, sind zusätzliche Arbeitskräfte erforderlich. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Arbeit im 3- oder sogar im rollierenden 4-Schicht-Betrieb, also unter Einbeziehung der Wochenenden, für die betroffenen Mitarbeiter mit zusätzlichen Belastungen verbunden ist. Dies bedeutet, dass es schwierig sein kann, qualifizierte Arbeitskräfte mit der Bereitschaft zur Schicht- und Nachtarbeit zu finden. Hinzu kommen Schichtzuschläge für Nacht- und Wochenendarbeit. Vor allem aber muss berücksichtigt werden, dass ein Wechsel zum Beispiel von 10 auf 15 und mehr Schichten pro Woche entsprechend lange Vorbereitungszeiten benötigt.

Erweiterung / Reduktion bei Personal und Betriebsmitteln

Die Erhöhung oder Reduktion der Anzahl gleichartig eingesetzter Maschinen und Anlagen sowie der Mitarbeiterzahl entspricht der am meisten naheliegenden Art und Weise der Kapazitätsanpassung. Die Anschaffung von Produktionsausrüstung oder die Einstellung bzw. der Abbau von Mitarbeitern ist dabei in der Regel die nachhaltigste Form der Kapazitätsveränderung, was jedoch nicht in jedem Fall gewünscht ist. Entsprechend sind heute eine ganze Reihe verschiedener Möglichkeiten bekannt und im Einsatz, die nur eine zeitweilige Nutzung von zusätzlichem Equipment und Personal bzw. deren temporäre Freisetzung für andere Produktionsaufgaben vorsehen. Bei den Betriebsmitteln reicht dies von der vorübergehenden Nutzung benachbarter Maschinen (beispielsweise in umliegenden Betrieben des gleichen Unternehmens), über das Leihen oder Leasen von Ausrüstung bis hin zu Betreibermodellen[2]. Auch die in manchen Literaturquellen als Mittel zur Belastungsreduzierung ein-

---

[1] Siehe Lay G. / Mies C., Produktionsinnovationserhebung, 1997.

[2] Der Begriff des Betreibermodells steht für ein modernes Dienstleistungskonzept von Produktionsausrüstern für produzierende Betriebe. Dabei wird die traditionelle Geschäftsbeziehung zwischen beiden, die bisher durch Kauf, Besitz und Einsatz von Produktionsausrüstung geprägt war, durch den Erwerb der Nutzungszeit ersetzt. Einen guten Überblick über Möglichkeiten zur Ausgestaltung von Betreibermodellen gibt Lay G. et al., Betreiben statt verkaufen, 2003.

geordnete temporäre Fremdvergabe von Produktionsaufträgen soll hier als Massnahme zur Erweiterung der Personal- und Betriebsmittelkapazität angesehen werden.[1]

Tatsächlich eignet sich ein gezieltes Outsourcing, also das Vergeben von Wertschöpfungsanteilen an Betriebe, die nicht zum eigenen Unternehmen gehören, sehr gut zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen. Dies kann genau dann gelingen, wenn Produktionsaufträge auch in einer durchschnittlichen Belastungssituation an den Outsourcing-Partner vergeben werden. Erst bei einem für einen längeren Zeitraum zurückgehenden Kapazitätsbedarf werden die eigenen Arbeitssysteme durch den sonst abgegebenen Produktionsumfang ausgelastet. Im Falle eines steigenden Kapazitätsbedarfes wird der Outsourcing-Anteil, falls notwendig und möglich, erhöht.

Zu beachten ist dabei allerdings, dass das Partnerunternehmen möglicherweise eine gewisse Vorbereitungszeit benötigt, um zusätzliche Produktionsaufträge anzunehmen. Hinzu kommt, dass eine Fremdvergabe in zahlreichen Fällen für die beteiligten Unternehmen nur dann wirtschaftlich ist, wenn ein bestimmtes Mindest-Produktionsvolumen abgegeben wird. Auf der Seite der Personalkapazität ist vor allem der Einsatz von Zeitarbeitskräften eine verbreitete Alternative zur temporären Anpassung des Mitarbeiterbestandes. Daneben bieten jedoch besonders befristete inner- und ausserbetriebliche Umsetzungen grosse Vorteile, da der Aufwand zur Einarbeitung möglicherweise geringer ist bzw. erfahrene Mitarbeiter nicht verloren gehen, sondern von den zusätzlichen Arbeitserfahrungen in anderen Unternehmensbereichen oder Betrieben vielleicht sogar profitieren.[2]

---

[1] Ein detailliertes Konzept zur kapazitätsbedingten bzw. engpassorientierten Fremdvergabe wird in Windt K., Engpassorientierte Fremdvergabe, 2001 vorgeschlagen.

[2] Ein erfolgreiches Beispiel für einen Mitarbeiteraustausch über Unternehmensgrenzen hinweg bei einem Hersteller von Produktionsausrüstung für die Halbleiterindustrie wird in einer Fallstudie in Ziegenbein A. / Nienhaus J., Supply Chain Risks, 2004 kurz beschrieben.

Zusammenfassend sind die oben genanten Beispiele für Massnahmen zur Kapazitätsanpassung noch einmal in Tabelle 2.4 aufgeführt.

	Betriebsmittel	Personal
Intensität	▪ Verkürzung oder Ausdehnung der Taktzeit in mehrstufigen, getakteten Montageprozessen ▪ Rationalisierung (z.B. Parallelbearbeitung oder Erhöhung der Belegungsdichte in Härteöfen)	▪ Qualifizierung von Personal bzw. Einsatz von erfahrenen Mitarbeitern ▪ Rationalisierung (z.B. Entlastung der Arbeitskräfte von Routineaufgaben)
Einsatzzeit	▪ Zusatzschichten und Schichtverlängerung ▪ Wechsel zwischen verschiedenen Formen des Schichtbetriebes (2-, 3- oder rollierender 4-Schichtbetrieb) ▪ Reduzierung von Ausfallzeiten	▪ Arbeitszeitmodelle mit Zeitkonten und Freizeitausgleich ▪ Verkürzung oder Verlängerung der betrieblichen Jahresöffnungszeit (Betriebsferien) ▪ Bezahlte Überzeiten
Erweiterung / Reduzierung	▪ Zeitweilige Nutzung benachbarter Maschinen und Anlagen ▪ Leihen oder leasen von Produktionsausrüstung oder Nutzung von Betreibermodellen ▪ In- / Outsourcing ▪ Investition in zusätzliche Anlagen	▪ Beschaffung oder Rückgabe von Zeitarbeitskräften ▪ Inner- oder ausserbetriebliche Umsetzung von Arbeitskräften ▪ Einstellung oder Abbau von Mitarbeitern

Tab. 2.4: Beispiele für Möglichkeiten zur Anpassung von Betriebsmittel- und Personalkapazität durch Veränderung der Intensität, zeitlichen Nutzung oder durch Erweiterung

Damit zeichnet sich bereits an dieser Stelle eine betriebliche Entscheidungs- und Planungsproblematik ab. Diese besteht zunächst darin, in bestimmten Bedarfssituationen geeignete Alternativen zur Kapazitätsanpassung aus einem im Einzelfall mehr oder weniger grossen Portfolio verfügbarer Massnahmen auszuwählen und zu implementieren. Dies wird um so deutlicher, wenn man die Verschiedenartigkeit der Bedarfsunsicherheiten bezüglich Typ und Eintrittsfrist in Betracht zieht. Es scheint sogar naheliegend, dass verschiedene Schwankungsereignisse nicht zwangsläufig mit den selben, sondern mit jeweils spezifischen Anpassungsmassnahmen bzw. Massnahmenkonfigurationen am besten zu beherrschen sind. Dies gilt besonders dann, wenn neben der Kapazitätsänderung und deren Zeitpunkt auch der finanzielle Aufwand einer Anpassung in die Entscheidungsfindung einbezogen wird.

2.4 Planung flexibler Produktionskapazitäten

Flexibilität in verschiedenen Ausprägungsformen und insbesondere die der Produktionskapazität kann nicht als grundsätzlich gegeben angesehen werden. Vielmehr ist ihre gezielte Bereitstellung sowie die effiziente Nutzung das Ergebnis eines in der Regel mehrstufigen Planungsprozesses. Dieser verläuft jedoch keinesfalls unabhängig, sondern ist eindeutig als Bestandteil einer integrierten Systematik des *Wertschöpfungsmanagements* anzusehen, dass auf die umfassende Gestaltung und Lenkung der Mehrwert schaffenden Tätigkeit eines Unternehmens oder Unternehmensbereiches ausgerichtet ist.[1]

2.4.1 Flexibilität als Teilaspekt des Wertschöpfungsmanagements

Anhand eines in der Literatur regelmässig verwendeten, einfachen Modells, das die Produktion als Transformationsprozess auffasst, können wesentliche Aufgabenbereiche im Wertschöpfungsmanagement identifiziert werden.[2] Bei dem in Abbildung 2.17 dargestellten Modell wird aus einem Input, den *Produktionsfaktoren*, durch einen Produktionsprozess ein Output erzeugt, bei dem es sich wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert, um Sachgüter und / oder Dienstleistungen handeln kann. Neben diesen gewünschten Produkten können auch Neben- oder Abfallprodukte anfallen, die in den Produktionsprozess zurückgeführt oder entsorgt werden müssen. Der Begriff der Produktionsfaktoren umfasst verschiedene Kategorien von Sachgütern und Leistungen, die zur Erzeugung des Outputs erforderlich sind. Eine auf GUTENBERG zurückgehende Einteilung der Produktionsfaktoren unterscheidet *Elementarfaktoren*, zu denen die Leistungen von Arbeitskräften, die Betriebsmittel sowie die benötigten Einsatz- und Hilfsmaterialien gehören. Letztere werden auch als Repetier- oder Verbrauchsfaktoren bezeichnet. Hinzu kommen sogenannte *dispositive Faktoren*, die im Sinne leitender und planender Aktivitäten für eine geeignete Kombination der Elementarfaktoren zur Leistungserstellung sorgen.[3]

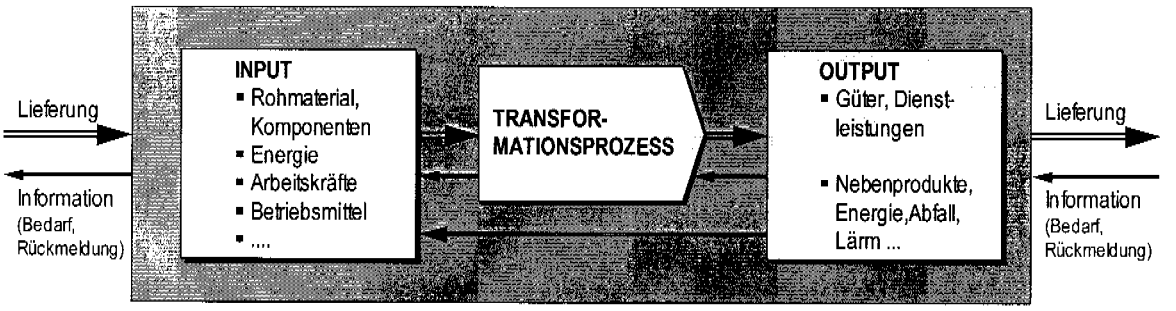


Abb. 2.17: Darstellung der Produktion als Transformationsprozess in einem Input-Output-Modell (In Anlehnung an Schönsleben, Logistikmanagement, 2004, S. 9.)

---

[1] Der Begriff des Wertschöpfungsmanagements umfasst dabei die funktionalen Bereiche Beschaffung, Produktion und Absatz (Siehe Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 8 f.).

[2] Siehe hierzu u.a. Hoitsch H.-J., Produktionswirtschaft, 1993, S. 1, Zäpfel G., Logistikmanagement, 2001, S. 2 oder Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 8 f.

[3] Vgl. Gutenberg E., Betriebswirtschaftslehre, 1967, S. 3 ff., aber auch Zäpfel G., Produktionswirtschaft, 1982, S. 3 und Hoitsch H.-J., Produktionswirtschaft, 1993, S. 2.

Daran anknüpfend können drei wesentliche Aufgabenbereiche des Wertschöpfungsmanagements bestimmt werden. Dies ist zunächst die Konzeption und Planung von betrieblichen Leistungsumfängen, also Produkten und Dienstleistungen, die potenziellen Kunden angeboten werden sollen (Produktionsprogramm). Hierzu gehören auch die Festlegung langfristiger Produktionsziele sowie kurz- und mittelfristige Entscheidungen zum tatsächlich herzustellenden Produkt-Mix.

Ein zweiter Aufgabenbereich ist die Auswahl und Planung von Technologien und Abläufen für den eigentlichen Transformationsprozess – die Produktion. Die hier getroffenen Entscheidungen haben zumeist erhebliche Auswirkungen auf die Flexibilität eines Produktionssystems und müssen mit der Output-Planung abgestimmt sein. So kann ein gewünschtes Produktspektrum möglicherweise nur dann wirtschaftlich realisiert werden, wenn der dabei entstehende Änderungs- oder Umrüstaufwand begrenzt ist. Dies wiederum ist abhängig von den eingesetzten Technologien bei den Betriebsmitteln und von der Qualifikation des Personals.

Der dritte wichtige Aufgabebereich befasst sich mit der Planung der Produktionsfaktoren. Darin nehmen ganz besonders die Planung der Versorgung mit Rohmaterial und Komponenten sowie die Bereitstellung von Betriebsmitteln, betrieblicher Infrastruktur, Standorten und nicht zuletzt von Personal breiten Raum ein. Auch hier sind einerseits langfristige Rahmenbedingungen festzulegen – zum Beispiel die Entwicklung von Produktionsstandorten oder die Auswahl von Zulieferern. Andererseits muss jedoch auch kurz- und mittelfristig für eine effiziente Nutzung der vorhandenen Ressourcen gesorgt werden.[1]

Letztlich führt eine weitergehende Detaillierung der oben genannten Aufgabenbereiche zu einer Vielzahl unterschiedlicher Planungsfragestellungen, die oftmals miteinander verzahnt zu bewältigen sind. Die bereits angedeutete zeitliche Differenzierung der Aufgaben spielt dabei eine wichtige Rolle, da sie vor allem eine grobe Reihenfolge der zu beantwortenden Planungsfragestellungen festlegt. Die zeitliche Differenzierung kann nach der vielfach üblichen Einteilung in kurz-, mittel- und langfristige Planungsebenen erfolgen. Die chronologische Abfolge von Planungsaktivitäten ist dabei häufig (aber nicht zwingend) an eine hierarchische Koordination geknüpft. Die Begründung liegt in der in Unternehmen, aber auch anderen Organisationen gängigen Praxis, der zufolge die auf übergeordneten Hierarchiestufen getroffenen Planungsentscheide von einer zunehmend langfristigen Relevanz für das künftige Geschehen sind. Gleichzeitig wird damit der Handlungsrahmen für die jeweils untergeordneten Hierarchiestufen festgelegt.[2] Planungsebenen, die in einem hierarchischen Verhältnis zu einander stehen, werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur üblicherweise in *strategische* und *operative* Ebenen unterteilt.

Durch eine Anwendung dieser Unterteilung der Planungsebenen auf den Themenbereich der Produktionsflexibilität und speziell auf die in dieser Arbeit im Mittelpunkt stehende Flexibilität der Produktionskapazität kann eine strategische und eine operative Flexibilitätsplanung unterschieden werden. Einige Autoren ziehen darüber hinausgehend eine *taktische* (ZÄPFEL, CORSTEN) Planungs- bzw. Handlungsebene in Betracht. Als taktische Planung wird zumeist die inhaltliche Konkretisierung von Zielen und Vorgaben bezeichnet, die auf der strategischen

---

[1] Ausführlicher dazu u.a. Hoitsch H.-J., Produktionswirtschaft, 1993, S. 33 ff. und Zäpfel G., Produktionswirtschaft, 1982, S. 37 ff.

[2] Siehe dazu stellvertretend für andere Corsten H., Produktionsmanagement, 1994.

Planungsebene festgelegt wurden.[1] Auf diese weitergehende Unterscheidung soll im vorliegenden Kontext jedoch verzichtet werden, da sie im Hinblick auf die Planung und den Einsatz flexibler Produktionskapazitäten keinen wesentlichen Mehrwert bietet und eher zu Abgrenzungsproblemen führt.

Damit ist es Aufgabe der strategischen Flexibilitätsplanung, auf der Basis langfristig festgelegter Unternehmens- und Produktionsziele geeignete *Flexibilitätspotenziale* zur Verfügung zu stellen, über deren möglichst effiziente Nutzung im Rahmen der operativen Flexibilitätsplanung zu entscheiden ist.[2] Unter einem Flexibilitätspotenzial soll dabei die Menge der verschiedenen, einsetzbaren Möglichkeiten und Fähigkeiten eines Produktionssystems zur zielgerichteten Reaktion auf innere und äussere Veränderungen verstanden werden. Konkret bedeutet dies, dass im Rahmen der strategischen Flexibilitätsplanung zunächst als Zielstellung festzulegen ist, welche Bedarfsunsicherheiten durch die Anpassung der Produktionskapazität kompensiert werden sollen. Auf dieser Basis muss anschliessend ein Portfolio verschiedener Anpassungsmassnahmen ausgewählt und bereitgestellt werden. Dazu gehört auch, dass zu treffende Investitionsentscheidungen geeignet bewertet werden müssen. Hierfür wurden in der jüngeren Vergangenheit verschiedene neuartige Ansätze entwickelt, die auf verschiedene Art und Weise die bestehende Unsicherheit im Hinblick auf künftige Nachfrageentwicklungen einbeziehen.[3] Dies soll jedoch an dieser Stelle nicht vertieft werden.

Auf der kurz- und mittelfristigen (operativen) Ebene ist schliesslich über den zielgerichteten Einsatz der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung zu bestimmen. Zur Anpassung an konkrete Bedarfsschwankungen, die entweder bereits bekannt sind oder zumindest erwartet werden, müssen geeignete Massnahmen aus dem bestehenden Massnahmen-Portfolio ausgewählt und aktiviert werden.

Die hierarchische Stufung ist im hier untersuchten Sachbezug weniger im Sinne einer Über- oder Unterordnung zu verstehen, sondern vielmehr als eine funktional-sachliche Abhängigkeit. Auch die zeitliche Differenzierung bezieht sich nicht auf eine sich gegenseitig ausschliessende Abfolge der Planungsebenen, sondern auf die Länge der betrachteten Perioden und die damit verbundene Gültigkeitsdauer der getroffenen Entscheidungen. PFOHL bezeichnet dies in einem ähnlichen Zusammenhang als Koexistenz der Handlungs- bzw. Planungsebenen.[4] Entsprechend ist es notwendig, dass die im Rahmen der operativen Kapazitätsanpassungsplanung erzielten Ergebnisse die strategische Flexibilitätsplanung beeinflussen. Abbildung 2.18 stellt diese Interaktion der strategischen und der operativen Flexibilitätsplanung zusammenfassend dar.[5]

---

[1] Siehe Zäpfel G., Produktionsmanagement, 2001, S. 48 ff.

[2] Siehe dazu auch Pibernik R., Flexibilitätsplanung, 2001, S. 50.

[3] Beispiele für innovative Konzepte zur monetären Bewertung von Investitionen in Flexibilität von Betriebsmitteln sind in Bürkner S. et al., Flexibility evaluation, 2005 (Erweiterung des Net Present Value - Ansatzes durch gewichtete Bedarfsszenarien) sowie in Damisch P.N., Wertorientiertes Flexibilitätsmanagement, 2002 (Bewertung mit Hilfe von Realoptionen) zu finden.

[4] Vgl. Pfohl H.-C., Logistikmanagement, 2004, S. 31.

[5] Vgl. dazu auch Corsten H., Produktionsmanagement, 1994 und Hoitsch H.-J., Produktionswirtschaft, 1993, S. 34.

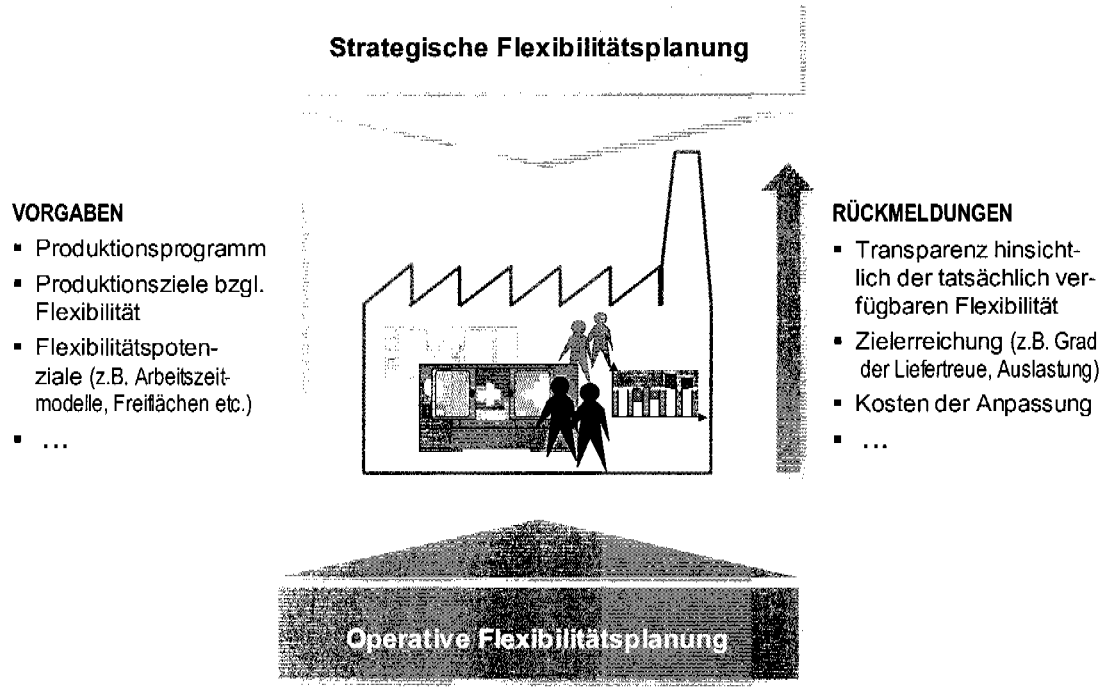


Abb. 2.18: Koordination der Planungsebenen zur Bereitstellung und Nutzung flexibler Produktionskapazitäten

Mit den bereits in der Einleitung und zum Abschluss des Abschnittes 2.3 formulierten Fragestellungen zur Realisierung einer zeitlich hinreichenden und monetär effizienten Anpassung der Produktionskapazität liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit eindeutig im Bereich der *operativen* Flexibilitätsplanung. In den beiden folgenden Unterkapiteln soll daher im Sinne eines kurzen Überblicks untersucht werden, wie die Flexibilität der Produktionskapazität im Ablauf der Produktionsplanung berücksichtigt wird und welche Hilfsmittel derzeit zur Planung der Kapazitätsanpassung zur Verfügung stehen.

2.4.2 Produktionsplanung und Kapazitäts-Flexibilität

Die Entscheidung, welche Produktionskapazitäten in welchen Zeitperioden erforderlich sind, erfolgt üblicherweise im Rahmen der *Planung und Steuerung* der Produktion. Die Produktionsplanung umfasst eine Vielzahl von Teilprozessen, deren Aufgabe es ist, die Nachfrage des Kunden bzw. nachgeordneter Produktionsstufen zu erkennen, Mengenbedarfe zu ermitteln, in Produktionsaufträge umzusetzen, diese zu terminieren und mit der Verfügbarkeit an Ressourcen abzugleichen. Die Steuerung realisiert die Ergebnisse der Planung unter zwangsläufiger Berücksichtigung von unvermeidbaren Änderungen bei Mengen und / oder Terminen sowie Störungen, die zum Beispiel in Form von Ausfällen bei Personal oder Betriebsmitteln oder auch durch fehlendes Material verursacht werden können. Da eine Reihe von Planungsentscheidungen bereits lange vor einer konkreten Kundenanfrage oder -bestellung zu treffen sind, erfolgt die Planung häufig in mehreren, aufeinander aufbauenden Stufen. Diese können entsprechend der jeweils betrachteten Zeithorizonte (lang- und mittelfristige Planung, kurzfristige Planung und Steuerung) eingeteilt oder auch nach der

Granularität der genutzten Eingangsinformationen und der erzeugten Plandaten (Grob- und Detailplanung) unterschieden werden.[1]

Ziel der langfristigen Planung, die auch als Programm- oder Hauptplanung bezeichnet wird, ist die Abschätzung der möglichen Nachfrage in künftigen Perioden sowie daraus abgeleitet, den Bedarf an Produktionsfaktoren, also Personal, Betriebsmittel, Material usw., grob zu bestimmen. Hierzu kann auch die im voranstehenden Unterkapitel kurz erläuterte strategische Flexibilitätsplanung gezählt werden. In der mittelfristigen Planung werden die Planungsinformationen detailliert und präzisiert. Dabei geht es vor allem darum, die künftige Nachfrage periodengenau zu erfassen und daraus den Bedarf an Zukaufteilen und Eigenfertigung im Zeitverlauf zu bestimmen. Daran schliesst sich eine Gegenüberstellung von benötigten und verfügbaren Kapazitäten an. Falls diese nicht übereinstimmen, sind Massnahmen einzuleiten, durch die entweder die Kapazität verändert oder Termine für bestimmte Produktionsvolumina verschoben werden. In der Literatur wird dieser Prozess häufig auch als *Kapazitätsabgleich* bezeichnet. In der kurzfristigen Planung und Steuerung erfolgt schliesslich die Abwicklung konkreter Produktionsaufträge. Dazu müssen das zugekaufte Material physisch beschafft, Produktionskapazitäten gegebenenfalls kurzfristig angepasst und die Herstellung als eigentlicher Wertschöpfungsprozess gesteuert werden.

Damit wird deutlich, dass auf allen Planungsstufen ein im Grundsatz ähnlicher Ablauf zu gewährleisten ist (siehe Abbildung 2.19). Darin werden in einem ersten Schritt aus der Kenntnis oder Abschätzung der künftigen Nachfrage Mengenbedarfe für Produktion und Beschaffung ermittelt und anschliessend auf in der Zukunft liegende Planungsperioden[2] verteilt. In der Regel steigt die Genauigkeit der Terminierung mit der zunehmenden Nähe zum tatsächlichen Liefertermin. Der sich durch die Terminplanung ergebende Kapazitätsbedarf pro Periode muss schliesslich mit der verfügbaren Kapazität abgeglichen werden.

Die Darstellung in Abbildung 2.19 entspricht im wesentlichen dem Grobablauf der Produktionsplanung im *MRPII-Konzept*.[3] Die im Hinblick auf die Flexibilität der Kapazität wichtigsten Teilprozesse sind das Termin- und das Kapazitätsmanagement. Beide sind eng miteinander verknüpft. Die wesentliche Aufgabestellung der Terminplanung, die in der Literatur im kurz- und mittelfristigen Bereich auch *Durchlaufterminierung* genannt wird, ist die Beantwortung der Frage, wann ein Produktionsauftrag auf welcher Produktionsstufe zur Ausführung ge-

---

[1] Siehe dazu ausführlich Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 199 ff. Die in den nachfolgenden Absätzen angeführten Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen zur Planung und Steuerung entstammen im wesentlichen der gleichen Quelle.

[2] Mit dem Begriff der Planungsperiode ist ein Zeitintervall (z.B. BKT, Woche, Monat usw.) gemeint, für das ein Bedarf oder eine Kapazität bestimmt bzw. gemessen wird, ohne Bedarfs- oder Bereitstellungszeitpunkte weiter zu unterscheiden. Begriffliche Synonyme sind Statistikperiode oder Beobachtungsintervall.

[3] Die Abkürzung MRPII steht für „Manufacturing Ressource Planning", eine Menge von Methoden zur effektiven Planung aller Ressourcen eines produzierenden Unternehmens. Sie ist Teil des *ERP-Konzepts* („Enterprise Ressource Planning"), das über die Produktions- und Ressourcenplanung hinaus insbesondere Konzepte und Prozesse zur Abwicklung des Finanz- und Rechnungswesens sowie zum Personalmanagement umfasst. Siehe hierzu APICS Dictionary, 2005, S. 66 und Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 197 f.

langen muss, wenn ein spätester Endtermin gegeben ist. Ergebnis der Terminierung ist schliesslich ein Kapazitätsbedarf, der je nach Granularität und Fristigkeit für einen Produktionsbereich in Produktmenge pro Periode oder als Belastung in Stunden pro Periode für ein Arbeitssystem – dem *Belastungsprofil* – vorliegen kann.[1]

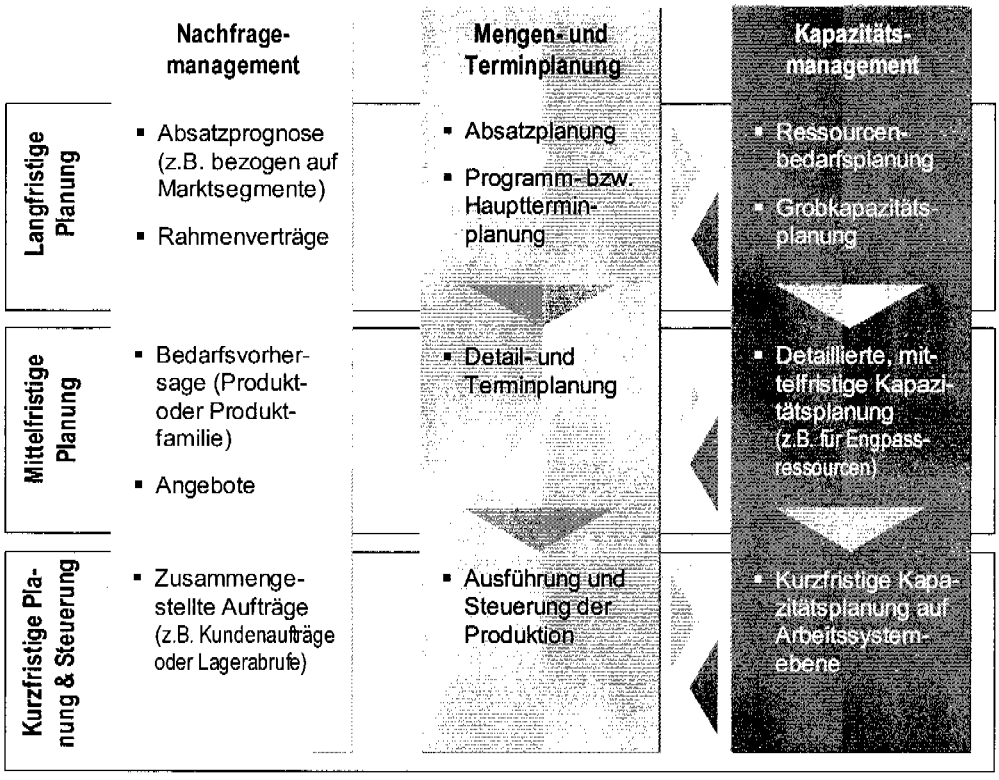


Abb. 2.19: Planungs- und Steuerungsprozesse in der Produktion, unterschieden nach ihren Fristigkeit (In Anlehnung an Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 209.)

Stimmt die terminierte Belastung in einer oder mehreren Perioden des betrachteten Planungshorizontes nicht mit dem Kapazitätsangebot überein, bestehen im Grundsatz drei unterschiedliche Reaktionsmöglichkeiten, die im Rahmen des Kapazitätsabgleichs eingesetzt werden können (vgl. Abbildung 2.20). Dies ist einmal die Veränderung der Belastung, zum Beispiel durch das Zurückweisen eines Produktionsauftrages. Eine zweite, typischerweise im kurzfristigen Bereich eingesetzte Alternative ist die zeitliche Verschiebung von Produktionsaufträgen oder von Terminen für einzelne Arbeitsgängen an Engpass-Arbeitssystemen. Der dritte, hier im Mittelpunkt stehende Weg ist die Anpassung der Produktionskapazitäten.

[1] Dazu detailliert Wiendahl H.-P., Fertigungsregelung, 1997, S. 16 ff., Mertens P., Informationsverarbeitung, 2000, S. 164 ff. oder Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 642 ff. u. S. 680 ff.

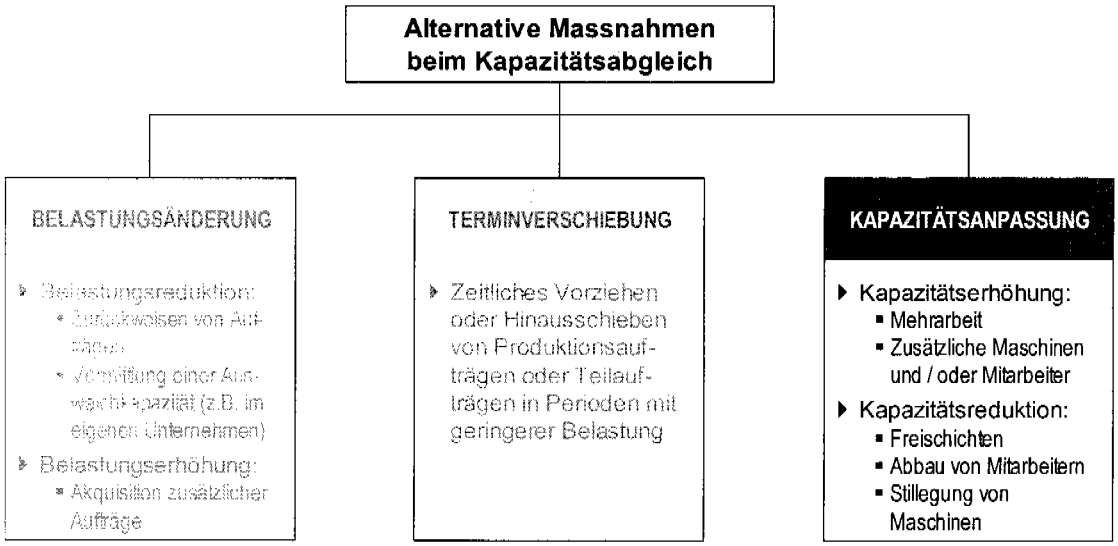


Abb. 2.20: Mögliche Handlungsalternativen bei fehlender Übereinstimmung von Belastung und Kapazitätsangebot

Während die zuerst genannte Lösungsmöglichkeit, die Belastungsanpassung, in vielen praktischen Fällen möglicherweise schwierig zu realisieren ist (Belastungserhöhung) oder sogar unbedingt vermieden werden soll (Zurückweisung von Aufträgen), spielt die Terminverschiebung in der Produktionsplanung eine wichtige Rolle. Bei der Planung in die begrenzte Kapazität und feststehenden Auftragsendterminen haben Planungsalgorithmen in der Regel das Ziel, Auftragsstart- und -endtermine so lange zu verschieben, dass ein im Sinne der Machbarkeit funktionierender Produktionsplan erreicht wird. Je näher allerdings der früheste Auftragsstarttermin am spätesten Auftragsendtermin liegt und je geringer die Flexibilität des letzteren ist, beispielsweise aufgrund vertraglicher Vereinbarungen mit dem Kunden (vgl. Kapitel 2.2), desto grösser ist das Risiko, dass eine Umterminierung zu einer verspäteten Lieferung führt. Die flexible Kapazitätsanpassung, zu der ausdrücklich auch Massnahmen zur Kapazitätsreduzierung zu zählen sind, bietet hierzu eine Alternative, die jedoch in der Regel mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Dennoch gewinnt sie auf allen Stufen der Produktionsplanung, gerade auch im kurzfristigen Bereich, immer weiter an Bedeutung. Um eine gezielte Planung und Terminierung einzelner Anpassungsmassnahmen vornehmen zu können, müssen diese differenziert erfasst und berücksichtigt werden. Allerdings wird dieser Aspekt im MRPII-Konzept nicht bzw. in seiner praktischen Anwendung bestenfalls intuitiv beachtet. Dieses Defizit spiegelt sich auch in den meisten Software-Werkzeugen wieder, die heute zur Planung und Steuerung oder zur Analyse von Produktionsprozessen eingesetzt werden.

2.4.3 Werkzeuge und Hilfsmittel zur Planung und Analyse flexibler Kapazitäten

Aufgrund der Vielzahl der heute existierenden Konzepte und Softwaresysteme, die zur Unterstützung von Produktionsplanungsprozessen im weitesten Sinne angeboten werden, ist es kaum realisierbar einen vollständigen Überblick zu erlangen. Zudem würde ein Versuch, dies hier umfassend zu diskutieren, den Umfang der vorliegenden Arbeit in wenig sinnvoller Weise ausdehnen. Für eine rasche Übersicht werden deshalb im folgenden lediglich Ziele und Grobabläufe von Werkzeugen und Hilfsmitteln diskutiert, die mit der Kapazitätseinsatzplanung in Zusammenhang stehen.

Werkzeuge zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS) nach dem MRPII-Konzept

Grundsätzliche Zielsetzung der PPS ist es, von Kunden oder nachfolgenden Stufen einer Lieferkette bestellte Produkte in der richtigen Menge, zum gewünschten Zeitpunkt abzuliefern. Dabei gilt es, bei der Einhaltung der konkurrierenden Ziele der Fertigungssteuerung – kurze Lieferzeiten, hohe Termintreue, hohe Auslastung und geringe Bestände – fallspezifisch sinnvolle Kompromisse zu finden[1]. Bereits im voranstehenden Abschnitt wurde erläutert, dass die operative Kapazitätsplanung im Rahmen des Kapazitätsabgleichs im Anschluss an die Durchlaufterminierung stattfindet. Abbildung 2.20 zeigt die mögliche Abfolge von Planungsschritten beim Kapazitätsabgleich im MRPII-Konzept.[2]

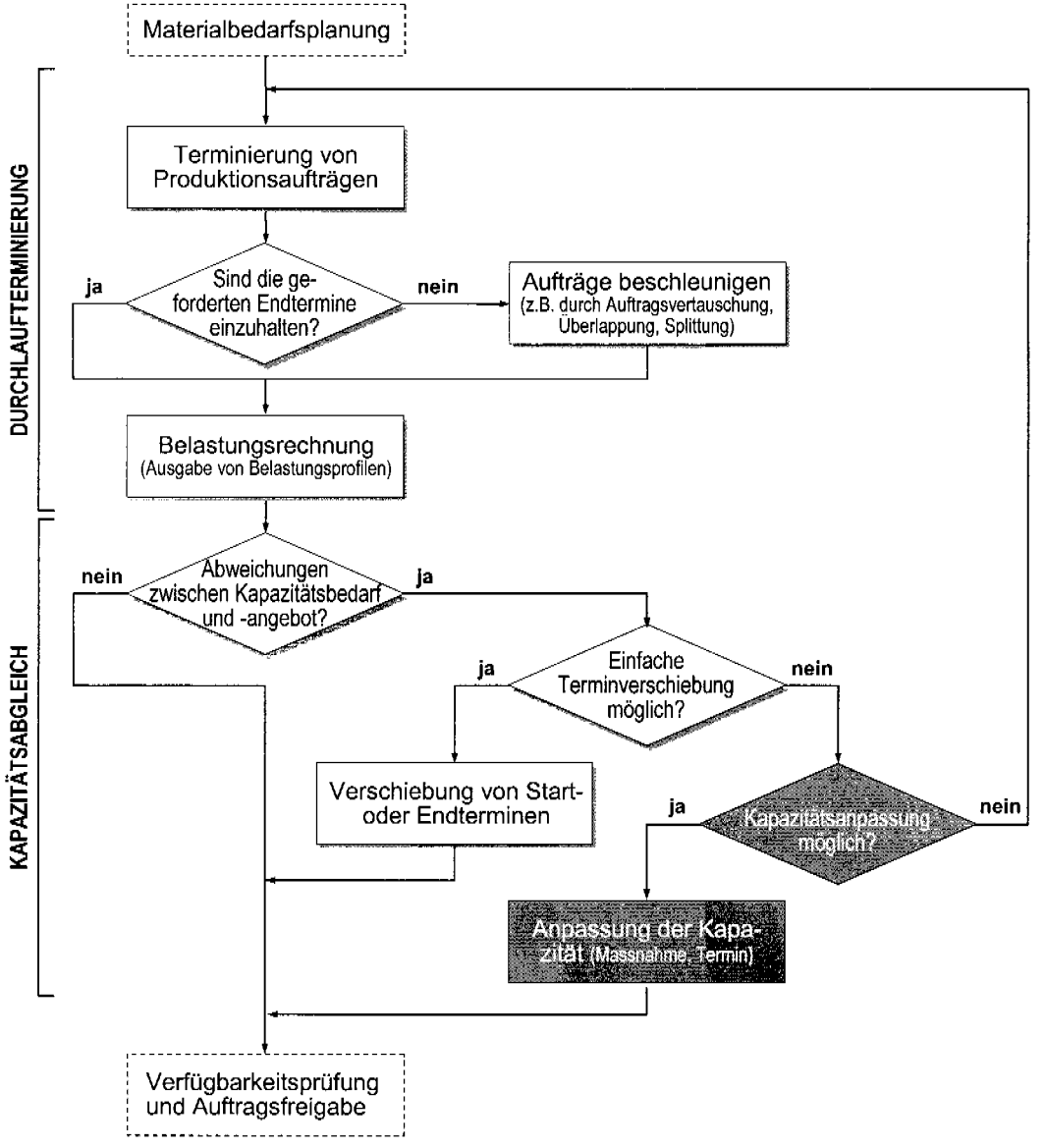


Abb. 2.21: Mögliche Ablaufschritte beim Kapazitätsabgleich im Termin- und Kapazitätsmanagement

[1] Vgl. Wiendahl H.-P., Fertigungssteuerung, 1997, S. 12.

[2] Vgl. dazu Schönsleben P., Informationsmanagement, 2001, S. 410 ff., Mertens P., Informationsverarbeitung, 2000, S. 164 ff. sowie Scheer A.-W., Wirtschaftsinformatik, 1995, S. 240 ff.

Die Durchführung des Kapazitätsabgleichs kann von Software-Werkzeugen in verschiedener Weise unterstützt werden. Ein möglicher Weg ist ein automatisierter Abgleich, bei dem geeignete Algorithmen Freiheitsgrade bei Kapazitäten und Terminen nutzen, um realisierbare Produktionspläne zu berechnen. Die quantitative Flexibilität der Kapazitäten wird dabei in der Regel in Form eines tolerierbaren Korridors für die Kapazitätsabweichung berücksichtigt.[1] Damit wird allerdings unterstellt, dass die mögliche Kapazitätsveränderung zu allen Zeitpunkten in der Zukunft gleich gross ist. Berücksichtigt man jedoch die Tatsache, dass den meisten Betrieben mehrere, unterschiedliche Anpassungsmassnahmen zur Verfügung stehen, müssen Kapazitätskorridore als grobe Vereinfachung angesehen werden, die der Realität im Betrieb unter Umständen nur in unzureichender Weise gerecht wird.

Nicht zuletzt aus diesem Grund und wegen der Vielzahl der gleichzeitig zu treffenden Entscheidungen (Terminverschiebung, Auswahl von Anpassungsmassnahmen und zeitliche Einplanung) scheint die Nutzung der menschlichen Intuition und Erfahrung besser geeignet zu sein, um sinnvolle Planungsresultate zu erzielen.[2] Der weltweite Marktführer im Bereich betrieblicher Planungs- und Steuerungssoftware SAP bietet in seinem Modul zur Kapazitätsplanung (PP-CRP) gleich zwei verschiedene Modi zur Durchführung des Kapazitätsabgleichs (PP-CRP-LVL) an – die graphische und die tabellarische Plantafel. In beiden Fällen werden Belastung und Kapazitätsangebot pro Periode in einem gewählten Planungshorizont[3] angezeigt, um den Anwender bei der Überprüfung und interaktiven Anpassung zu unterstützen. Das dabei zur Anwendung kommende Vorgehen entspricht in etwa der Darstellung in Abbildung 2.20. Eine gezielte Planung der Kapazitätsanpassung im Sinne einer Auswahl am besten geeigneter Massnahmen sowie eine Überprüfung der Effizienz der Anpassung unterstützten derartige Planungswerkzeuge jedoch nicht.

Werkzeuge zur kurzfristigen, detaillierten Planung

Im Gegensatz zur Grobplanung, die sich auf aggregierte bzw. grobe Geschäftsobjekte, zum Beispiel Fertigungsbereiche einschliesslich Personal, bezieht, werden bei der detaillierten Planung Ressourcen (Personal, Maschinen, Werkzeuge, Material, Hilfsstoffe etc.) häufig einzeln, zumindest aber mit einem deutlich erhöhten Detaillierungsgrad betrachtet. Die detaillierte Planung wird in der Praxis vielfach auch als *Feinplanung* bezeichnet. Sie erfolgt bevorzugt im kurzfristigen Bereich, wobei keine zwingende Verknüpfung von Detaillierungsgrad und Fristigkeit bestehen muss. [4]

---

[1] Siehe Mertens P., Informationsverarbeitung, 2000, S. 171.

[2] Vgl. Schönsleben P., Informationsmanagement, 2001, S. 416 und Mertens P., Informationsverarbeitung, 2000, S. 171.

[3] Im Gegensatz zu dem bereits weiter oben erläuterten Begriffes der Planungsperiode bezeichnet der *Planungshorizont* bzw. *-zeitraum* eine Zeitspanne in der Zukunft, für die eine Ermittlung von Bedarfen und Planung von Kapazitäten insgesamt durchgeführt wird. Typischerweise ist dies ein ganzzahliges Vielfaches der *Planungsperiode*.

[4] Siehe Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 201 ff. Beispiele für einen hohen Detaillierungsgrad in der langfristigen Planung finden sich in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Dort erfolgt die Einplanung von Produktionsaufträgen auf der Ebene einzelner Ressourcen (hier Reaktoren, Kristallisationsapparate, Trockner usw.) bereits 6 bis 24 und mehr Monate vor dem Liefertermin. Siehe u.a. Gottschalk L. / Scheidegger P., Kapazitätsplanung für Mehrzweckanlagen, 2004.

Ziel der Detailplanung ist es, die Vorgaben einer in der Planungshierarchie übergeordneten Planungsstufe umzusetzen. Unter der Bezeichnung *Manufacturing Execution Systems (MES)* wurde in der jüngeren Vergangenheit eine Gruppe von Software-Werkzeugen im Bereich der Detailplanung diskutiert, die als Bindeglied zwischen der Planung auf Unternehmens- oder Betriebsebene einerseits und der Steuerung und Kontrolle auf Maschinenebene andererseits fungieren. Zu den wesentlichen Funktionen, die von derartigen Systemen übernommen werden können, gehört die Planung von Produktionsreihenfolgen, die exakte Planung der Ressourcenbelegung und des Personaleinsatzes sowie die Erfassung und Rückmeldung von Betriebsdaten. Abbildung 2.22 zeigt schematisch, wie die Einbindung von MES in das Umfeld der betrieblichen Planungs- und Steuerungssysteme aussehen kann.

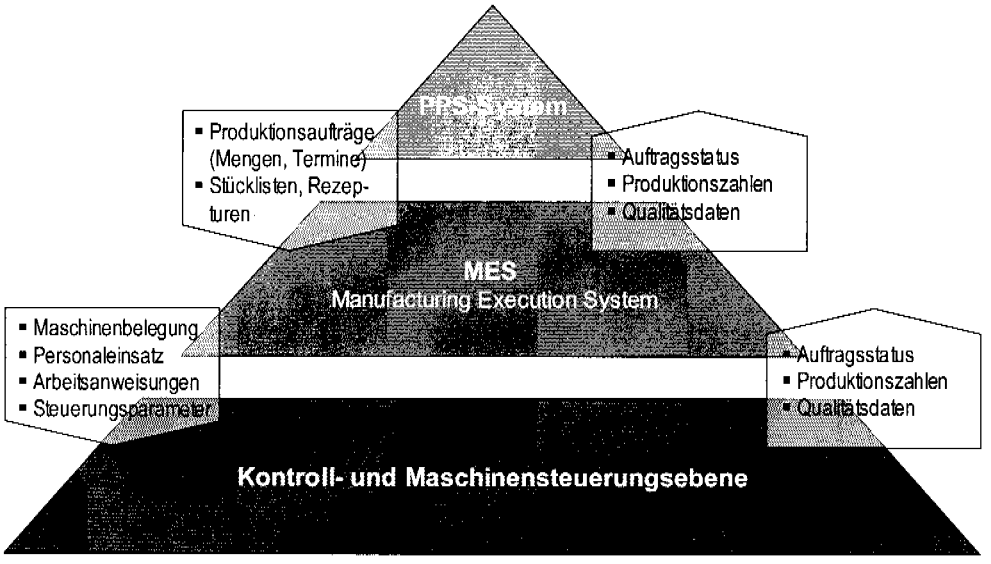


Abb. 2.22: Einbindung eines MES in die betrieblichen Planungs- und Steuerungssysteme (Quelle: Lange R., MES, 2004, mit geringen Änderungen)

Die Abgrenzung der Aufgabenverteilung zwischen den Planungsebenen ist allerdings fliessend bzw. fallspezifisch zu definieren. Tatsächlich reichen die Leistungsumfänge der angebotenen Softwaresysteme von relativ einfachen Plantafeln zur Ressourcenbelegung bis hin zur detaillierten Termin- und Reihenfolgeplanung einschliesslich Auftragsverfolgung mit Hilfe eines Fertigungsleitstandes.[1] Die dezentrale, produktionsnahe Abwicklung der Planungsaufgaben sowie die zumeist kurzen Planungshorizonte sorgen für eine hohe Aktualität der verwendeten Eingangsdaten – eine wichtige Stärke der Manufacturing Execution Systeme. Informationen zum augenblicklichen Status von Aufträgen, zur Verfügbarkeit von Personal und Betriebsmitteln oder zu kurzfristig eingetretenen Störungen können so direkt bei der Steuerung der Auftragsabwicklung berücksichtigt werden.

Im Zusammenhang mit der Planung des Personaleinsatzes und der Belegung von Werkzeugen, Maschinen oder Anlagen stellt sich – ähnlich wie im MRPII-Konzept – die Aufgabe des Abgleichs von Belastung und Kapazität. Mit Hilfe elektronischer Plantafeln können beide auf einem detaillierten Niveau dargestellt und durch das Eingreifen eines Planers verändert

[1] Siehe hierzu beispielsweise Gomersall R., Einführung von MES, 2004 oder Lange R., MES, 2004.

werden. Die in der Regel übliche Fokussierung auf einen kurzfristigen Planungshorizont im Bereich von Tagen oder wenigen Wochen bietet jedoch wenige Freiheiten für die gezielte Planung der Kapazitätsanpassung, da nur solche Anpassungsmassnahmen beachtet werden können, die innerhalb dieser kurzen Zeiträume aktivierbar sind. Entsprechend ist die Schaffung von Transparenz bzw. das Erkennen von Engpässen die wesentliche Zielstellung bei der konkreten Zuordnung von Ressourcen zur Abwicklung der Produktionsaufträge.[1]

Eine unbedingt erwähnenswerte Alternative zu Tabellen oder Balkendiagrammen bei der Gegenüberstellung von Kapazitätsbedarf und -angebot ist die Verwendung von Durchlaufdiagrammen, wie sie bereits in Kapitel 2.3.2 vorgestellt wurden. Mit Hilfe dieses Werkzeuges lassen sich der Verlauf der vergangenen und der geplanten Auftragsabwicklung für einzelne oder zusammengefasste Arbeitssysteme darstellen. Neben den Werten für Belastung und Kapazität pro Periode können weitere wertvolle Informationen, insbesondere der aktuelle Auftragsbestand, die Reichweite sowie möglicherweise bestehende Rückstände, in einer Graphik angezeigt werden. Zudem erlaubt ein Vergleich der realen Durchlaufdiagramme mehrerer Arbeitssysteme ein schnelles Erkennen von Engpasskapazitäten. Ein Beispiel für die Anwendung von Durchlaufdiagrammen in der kurzfristigen Planung und Steuerung ist die Software *FAST/pro* der Gesellschaft für Technologie und Transfer mbH (GTT). Neben Monitoring- und Controlling-Funktionen kann das entwickelte Werkzeug auch zur operativen Werkstattsteuerung eingesetzt werden. Bei der Planung der benötigten Produktionskapazität kann auch die Auswirkung verschiedener Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung durch den Verlauf von Plan-Abgang und Plan-Bestand transparent gemacht werden.[2] Dies erlaubt prinzipiell auch die Auswahl bestimmter Einzelmassnahmen und deren Einsatzterminierung. Eine gezielte Konfiguration und Bewertung verschiedener Anpassungsalternativen für bestimmte Bedarfsituationen wird jedoch nicht direkt unterstützt.

Ein über den Belastungsabgleich hinausgehendes Konzept zur *Fertigungsregelung*, das in der detaillierten Planung, beispielsweise in elektronischen Fertigungsleitständen, aber auch in der kurz- und mittelfristigen Grobplanung eingesetzt werden kann, wird von BREITHAUPT vorgeschlagen. Im Mittelpunkt steht dabei die Übertragung von Grundsätzen der Regelungstechnik auf das dynamische Verhalten eines Produktionssystems. Ziel ist es, den Ausstoss des Systems an ein gefordertes Niveau anzupassen und dabei eine möglichst konstante Auslastung sicherzustellen. Die im Sinne von Stellgrössen beeinflussbaren Parameter des Systems sind die Kapazität und die Auftragszugangsrate. Ein Rückstands- / Auslastungsregler erhöht die Kapazität im Falle eines bestehenden bzw. erwarteten Rückstandes und reduziert sie, wenn die gewählte Auslastung unterschritten wird. Besonders interessant ist dabei, dass zur Quantifizierung alternativer Massnahmen zur Kapazitätsanpassung neben der eigentlichen Kapazitätsänderung pro Periode zusätzliche Zeitparameter verwendet werden. Mit spezifischen Werten für *Reaktionszeiten* und *minimale Nutzungszeiten* kann beschrieben werden, wie schnell eine Massnahme implementiert und wieder rückgängig gemacht werden kann. Im Rahmen des vorgeschlagenen Reglerkonzeptes erlaubt diese Art der Beschreibung die Auswahl von Massnahmen zur Kapazitätsanpassung dahingehend, dass der angefallene

---

[1] Dazu verschiedene Anwenderberichte in VDI-Berichte 1847: Integriertes Fertigungsmanagement mit Manufacturing Execution Systems (MES), Düsseldorf: VDI Verlag, 2004 sowie in Publi-Reportage, 18, Mai 2005, S. 12.

[2] Informationen unter www.gtt-online.de.

Rückstand schnellstmöglich abgebaut wird, ohne gleichzeitig eine länger andauernde Unterauslastung zu verursachen. Letztlich entspricht dies einer impliziten Wirtschaftlichkeitsüberlegung, da davon auszugehen ist, dass der effiziente Abbau eines nur geringen, temporären Rückstandes eher durch Zusatzschichten als durch den Wechsel des Schichtmodells zu erreichen ist.[1] Obwohl im vorgeschlagenen Konzept lediglich die Veränderung der Einsatzzeit des Personals betrachtet wird, kann die von BREITHAUPT entworfene Beschreibung der Kapazitäts-Flexibilität als wichtige Referenz für den im Kapitel 3 der vorliegenden Arbeit präsentierten Modellierungsansatz für Schwankungen des Kapazitätsbedarfs und die Kapazitätsanpassung angesehen werden.

Einsatz von Simulationswerkzeugen zur Kapazitätsplanung

Ein weiteres Hilfsmittel zur Kapazitätsplanung, auf das hier aber nur kurz eingegangen werden soll, ist die mehr oder weniger detaillierte *Simulation* der Auftragsabwicklung. Grundsätzlich kann das Anwendungsspektrum der Simulation im Produktionsmanagement in zwei Hauptbereiche aufgeteilt werden. Dies ist zum einen die Fabrikplanung, bei der die Simulation zur Validierung von Planungsentwürfen und technischen Funktionen eingesetzt werden kann. Ein zweites Einsatzgebiet ist die Nutzung im Rahmen der Planung und Steuerung der Produktion selbst. Hierbei können Alternativen bei der Belastungseinplanung, bei Terminen oder bei der Ressourcenbereitstellung usw. „durchgespielt" und anhand fallspezifisch geeigneter Kenngrössen bewertet werden. Im Gegensatz zur Bearbeitung mathematischer Optimierungsprobleme durch die Lösung von Gleichungssystemen ist die Simulation kein Werkzeug, mit dessen Hilfe sich direkt eine beste Lösung erzeugen lässt. Vielmehr unterstützt sie einen Anwender bei der qualifizierten Beurteilung zuvor festgelegter Eingabe- und Modellszenarien.[2]

Der von einer Expertengruppe der ARBEITSGEMEINSCHAFT SIMULATION (ASIM) empfohlene Ablauf bei der Anwendung von Simulationswerkzeugen umfasst die folgenden Teilschritte:

- Identifikation und Eingrenzung des abzubildenden Systems sowie die, entsprechend der fallspezifischen Anforderungen, vorzunehmende Abstraktion.
- Erstellung eines System-Modells, das zur Durchführung von Simulationsexperimenten eingesetzt werden kann.
- Durchführung von einem oder mehreren Experimenten, bei denen gegebenenfalls Szenarien für Eingangsgrössen (z.B. Bedarfsverläufe) verändert werden können. Ergebnis der Modellrechnungen sind zuvor definierte Kenngrössen (z.B. Auslastungen, Verspätungen etc.).
- Interpretation der für die Kenngrössen erzielten Werte sowie Beurteilung im Hinblick auf das reale System.
- Ableitung von Veränderungen für das reale oder geplante System (z.B. zu installierende Kapazität).[3]

---

[1] Eine detaillierte Ausarbeitung des Regelungskonzepts enthält Breithaupt J.-W., Rückstandsorientierte Produktionsregelung, 2001.

[2] Vgl. dazu Rabe M., Einführung Simulation, 1998.

[3] Siehe ASIM-Fachgruppe 4.5.6, Leitfaden, 1997.

Anschliessend wird die Veränderung im Modell implementiert und die Simulationsexperimente werden erneut durchgeführt. Dies wird so lange wiederholt, bis ein Ergebnis erzielt wird, das den gestellten Anforderungen (z.B. pünktliche und vollständige Auftragserledigung) entspricht. Die Simulation unterstützt damit lediglich ein gezieltes Ausprobieren von verschiedenen Szenarien und die Auswahl einer besten Lösungsmöglichkeit aus der Menge der insgesamt betrachteten, die jedoch nicht gesichert als Optimum beurteilt werden darf.

Die Simulation ist damit sehr wohl ein geeignetes Werkzeug um alternative Wege zur Kapazitätsanpassung zu untersuchen. Nachteilig ist jedoch der erhebliche Aufwand, welcher in der Regel mit der Implementierung und Erprobung von Simulationsmodellen verbunden ist. Zudem müssen alle Lösungsalternativen detailliert vorgedacht werden.[1] Bei der Planung von Anpassungsmöglichkeiten für die Produktionskapazität bedeutet dies, dass eine zumindest grundsätzlich Auswahl und Terminierung unabhängig von der Simulation erfolgen muss und diese letztlich nur zur Validierung und eventuell zur monetären Bewertung eingesetzt werden kann.

Hilfsmittel bei der intuitiven Planung

Wie in den voranstehenden Abschnitten erläutert wurde, ist die Unterstützung der Einsatzplanung von Massnahmen zur Kapazitätsanpassung in elektronischen Planungswerkzeugen in der Regel nicht vorgesehen. Entsprechend ist die Entscheidung, welche Anpassungsmassnahmen in welchem Zeitraum genutzt werden sollen, situationsabhängig von einer verantwortlichen Person im Betrieb auf der Grundlage einer mehr oder minder intuitiven Einschätzung zu treffen. Einfache Hilfsmittel, wie zum Beispiel mechanische Plantafeln oder auch die in Abbildung 2.23 gezeigte Übersicht zu den verfügbaren Einzelmassnahmen, können diese Aufgabe erleichtern oder zumindest Transparenz schaffen.

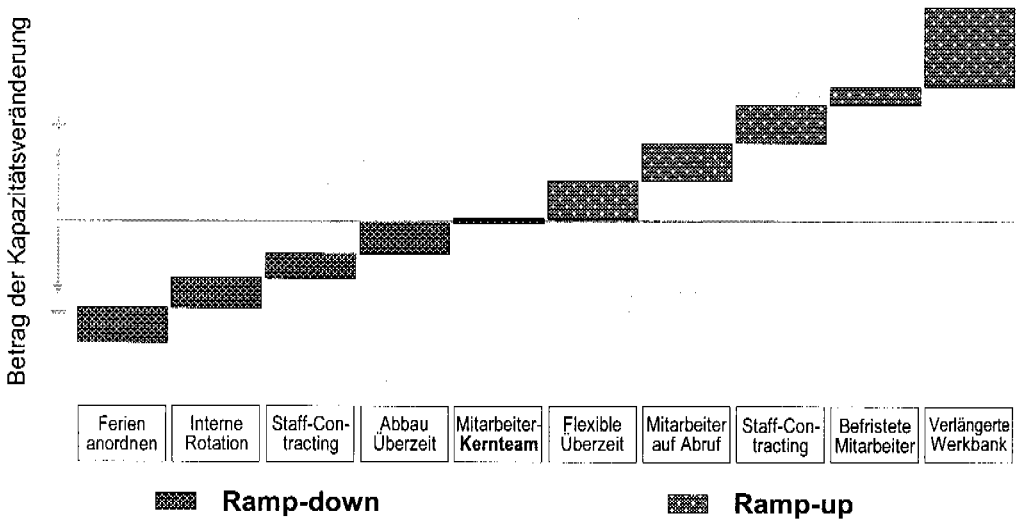


Abb. 2.23: Graphische Darstellung kapazitiver Anpassungsoptionen, geordnet nach Nutzungspräferenz (Quelle: Unaxis Schweiz AG)

[1] Vgl. dazu beispielsweise Baumgarten H. / Klinker R. / Sommer-Dittrich T., Simulationsgestützte Adaptionsplanung, 2004.

Auch Durchlaufdiagramme und Produktionskennlinien eignen sich grundsätzlich, um zu zeigen, wie sich die Veränderung der Kapazität auf Bestand und Durchlaufzeit an einem Arbeitssystems auswirken kann.[1] Allerdings ist es auch hier schwierig, neben dem eigentlichen Belastungsausgleich zeitliche Randbedingungen und Effizienzüberlegungen bei Auswahl und Terminierung von Anpassungsmassnahmen zu berücksichtigen.

Ein weiteres Beispiel für graphische Hilfsmittel sind die in Abbildung 2.24 gezeigten Taktzeitkurven, wie sie beispielsweise für getaktete Montageprozesse erzeugt werden können. Bei der Betrachtung und Nutzung solcher Kurven ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Taktzeitveränderung in der Regel mit einem Auf- oder Abbau der eingesetzten Mitarbeiterzahl verbunden ist. Falls es nicht möglich ist, dies durch die Anforderung bzw. Abgabe von temporären Arbeitskräften zu realisieren, muss mit erheblichen Vorlaufzeiten und Kosten bei der Anpassung des Personalbestandes gerechnet werden. Ähnlich wie bei der graphischen Massnahmenübersicht in Abbildung 2.23 sind Informationen zu notwendigen Vorlaufzeiten zur Realisierung oder Informationen zu gegebenenfalls anfallenden Zusatzkosten nicht enthalten. Beides, zeitliche Randbedingungen und durch die Kapazitätsanpassung anfallende Zusatzkosten, sind jedoch für die Konfiguration machbarer und zugleich wirtschaftlicher Anpassungsstrategien wesentliche Parameter, die es unbedingt zu beachten gilt.

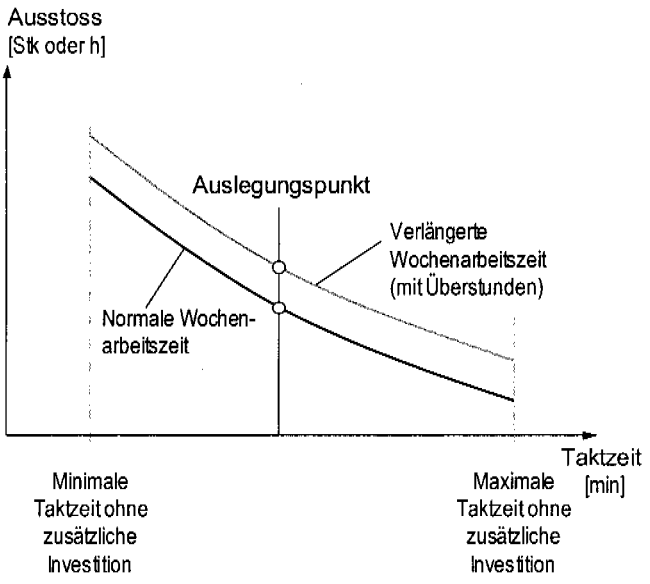


Abb. 2.24: Einfluss der Taktzeit auf die Kapazität getakteter Produktionsprozesse

2.5 Zusammenfassung und Handlungsbedarf

Zahlreiche verschiedene Definitionen und begriffliche Konzepte prägen die Diskussion zur produktionswirtschaftlichen Flexibilität in der wissenschaftlichen Literatur. Trotz verschiedener Bemühungen einiger Autoren scheint es offensichtlich nicht realisierbar und möglicherweise auch gar nicht sinnvoll zu sein, ein einheitliches Flexibilitäts-Verständnis zu entwickeln – ist die Vielfalt der betrachteten Fragestellungen und der eingenommenen Betrachtungsebenen doch zu gross. Geleitet von der Grundannahme, dass die Flexibilität von Produktionssystemen kein Selbstzweck sein darf, sondern als ein Instrument zur Bewältigung veränderlicher Anforderungen anzusehen ist, verspricht die Fokussierung auf relevante Problembereiche einen sinnvollen Umgang mit dem Flexibilitätsbegriff. Definiert man Flexibilität im Kontext der industriellen Produktion als grundlegende Eigenschaft von Produktionssystemen zur Anpassung an interne oder externe Veränderungen, so erlaubt es eine Systematisierung von

[1] Vgl. u.a. Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 687 sowie Wiendahl H.-P. / Breithaupt J.-W. / Hernández R., Rationalisierungspotenziale, 2001

Risiken und Unsicherheiten, diese Fokussierung eindeutig abgrenzbar vorzunehmen. Der für die vorliegende Arbeit gewählte Betrachtungsbereich bezieht sich auf die Beherrschung von Bedarfsunsicherheiten durch die Anpassung der Produktionskapazität.

Neben Schwankungen von Bedarfsmengen insgesamt (Volumen) haben auch Schwankungen im nachgefragten Varianten- bzw. Produkt-Mix und natürlich auch der An- oder Auslauf neuer Produkte massgeblichen Einfluss auf den Bedarf an Produktionskapazität. Eine weitergehende Untersuchung eigener sowie in der Literatur beschriebener Fallbeispiele hat gezeigt, dass neben den genannten Grundtypen der Bedarfsunsicherheit – Volumen- und Varianten-Mix-Schwankungen sowie Produktveränderung oder -wechsel – weitere charakteristische Merkmale für Schwankungsereignisse identifiziert werden können. Besonders der für den Eintritt einer Bedarfsschwankung relevante Zeithorizont ist von wichtiger Bedeutung. Gleichzeitig zeigt eine einfache Betrachtung, dass es durchaus sinnvoll oder aus Gründen der Machbarkeit und Effizienz sogar notwendig sein kann, auf verschiedene Typen der Bedarfsunsicherheit bzw. ihre Auswirkungen auf die benötigte Produktionskapazität mit Hilfe unterschiedlicher, jeweils geeigneter Anpassungsmassnahmen zu reagieren.

Tatsächlich stehen heute den meisten Produktionsbetrieben durchaus zahlreiche Möglichkeiten zur temporären Kapazitätsveränderung zur Verfügung. Die möglichen Anpassungsmassnahmen unterscheiden sich dabei nicht nur in ihrem Beitrag zur Veränderung der Produktionskapazität, sondern auch hinsichtlich Zeitbedarf und Aufwand für ihre Realisierung. Im Zusammenhang mit dem Abgleich von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot insbesondere im Rahmen der kurz- und mittelfristigen Produktionsplanung folgen damit unmittelbar zwei wichtige Fragestellungen:

- Sind die für die Kapazitätsanpassung zur Verfügung stehenden Massnahmen ausreichend, um die künftig erwartete Bedarfsunsicherheiten zu beherrschen?
- Welche Anpassungsmassnahme bzw. Zusammenstellung mehrerer Massnahmen ist in einer bestimmten Bedarfssituation wirtschaftlich einzusetzen?

Wie aufgezeigt, stehen planungsverantwortlichen Mitarbeitern in Produktionsbetrieben zur fundierten Beantwortung dieser beiden Fragen keine oder nur unzureichende Hilfsmittel zur Verfügung. Neben der Tatsache, dass eine gezielte Auswahl und Einplanung von Anpassungsmassnahmen in Werkzeugen zur Grob- und Detailplanung überwiegend nicht berücksichtigt wird, ist vor allem die zu wenig differenzierte Sichtweise auf die verschiedenen Anpassungsmassnahmen eine wesentliche Ursache für das bestehende Defizit. Unabhängig von einer zeitlichen oder hierarchischen Unterscheidung von Planungsebenen ist deshalb ein konsistentes, quantitatives Flexibilitätsverständnis erforderlich, dass in der Lage ist, alternative Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung zu unterscheiden und einem Planungsprozess zugänglich zu machen. Eine konkrete Anforderung an ein entsprechendes Beschreibungsmodell lautet daher, dass neben dem Beitrag, den eine Anpassungsmassnahme zur Veränderung der verfügbaren Kapazität leistet, auch Zeit- und Kostenparameter beachtet werden müssen. Diese sind erforderlich, um bei einer Anpassungsplanung den spezifischen Restriktionen der einzelnen Massnahmen hinsichtlich zeitlicher Verfügbarkeit gerecht zu werden sowie den Implementierungs- und Nutzungsaufwand zu erfassen. Eine weitere Forderung ist zudem, dass ein möglichst pragmatischer, einfach nachvollziehbarer Ansatz zu wählen ist, da dies von wesentlicher Bedeutung für die Akzeptanz im betrieblichen Umfeld ist.

3 Beschreibungsmodell der Kapazitätsflexibilität

Voraussetzung für die Lösung des im Kapitel 2 aufgedeckten Planungsproblems ist wie bereits angedeutet die Fähigkeit, Veränderung des Kapazitätsbedarfes in Umfang und Eintrittszeitpunkt einschätzen sowie die Möglichkeiten zur Anpassung des Kapazitätsangebotes in einer gleichen Weise exakt quantifizieren zu können. Ziel dieses Kapitels ist es daher, einen Modellierungsansatz entsprechend der in Kapitel 2.5 formulierten Anforderungen vorzuschlagen und umfassend zu erläutern. Dieser bildet schliesslich die Grundlage für die in späteren Abschnitten der vorliegenden Arbeit präsentierten Hilfsmittel zur Planung und Bewertung von alternativen Strategien zur Kapazitätsanpassung.

3.1 Quantitative Erfassung von Schwankungen des Kapazitätsbedarfs und von Massnahmen zur Kapazitätsanpassung

Vor einer detaillierten Erläuterung von einzelnen Modellparametern soll zunächst eine Diskussion der Plausibilität der gewählten Parameter-Dimensionen erfolgen. Ausgangspunkt dafür sind neben einigen wissenschaftlichen Literaturquellen vor allem eigene Beobachtungen, die in der Projektzusammenarbeit mit Produktionsbetrieben und durch Fallstudien gesammelt werden konnten. Ergänzend kommt der intensive Austausch mit Wissenschaftlern und Praktikern hinzu.

3.1.1 Kapazitätsänderung, Zeit und Kosten als beschreibende Dimensionen der kapazitiven Flexibilität

Trotz der zahlreichen Beiträge in der Management-Literatur zum Thema Flexibilität gehen nur vergleichsweise wenige Autoren auf konkrete und gleichzeitig pragmatische Lösungen zur quantitativen Beschreibung oder Messung von Flexibilität ein. Dies gilt folglich auch für den eingegrenzten Bereich der Kapazitäts-Flexibilität in der Produktion. Dem gegenüber steht eine in der Praxis verbreitete Betrachtungsweise, welche Fragen nach der kapazitiven Flexibilität eines bestehenden Produktionssystems ausschliesslich mit einer Aussage zur möglichen Veränderung der Produktionsmenge bzw. zur Ausdehnung oder Reduzierung von Produktionszeiten beantwortet. Zum Teil erfolgt zusätzlich eine Verknüpfung mit zeitbezogenen Attributen in der Form, dass beispielsweise eine Massnahme oder Anpassungsstrategie dann „besonders flexibel" sei, wenn sie *schnell* realisierbar ist. Nun ist „schnell" ein relativer Begriff und nicht jede Massnahme zur Kapazitätsanpassung, die Zeit zur Implementierung benötigt, ist zwangsläufig von geringerem oder sogar ohne Wert für einen Produktionsbetrieb. Eine Flexibilitätsauffassung, die also ausschliesslich die Höhe einer Kapazitätsanpassung an eine mögliche Bedarfsveränderung beachtet, greift also ohne jeden Zweifel zu kurz.[1]

[1] Vgl. dazu auch Gottschalk L. / König R., Bedarfsunsicherheiten beherrschen, 2004.

Zu den ersten Autoren, die ein detaillierteres Verständnis der Flexibilität von Produktionskapazitäten formulieren, gehören EVERSHEIM und SCHÄFER. In einem Beitrag zur Planung des Flexibilitätsbedarfes wird darauf hingewiesen, dass Anpassungen an veränderte Bedarfe „rechtzeitig, treffsicher, mit angemessenen Mitteln und vertretbaren Kosten"[1] erfolgen müssen. Eine darüber hinausgehende Darstellung ist schliesslich bei GERWIN zu finden. In einem Beitrag zu Grundlagen der produktionswirtschaftlichen Flexibilität bezeichnet der Autor ein Produktionssystem dann als flexibler im Vergleich zu einem anderen, wenn es eine grössere oder gleiche Breite unterschiedlicher Kapazitätsniveaus in einer gleich langen bzw. kürzeren Zeitspanne abdecken kann. Als dritter Aspekt werden die Kosten vorgeschlagen, die durch die Bereitstellung der Flexibilität entstehen.[2]

Daraus lassen sich nun direkt die zur Beurteilung der bestehenden Kapazitäts-Flexibilität eines Produktionssystems erforderlichen Parameter-Dimensionen ableiten (vgl. Abbildung 3.1). Dies sind:

- Veränderung des Niveaus der maximal verfügbaren Kapazität (*Kapazitätsänderung*), gemessen als Ausstoss in Mengeneinheiten (z.B. Stück oder Kilogramm) oder als höhere / geringere Produktionszeit jeweils pro Periode,
- *Zeit*, die unter anderem für die Implementierung einzelner Massnahmen benötigt wird sowie
- *Kosten*, die mit der Bereitstellung und Nutzung der Kapazitätsflexibilität direkt in Verbindung stehen.

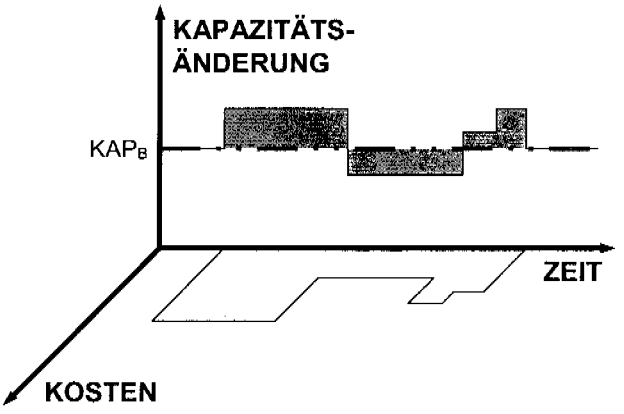


Abb. 3.1: Notwendige Dimensionen zur Beschreibung der Kapazitätsflexibilität

Bereits eine einfache Betrachtung von Extremwerten für die genannten Parameter-Dimensionen zeigt deren Plausibilität. Danach lässt sich prinzipiell jedes denkbare Produktionssystem auf ein beliebiges Kapazitätsniveau skalieren, wenn für die Umsetzung genügend Zeit und ausreichende finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. Umgekehrt kann davon ausgegangen werden, dass letztlich keine Veränderung der Produktionskapazität möglich ist, wenn der zur Realisierung zugestandene Zeitraum beliebig klein wird und / oder keine Ressourcen zur Deckung der anfallenden Aufwände vorhanden sind. Gerade der zuletzt genannte Sachverhalt stimmt ausnahmslos mit allen Beobachtungen in der Praxis überein, die zeigen, dass es grundsätzlich keine systeminhärente, kostenlos nutzbare Kapazitäts-Flexibilität gibt. Lediglich der Zeitpunkt der Nutzung der Flexibilität kann unter Umständen von dem der Entrichtung der Kosten abweichen. So erscheinen mitunter flexible Arbeitszeitmodelle als kostenlose Anpassungsmöglichkeiten für die Produktionskapazität, was sich bei genauerer Betrachtung häufig als nicht zutreffend erweist. Tatsächlich muss in der Regel die Bereitschaft der Mitarbeiter zur Schichtarbeit oder zur Durchführung kurzfristig angeordneter Zusatzschichten mindestens durch eine erhöhte Basis-Entlohnung, gegebenenfalls sogar

[1] Eversheim W. / Schaefer F.-W., Planung des Flexibilitätsbedarfs, 1980.

[2] Siehe Gerwin D., Strategic perspective, 1993.

durch Zuschläge oder Prämien honoriert werden. Weitere Beispiele für eine zeitliche Trennung von Finanzierungs- und Nutzungszeitpunkt sind Investition in die Flexibilität von Maschinen und Anlagen, beispielsweise in Freiflächen, die zu späteren Zeitpunkten für eine Produktionserweiterung genutzt werden können, oder in die Qualifikation von Mitarbeitern. In allen Fällen sind mehr oder weniger grosse Geldbeträge eventuell weit vor einer möglichen Nutzung aufzuwenden. Entsprechend können Flexibilitätskosten unterschieden werden, die entweder im Zusammenhang mit dem eigentlichen Vorgang der Kapazitätsanpassung oder aber mit der mit der Sicherstellung der grundsätzlichen Anpassungsfähigkeit verknüpft sind.[1]

Welche Kostenarten in eine Wirtschaftlichkeitsbewertung von alternativen Konzepten zur Kapazitätsanpassung einzubeziehen sind, ist fallspezifisch zu entscheiden. In Kapitel 4.3 wird dies noch einmal genauer diskutiert. Wesentlich ist an dieser Stelle jedoch die Erkenntnis, dass eine Aussage zur Flexibilität der Kapazität eines Produktionssystems mindestens unvollständig ist, wenn nicht alle der drei genannten Parameter-Dimensionen spezifiziert werden können. Gleichzeitig entspricht die hier formulierte Sichtweise einem operationalisierten Begriffsverständnis zur Flexibilität, welches das eigentliche Fundament für die vorliegende Arbeit bildet. Der folgende Abschnitt erläutert nun die zu den Dimensionen gehörenden Parameter im Detail.

3.1.2 Modellierungsparameter

Ziel des im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Modellierungsansatzes, der nun weiter ausgearbeitet werden soll, ist die Unterstützung von Analyse- und Planungsaktivitäten in Produktionsbetrieben. Dabei geht es allerdings in erster Linie nicht um die Überlegung, ob eine bestimmte Lösung zur Kapazitätsanpassung möglicherweise flexibler ist als eine andere, sondern vielmehr um die Entscheidung, ob eine Anpassungsmassnahme oder ein Massnahmenportfolio geeignet ist, auf bestehende bzw. erwartete Bedarfsveränderungen zu reagieren. Entsprechend ist es erforderlich, beide Seiten – die Schwankungen des Kapazitätsbedarfs und die Kapazitätsanpassung – direkt vergleichbar zu machen. Dies gelingt genau dann, wenn jeweils ähnliche beschreibende Parameter identifiziert werden können.

In Abbildung 3.2 ist daher zunächst eine mögliche Schwankung des Bedarfsverlaufes schematisch dargestellt, die in bestimmten Perioden innerhalb des Planungshorizontes die maximal mögliche Leistung eines Arbeitssystems deutlich über- und anschliessend unterschreitet. Ein derartiger Verlauf des Kapazitätsbedarfs könnte beispielsweise das Ergebnis einer Terminierung und Belastungsrechnung sein (vgl. Abbildung 2.20). Die isolierte Betrachtung eines einzelnen Schwankungsereignisses des Kapazitätsbedarfs zeigt, dass es neben der eigentlichen Höhe der Veränderung pro Periode besonders die für eine mögliche Reaktion verbleibende *Zeitspanne vor Eintritt des Ereignisses* von Bedeutung ist. Der Wert dieses Parameters ist in jedem Fall mindestens so gross, wie die mit dem Kunden üblicherweise vereinbarte Lieferfrist. Wesentlich ist zudem, ob die Veränderung des Kapazitätsbedarfes nur kurzfristig anhält oder ob ein längerfristiger, unter Umständen sogar dauerhafter Anstieg bzw. Rückgang vorliegt. Eine mutmaßlich untergeordnete, jedoch keinesfalls zu vernachlässigende Rolle spielt die Veränderung der realisierbaren Preise für die pro-

[1] Vgl. hierfür insbesondere Slack N., Flexibility, 1983.

duzierten Güter. Denkbar ist beispielsweise, dass es aufgrund höherer Verkaufsmengen bei einem Bedarfsanstieg zu Preisabschlägen durch zugestandene Rabatte kommt. Dies wiederum kann einen Einfluss auf die wirtschaftlich sinnvoll nutzbaren Freiheitsgrade bei einer gegebenenfalls notwendigen Kapazitätsanpassung haben.

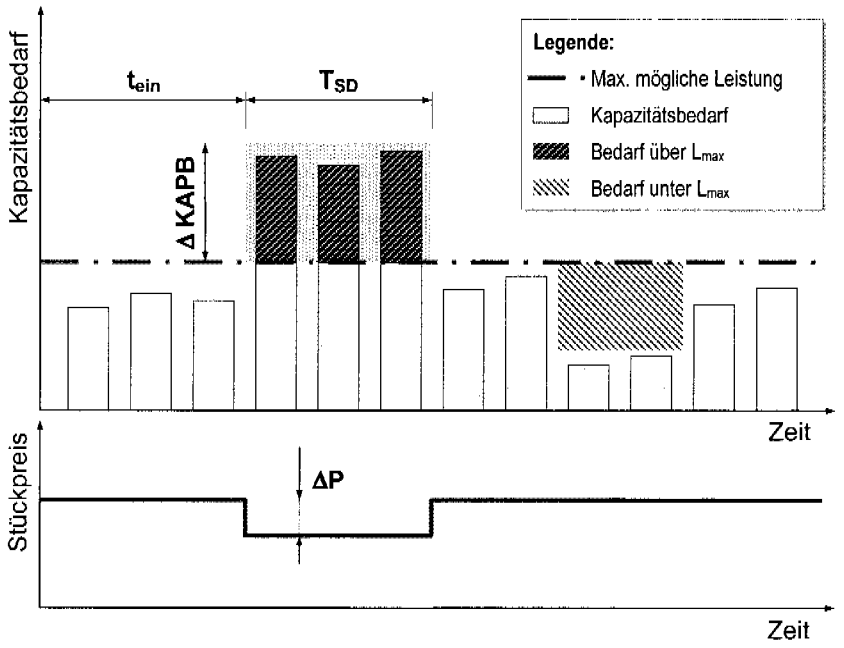


Abb. 3.2: Parameter zur quantitativen Erfassung von Schwankungsereignissen des Kapazitätsbedarfs

Die nachfolgende Tabelle 3.1 fasst die Parameter zur formalen Quantifizierung von Bedarfsunsicherheiten entsprechend der oben stehenden Abbildung mit jeweils kurzen Definitionen zusammen.

Parameter	Erläuterung / Definition
Veränderung des Kapazitätsbedarfes ($\Delta KAPB$)	Anstieg oder Rückgang des Kapazitätsbedarfes, gemessen in Mengeneinheiten (z.B. Stück) oder Zeit (z.B. Vorgabestunden) pro Periode.
Zeitspanne bis zum Eintritt der Veränderung (t_{ein})	Zeitspanne, die ausgehend vom aktuellen Zeitpunkt vergeht, bis der veränderte Kapazitätsbedarf tatsächlich realisiert werden muss. Messung in Perioden.
Schwankungsdauer (T_{SD})	Zeitdauer, gemessen in Perioden, für den die Veränderung des Kapazitätsbedarfes Gültigkeit besitzt.
Preisänderung (ΔP)	Veränderung des erzielbaren Abgabepreises für die hergestellten Güter, gemessen in Geldeinheiten pro Stück.

Tab. 3.1: Definition der Modell-Parameter zur Beschreibung von Bedarfsunsicherheiten

Analog dazu lassen sich vergleichbare Modell-Parameter für eine quantifizierende Beschreibung von einzelnen Massnahmen zur Kapazitätsanpassung finden (siehe Abbildung 3.3, Definition der Parameter in Tabelle 3.2). Eine genaue Betrachtung zeigt allerdings, dass dabei einige Unterschiede zu berücksichtigen sind.

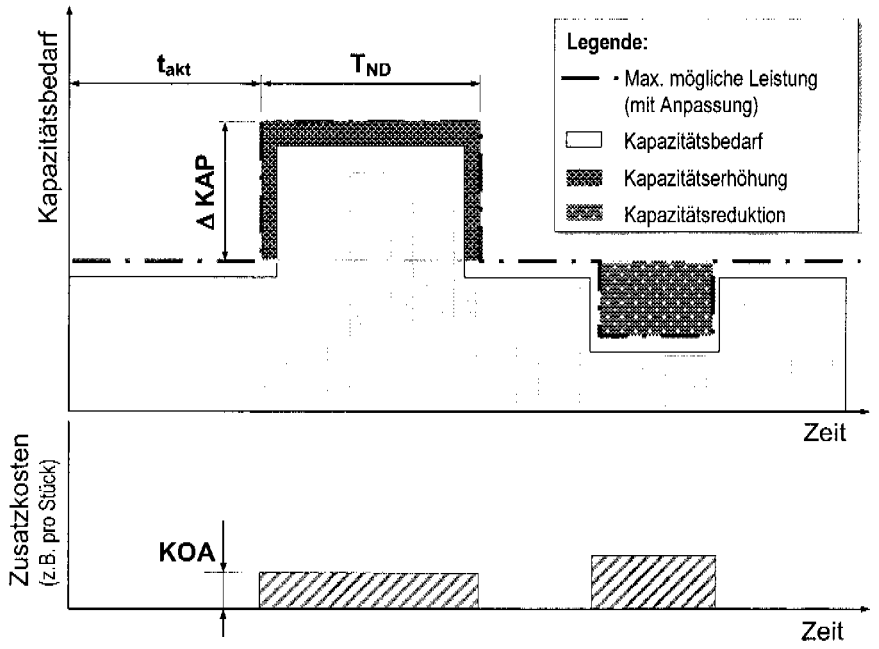


Abb. 3.3: Parameter zur Beschreibung von Massnahmen zur Erhöhung bzw. Reduktion der maximalen Produktionskapazität (maximal mögliche Leistung)

Zusätzlich zur Höhe der pro Periode erzielbaren Kapazitätsveränderung (ΔKAP) ist vor allem die für die Realisierung einer Anpassungsmassnahme benötigte Zeitspanne (t_{akt}) ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal. Dieser spezifische Parameter, der direkt vergleichbar ist mit der Zeit vor Eintritt einer Bedarfsänderung (t_{ein}) soll im folgenden als *Aktivierungszeit* bezeichnet werden. Genau genommen ist allerdings nicht der Zeitpunkt von Interesse, an dem es gelungen ist, eine Kapazitätsänderung zu realisieren, sondern derjenige, zu dem tatsächlich ein erhöhter oder reduzierter Ausstoss erzielt werden kann. Hierfür muss die Dauer, welche zur Abarbeitung eines durchschnittlichen Auftrages notwendig ist, zur Aktivierungszeit hinzugerechnet werden. Ist jedoch diese *mittlere Auftragszeit* sehr klein im Vergleich zum Zeitbedarf, der für die Installation einer Anpassungsmassnahme notwendig ist, so kann diese ohne Probleme vernachlässigt werden.[1]

Wichtig erscheint es zudem, an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass es eine formale Abhängigkeit zwischen dem Wert des Kapazitätsbeitrages einer Anpassungsmassnahme und der Länge der gewählten Planungsperiode geben kann. Grund dafür ist die Tatsache, dass diese Zeitspanne die Granularität für die Spezifikation der zeitlichen Parameter vorgibt. Kann also

[1] Gemäss NYHUIS (Logistische Kennlinien, 2003, S. 17) wird die mittlere Auftragszeit als arithmetischer Mittelwert aus den Einzelwerten der verschiedenen, von einem Arbeitssystem üblicherweise zu bearbeitenden Einzelaufträgen gebildet. Die Auftragszeit selbst ergibt sich durch die Summe aus Rüstzeit und Bearbeitungszeit für ein Los.

eine Massnahme innerhalb einer Planungsperiode mehrfach genutzt werden, ist dies ebenso zu berücksichtigen wie der Fall, dass eine Massnahme nach Ablauf der Aktivierungszeit nicht in jeder Periode zur Verfügung steht. Ein einfaches Beispiel dafür sind Zusatzschichten an Wochenenden. Wird die Dauer eines Monats als Länge der Planungsperiode definiert, kann unter Umständen davon ausgegangen werden, dass eine Samstagsschicht insgesamt viermal durchgeführt werden kann. Entsprechend ist der Kapazitätsbeitrag festzulegen, der innerhalb einer Periode (hier ein Monat) durch diese Anpassungsmassnahme erzielt werden kann. Im Unterschied dazu stellt sich die Frage, welcher Wert für t_{akt} anzusetzen ist, wenn eine Wochenendschicht spätestens am Montag der betreffenden Arbeitswoche angekündigt werden muss. Die Aktivierungszeit an einem Dienstag beträgt dann also 9 Betriebskalendertage, während sie es einem Montag tatsächlich nur 5 sind. Eine Lösung für dieses Problem ist die Verwendung geeigneter Mittelwerte für die Aktivierungszeit. Im geschilderten Beispiel wären dies im Mittel 7 Betriebskalendertage. Die Festlegung der Parameterwerte muss also abhängig vom Anwendungskontext wohl überlegt erfolgen. Möglicherweise können derartige Schwierigkeiten auch durch eine geschickte Wahl der Länge der Planungsperiode umgangen werden.

Im Hinblick auf die Dauer der möglichen Nutzung einer bestimmten Massnahme zur Kapazitätsanpassung ist eine weitere Unterscheidung vorzunehmen. Grund hierfür ist die Tatsache, dass bestimmte Anpassungsmassnahmen nicht unbegrenzt lange genutzt werden können. Ein Beispiel dafür ist die Ausdehnung der wöchentlichen Arbeitszeit durch längere oder zusätzliche Schichten. Hier beschränken üblicherweise betriebliche Vereinbarungen zu Obergrenzen von Arbeitszeitkonten und gesetzliche Regelungen die länger anhaltende Nutzbarkeit der entsprechenden Massnahmen. Gleichzeitig kann umgekehrt für andere Anpassungsmöglichkeiten gelten, dass sie, einmal installiert, nicht ohne eine bestimmte Vorlaufzeit rückgängig zu machen sind. Dies ist beispielsweise bei der Einstellung von zusätzlichem Personal oder auch bei der Anpassung von Taktzeiten für Montageprozesse, die in der Regel auch mit einer Veränderung des Personalbestandes verknüpft ist, der Fall. Daraus folgt, dass eine Berücksichtigung relevanter Fristen für die *maximale* und *minimale Nutzbarkeitsdauer* zur exakten Beschreibung von Anpassungsmassnahmen unbedingt erforderlich ist.

Bei der Beurteilung der Effizienz einer Anpassungsstrategie sind schliesslich die mit der Kapazitätsveränderung verbundenen *Anpassungskosten* von massgebendem Einfluss. Sie setzen sich aus den Aufwänden für die Installation, den Betrieb und die Rücknahme einer Massnahme zusammen. Zu beachten ist allerdings, dass ausschliesslich *zusätzliche* Kosten einzubeziehen sind, die sich letztlich als Veränderung der Herstellkosten pro Stück eines produzierten Gutes ausdrücken lassen. Entsprechend sind zweifellos Zuschläge für zusätzliche Wochenendschichten oder Nachtarbeit als Zusatzkosten anzusehen. Hingegen gilt dies bei der Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte in der Regel nur für den initialen Aufwand zur Einstellung und Einweisung der neuen Mitarbeiter. Im Einzelfall muss also sehr sorgfältig geprüft werden, welche Kostenarten im strengen Sinne als spezifische Zusatzkosten bei der Nutzung einer bestimmten Massnahme zur Kapazitätsveränderung anfallen. In der unten stehenden Tabelle 3.2 sind die Parameter für die Modellierung der Kapazitätsanpassung noch einmal abschliessend zusammengestellt.

Parameter	Erläuterung / Definition
Kapazitätsänderung (ΔKAP)	Betrag der Kapazitätserhöhung oder -reduktion, gemessen in Mengeneinheiten oder Zeit pro Periode.
Aktivierungszeit (t_{akt})	Spezifische Zeitspanne, die ausgehend vom aktuellen Zeitpunkt vergeht, bis durch die Aktivierung einer Anpassungsmassnahme eine erhöhte oder reduzierte maximal mögliche Leistung erzielt werden kann. Messung in Perioden.
Maximale Nutzbarkeitsdauer ($T_{ND,\max}$)	Zeitdauer, für die eine bestimmte Anpassungsmassnahme ohne Unterbrechung aufrecht erhalten werden kann. Messung in Perioden.
Minimale Nutzbarkeitsdauer ($T_{ND,\min}$)	Spezifische Zeitspanne, die vergeht, bis eine aktive Anpassungsmassnahme frühestens zurückgenommen werden kann. Messung in Perioden.
Anpassungskosten (KOA)	Zusätzliche Kosten, die durch die Aktivierung, den Betrieb und die Rücknahme einer Massnahme anfallen können. Die Messung erfolgt in Geldeinheiten.

Tab. 3.2: Definition der Modell-Parameter zur quantitativen Beschreibung von Massnahmen zur Kapazitätsanpassung

Obwohl der vorgeschlagene Modellierungsansatz allein noch keine Hilfestellung bei der Auswahl, Einplanung und Bewertung von Anpassungsstrategien leistet, verschafft bereits die exakte, quantitative Beschreibung von Schwankungen des Kapazitätsbedarfes im Sinne von Anforderungen sowie von möglichen Anpassungsleistungen eine wertvolle Transparenz. Dies soll in den nächsten Abschnitten weiter vertieft werden.

3.2 Massnahmen zur Kapazitätsanpassung im Vergleich

Obwohl zu Beginn des vorigen Kapitels darauf hingewiesen wurde, dass letztlich die Bereitststellung einer, gemessen am Kapazitätsbedarf, hinreichenden Kapazitäts-Flexibilität massgebend ist, kann die vergleichende Gegenüberstellung der im Praxisfall verfügbaren Massnahmen hilfreich sein. Dies gilt vor allem dann, wenn aufgrund einer geringen Anzahl möglicher Massnahmen die Planungskomplexität bei der Kapazitätsanpassung begrenzt ist und eine detaillierte Bewertung der Anpassungskosten deshalb nicht notwendig erscheint oder lediglich sehr kurze Planungszeiträume betrachtet werden. Auch in diesem Fall ist die Auswahl der nutzbaren Anpassungsmassnahmen in der Regel beschränkt.

3.2.1 Klassifizierung von Anpassungsmassnahmen mit Hilfe der Nutzbarkeitsdauer

Eine erste Klassifizierung möglicher Mittel zur Kapazitätsanpassung ergibt sich bereits durch die Betrachtung von Wertebereichen für die Parameter minimale und maximale Nutzbarkeitsdauer. So können Massnahmen, bei denen der Wert für die maximale Dauer einer möglichen Nutzung beliebig wählbar und die minimale Nutzbarkeitsdauer grösser als der untersuchte mittel- und langfristige Planungshorizont sind, als Verschiebung der installierten *Basiskapazität* angesehen werden. Unter einer Basiskapazität wird hier die maximal mögliche Leistung verstanden, für welche ein Arbeits- oder Produktionssystem ausgelegt wurde und die es dauerhaft aufrecht erhalten kann. Ein mitunter synonym verwendeter Begriff ist der der *Nennkapazität*.

Umgekehrt weist eine relativ kurze maximale Nutzbarkeitsdauer darauf hin, dass eine entsprechende Massnahme ungeeignet ist, länger anhaltende, beispielsweise saisonale Schwankungen zu beherrschen. Ein Sonderfall sind schliesslich solche Massnahmen zur Kapazitätsanpassung, die, längerfristig betrachtet, überhaupt keinen Beitrag zur Erhöhung oder Reduktion der Produktionskapazität erbringen. Dies sind im wesentlichen Arbeitszeitmodelle, die dafür sorgen, dass die geleistete Mehrarbeit in Phasen eines möglicherweise geringeren Kapazitätsbedarfs durch Freizeit wieder ausgeglichen wird. In der Praxis kommt es sogar regelmässig vor, dass geleistete Überstunden oder Zusatzschichten in der Nacht oder an Wochenenden und Feiertagen durch einen überproportional grossen Freizeitausgleich kompensiert werden müssen. In einer groben Einteilung ergeben sich somit drei grundsätzlich unterscheidbare Gruppen von Anpassungsmassnahmen, die zumindest prinzipiell sowohl auf der Seite der Betriebsmittel sowie auch beim Personal wiederzufinden sind:

1. *Zeitliche Disposition der Kapazitätsbereitstellung.* Im Zusammenhang mit der Flexibilisierung der Personalkapazität werden solche Massnahmen auch als *chronologische Arbeitszeitflexibilität* bezeichnet. Die ununterbrochene Nutzbarkeit ($T_{ND,\max}$) ist durch betriebliche oder andere vertragliche Regelungen begrenzt.
2. *Effektive, temporäre Kapazitätsveränderung.* Durch den Einsatz solcher Massnahmen wird eine tatsächliche Veränderung des Ausstosses erzielt, die nicht wieder kompensiert werden muss. Die maximale Nutzbarkeitsdauer ist begrenzt oder unbegrenzt, jedoch ist die minimale Nutzbarkeitsdauer deutlich kleiner als der Planungshorizont, so dass eine Rücknahme der entsprechenden Anpassungsmassnahmen möglich ist. Im Hinblick auf das Personal wird dies auch als *chronometrische Arbeitsflexibilität* bezeichnet.[1]
3. *Veränderung der Grundkapazität.* Hier liegen, wie oben bereits erwähnt, sowohl die maximale als auch die minimale Nutzbarkeitsdauer mindestens in der Grössenordnung des langfristigen Planungshorizontes.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, wie einige der in Tabelle 2.4 genannten Beispiele für Massnahmen zur Kapazitätsanpassung den drei Gruppen zugeordnet werden können. Dabei wird gleichzeitig deutlich, dass diese Klassifizierung unabhängig davon ist, auf welche Weise (vgl. Kapitel 2.3.3) eine Kapazitätsanpassung erreicht wird.

---

[1] Vgl. Günther, H.-O. / Strauss, C., Personaleinsatzplanung, 1994

	Betriebsmittel	Personal
Disposition der Kapazitätsbereitstellung		▪ Arbeitszeitmodelle mit Zeitkonten und Freizeitausgleich ▪ Einsatz von erfahrenen Mitarbeitern an Engpass-Arbeitssystemen ▪ Veränderung der betrieblichen Jahresöffnungszeit (Betriebsferien)
Effektive, temporäre Kapazitätsänderung	▪ Zeitweilige Nutzung benachbarter Maschinen und Anlagen ▪ Leihen oder leasen von Produktionsausrüstung sowie Nutzung von Betreibermodellen ▪ In- / Outsourcing	▪ Inner- oder ausserbetriebliche Umsetzung von Arbeitskräften ▪ Bezahlte Überzeiten ▪ Einsatz von Zeitarbeitskräften
Veränderung der Grundkapazität	▪ Verkürzung oder Ausdehnung von Taktzeit in mehrstufigen Produktionsprozessen ▪ Rationalisierung, Reduzierung von Ausfallzeiten ▪ Investition in zusätzliche Anlagen	▪ Einstellung oder Abbau von Mitarbeitern ▪ Rationalisierung (z.B. Entlastung der Arbeitskräfte von Routineaufgaben)

Tab. 3.3: Einordnung von Beispielen für Massnahmen zur Kapazitätsanpassung entsprechend der jeweils typischen Wertebereiche für die minimale und maximale Nutzbarkeitsdauer

3.2.2 Kennzahlen zur Charakterisierung einzelner Anpassungsmassnahmen

Die Messung und Bewertung von Flexibilität spielt sowohl in der wissenschaftlichen Literatur, aber auch in der praktischen Anwendung eine bedeutende Rolle. Wissenschaftler versuchen zum Beispiel mit Hilfe von Messgrössen das Verhalten von betrieblichen Systemen zu beschreiben oder den Einfluss von technischen oder organisatorischen Konzepten auf die Leistungsfähigkeit zu erfassen. Für Praktiker und Entscheidungsträger in produzierenden Unternehmen geht es eher darum zu erkennen, welche Ausprägungen von Flexibilität in welchem Umfang benötigt werden und wie bzw. wann diese sinnvoll einzusetzen sind. Beliebig komplexe, schwer operationalisierbare Flexibilitätsmasse erscheinen daher für die praktische Anwendung wenig geeignet zu sein.

Ähnlich wie bereits zu Anfang von Kapitel 2 im Hinblick auf die begriffliche Abgrenzung erläutert, liegen in der wissenschaftlichen Literatur zahlreiche Entwürfe für die Flexibilitätsmessung vor. Da diese häufig an ein spezifisches Flexibilitätsverständnis bzw. an eine be-

stimmte Ausprägung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität geknüpft sind, besteht erwartungsgemäss keine einheitliche Auffassung darüber, wie Flexibilität sinnvoll zu messen ist.[1]

Zahlreiche Konzepte stimmen allerdings darin überein, dass die Flexibilitätsmessung auf eine Beurteilung hinausläuft, ob ein Produktionssystem oder eine bestimmte System-Konfiguration flexibler ist als eine andere. Ein verbreiteter Ansatz ist die scheinbar einfache Bestimmung der Anzahl der möglichen Veränderungsoptionen, über die ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügt. Gemeint sind damit beispielsweise die Menge der mit Hilfe eines Produktionssystems herstellbaren Produktvarianten oder die Zahl der verschiedenen Ausstoss-Niveaus (Volumen), die realisiert werden können. Diese Art der Flexibilitätsbeurteilung beachtet jedoch nicht die Tatsache, dass die verschiedenen Veränderungsoptionen im realen betrieblichen Umfeld nicht in jedem Fall gleichzusetzen sind. Hinzu kommt die Tatsache, dass beim einfachen Zählen der Freiheitsgrade den differenzierenden Aspekten Zeit und Kosten keine Beachtung geschenkt wird.[2]

Schliesslich besteht das grundsätzliche Problem bei zahlreichen Konzepten zur Flexibilitätsmessung, die ausschliesslich auf eine vergleichende Aussage zur Flexibilität unterschiedlicher Produktionssysteme zielen, dass zunächst unklar ist, ob eine bestimmte Fähigkeit zur Anpassung an mögliche interne oder externe Veränderungen überhaupt benötigt wird. Daraus folgt, dass eine Beurteilung der Flexibilität eines Produktionssystems ohne die Berücksichtigung konkreter Anforderungen, beispielsweise Bedarfsveränderungen, keine primäre praktische Relevanz besitzt. Deshalb ist es nicht das Ziel der anschliessend aufgeführten Kenngrössen, die Kapazitätsflexibilität von Produktionssystemen insgesamt zu deuten oder sogar zu bewerten. Vielmehr geht es darum, abgeleitet aus den in Kapitel 3.1.2 vorgestellten Parametern, einfache Kennzahlen bereitzustellen, anhand derer einzelne Anpassungsmassnahmen eines bestehenden Portfolios charakterisiert und mit anderen verglichen werden können. Der dadurch erwartete Nutzten ist die Schaffung einer zusätzlichen Transparenz hinsichtlich relativer Vor- oder Nachteile einzelner Massnahmen.

In der ersten hier vorgeschlagenen Kennzahl sollen die Informationen zur erzielbaren Kapazitätsänderung und der für die Realisierung benötigten Zeit miteinander verknüpft werden. Ein durchaus ähnlicher Ansatz wird von EVERSHEIM und SCHAEFER entworfen, bei dem in einfacher Weise der Quotient aus Kapazitätsveränderung (pro Periode) und zugehöriger Aktivierungszeit als Flexibilitätsmass verwendet wird[3]. Allerdings wird durch diese Art der Kennzahlbildung nicht deutlich, wie nachhaltig die Änderung des Produktausstosses ist, da die mögliche Nutzungsdauer der zu charakterisierenden Kapazitätsveränderung unberücksichtigt bleibt. Durch eine entsprechende Erweiterung gemäss Gleichung 3-1 kann jedoch eine dimensionslose Kennzahl gebildet werden, die neben der Kapazitätsänderung auch deren maximale Nutzbarkeitsdauer und damit die tatsächlich zu erwartende zusätzliche Produktionsmenge (Produkt aus Kapazitätsänderung und maximaler Nutzbarkeitsdauer) einbezieht.

---

[1] In einer umfangreichen Literaturstudie betrachten SHEWCHUK und MOODIE (Manufacturing flexibility, 1998) mehr als 70 verschiedene Ansätze zur Flexibilitätsmessung, die verschiedenen Flexibilitäts-Ausprägungen zugeordnet werden. Allerdings werden die Konzepte nicht im Detail untersucht, sondern lediglich die jeweils beschreibende Messgrösse aufgeführt.

[2] Siehe dazu insbesondere Gerwin D., Strategic perspective, 1993.

[3] Eversheim W. / Schaefer F.-W., Planung des Flexibilitätsbedarfs, 1980.

Zusätzlich wird die bestehende Basiskapazität als normierender Faktor eingesetzt, um eine generelle Vergleichbarkeit von Anpassungsmassnahmen unabhängig vom bestehenden Kapazitätsniveau zu ermöglichen.

$$FK_M = \frac{\text{Relative Änderung der Produktionsmenge}}{\text{Aktivierungszeit}} = \frac{\Delta KAP \cdot \hat{T}_{ND,\max}}{K_B \cdot t_{akt}} \qquad \textbf{(Gl. 3-1)}$$

mit

FK_M	Flexibilitätskennzahl „Menge" [-]
ΔKAP	Kapazitätsänderung durch eine Anpassungsmassnahme [h / Periode oder ME / Periode]
$\hat{T}_{ND,\max}$	Maximale Nutzbarkeitsdauer, nach oben begrenzt durch die Länge des gültigen Planungszeitraums [Perioden], mit $\hat{T}_{ND,\max} \leq T_{ND,\max}$
KAP_B	Basiskapazität des betrachteten Produktionssystem [h / Periode oder ME / Periode]
t_{akt}	Aktivierungszeit [Perioden]

In Bezug auf Massnahmen zur Kapazitätserhöhung sagt diese Kennzahl aus, wie schnell ein bestimmtes zusätzliches Kapazitätsvolumen bzw. eine Produktmenge bereitgestellt werden kann. Damit wird nicht nur das Niveau der möglichen Kapazitätsänderung pro Periode berücksichtigt, sondern auch die Fähigkeit, diese aufrecht zu erhalten. Um allerdings beliebig grosse Kennzahlenwerte und damit den Verlust der Aussagefähigkeit zu vermeiden, ist die Länge des im Kontext relevanten Planungshorizontes als *obere Schranke* für den Parameter der maximalen Nutzbarkeitsdauer anzuwenden.

Wird diese Kennzahl zur Charakterisierung von Massnahmen eingesetzt, die zur gleichen Gruppe entsprechend ihrer minimalen und maximalen Nutzbarkeitsdauer gehören (siehe Kapitel 3.2.1), können Unterschiede leicht sichtbar gemacht werden. Für Anpassungsmassnahmen zur Kapazitätsreduktion gilt dieser Sachverhalt prinzipiell in gleicher Weise. Durch das in diesem Fall negative Vorzeichen beim Parameter ΔKAP ist die gesamte Kennzahl in jedem Fall kleiner als Null.

Um der Mehrdimensionalität des vorliegenden Flexibilitätsverständnisses gerecht zu werden, sollen mit einer zweiten Kennzahl die bisher noch nicht beachteten Anpassungskosten in den Mittelpunkt gerückt werden. Dazu wird vorgeschlagen, den durch eine Kapazitätsanpassung erzielten Nutzen im Sinne eines zusätzlichen Deckungsbeitrages[1] bei der Kapazitätserhöhung ins Verhältnis zum kostenmässigen Anpassungsaufwand zu stellen. Voraussetzung ist dabei,

---

[1] Als Deckungsbeitrag (häufige Abkürzung DB) wird in der betrieblichen Kostenrechnung die Differenz zwischen Umsatz und variablen Kosten bezeichnet. Variable Kosten sind solche Aufwendungen, die von der Produktmenge abhängen. Im vorliegenden Kontext sind dies vor allem Kosten für Material, Energie, Verbrauchsgüter usw. (Vgl. dazu Seiler A., Accounting, 1999, S. 173 und S. 227). In der oben stehenden Gleichung 3-2 wird für den Deckungsbeitrag die Abkürzung „db" in Kleinbuchstaben gewählt, da es sich dort um den entsprechenden Wert pro Mengeneinheit handelt.

dass der Kapazitätsbeitrag einer Anpassungsmassnahme in Mengeneinheiten angegeben werden kann.

Eine entsprechende Kennzahl lautet demnach:

$$FK_K = \frac{\text{Zusätzlicher Deckungsbeitrag}}{\text{Anpassungskosten}} = \frac{\Delta KAP \cdot \hat{T}_{IZ,\max} \cdot db}{KOA} \qquad \textbf{(Gl. 3-2)}$$

mit

FK_K	Flexibilitätskennzahl „Kosten" [-]
ΔKAP	Kapazitätsänderung durch eine Anpassungsmassnahme [ME / Periode]
$\hat{T}_{ND,\max}$	Maximale Nutzbarkeitsdauer, begrenzt durch den gültigen Planungshorizont [Perioden] mit $\hat{T}_{ND,\max} \leq T_{ND,\max}$
db	Erzielbarer Deckungsbeitrag pro zusätzlich produzierte Mengeneinheit [GE / ME]
KOA	Anpassungskosten [GE]

Die Erwartung, dass sich eine Kapazitätsanpassung positiv auf das finanzielle Ergebnis der betrieblichen Tätigkeit auswirken sollte, führt zur eindeutigen Forderung, dass die Werte der Kostenkennzahl (Gleichung 3-2) grösser als eins sein müssen. Andernfalls wäre der Aufwand zur Aktivierung einer Anpassungsmassnahme grösser als der zu erwartende Nutzen.

Die Bestimmung einer vergleichbaren Kennzahl für Massnahmen zur Kapazitätsreduktion erscheint wesentlich schwieriger. Letztlich steht bei der Kapazitätsreduzierung nicht die eigentliche Verringerung des Produktausstosses im Vordergrund, denn diese ist zumeist problemlos auch durch das Akzeptieren einer geringeren Auslastung erreichbar, sondern der Abbau von Kosten für die Bereithaltung von Personal und Betriebsmitteln. Daran anknüpfend lässt sich durchaus eine Kostenkennzahl entwickeln, bei der die mit der Kapazitätsreduktion verbundenen Einsparungsmöglichkeiten als Zähler in Gleichung 3-2 eingesetzt werden. Allerdings dürfte es in der Realität unter Umständen schwierig sein, in jedem Fall sinnvolle Zahlenwerte für die Kosteneinsparung durch eine temporäre Kapazitätsreduktion zu ermitteln. Entsprechend muss im konkreten Anwendungsfall geprüft werden, ob und wie die Kostenkennzahl zweckmässig eingesetzt werden kann. Grundsätzlich gilt jedoch, dass für einen plausiblen Vergleich der Leistungsfähigkeit verschiedener Anpassungsmassnahmen, beide Kenngrössen – die Kapazitätsmengen- und die Kostenkennzahl – heranzuziehen sind.

Um eine umfassende Transparenz zur bestehenden Flexibilität eines Produktionssystems zu erlangen, ist es darüber hinaus notwendig zu erkennen, wie die verfügbaren Einzelmassnahmen eines bestehenden Portfolios von Anpassungsmöglichkeiten zusammenwirken. Wertvolle Hilfestellung dazu leistet die graphische Darstellung von Flexibilitätsprofilen, die im nun folgenden Teilkapitel detailliert vorgestellt werden.

3.3 Flexibilitätsprofile – Visualisierung der grösstmöglichen Kapazitätsveränderung im Zeitverlauf

Sensibilisiert durch die anhaltende Diskussion um die wettbewerbsbestimmenden Vorteile der Flexibilität sowie durch die unter Umständen schon seit langem bestehende Notwendigkeit, Kapazitäten an veränderliche Kundenbedarfe anzupassen, verfügen die meisten Produktionsbetriebe heute über eine mehr oder weniger grosse Anzahl verschiedener Möglichkeiten, die eigene Kapazität zu skalieren. Obwohl es durchaus sinnvoll sein kann, ein breites Massnahmen-Portfolio zur Kapazitätsveränderung einsetzen zu können, resultiert daraus in der Regel jedoch eine gewisse Unübersichtlichkeit. Dies gilt vor allem dann, wenn es darum geht zu zeigen, wie ein Produktionssystem in der Lage ist, im Zeitverlauf auf veränderte Anforderungen zu reagieren.

Zur Auflösung dieses Defizits können die einem Produktionssystem zur Verfügung stehenden Massnahmen unter Berücksichtigung ihrer spezifischen zeitlichen Modellparameter in einem Zeit-Kapazitäts-Diagramm aufgetragen werden. Mann erhält dadurch ein Profil sich teilweise überlagernder Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung – das *Flexibilitätsprofil*. Es verdeutlicht, wie der Ausstoss eines Produktionssystems durch die Erhöhung bzw. Reduktion der Kapazität schnellstmöglich und maximal verändert werden kann. Flexibilitätsprofile können für einzelne Arbeitssysteme relativ einfach aus der Betrachtung der jeweiligen Anpassungsmassnahmen ermittelt werden. Darüber hinaus lassen sich daran anknüpfend resultierende Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme abschätzen.

3.3.1 Flexibilitätsprofil für ein einzelnes Arbeitssystem

Bei der Bestimmung eines Flexibilitätsprofils für ein einzelnes Arbeitssystem werden zunächst alle bereitstehenden, innerhalb des Planungshorizontes realisierbaren Anpassungsmassnahmen nach ihrer jeweils gültigen Aktivierungszeit sowie nach dem Vorzeichen der Kapazitätsveränderung geordnet. Ausgehend von einem feststehenden Startzeitpunkt und dem damit verbundenen Ausgangszustand eines Arbeitssystems werden die einzelnen Massnahmen nun beginnend mit dem kleinsten Wert für t_{akt} in ein Zeit-Kapazitäts-Diagramm *getrennt* nach Kapazitätserhöhung und -absenkung eingetragen. Werden für den Anfangszeitpunkt einer Massnahme die Aktivierungszeit sowie für das Ende die Summe aus Aktivierungszeit und maximaler Nutzbarkeitsdauer berücksichtigt, ergibt sich eine stufenweise Änderung der maximal möglichen Leistung eines Arbeitssystems. Die Kapazitätsbeiträge zeitgleich aktiver Massnahmen werden addiert. Eine Verrechnung der Basiskapazität mit dem pro Periode erzielte Maximalwert für die mögliche Kapazitätserhöhung bzw. -reduktion entspricht einem Punkt auf der sogenannten *Kapazitätshüllkurve*. Diese repräsentiert den Verlauf der grösstmöglichen Kapazitätsveränderung an einem Arbeitssystem im Zeitverlauf.[1] Abbildung 3.4 zeigt ein schematisches Beispiel für die Darstellung von Flexibilitätsprofilen.

---

[1] Vgl. dazu Wiendahl H.-P. / Breithaupt J.-W., Kapazitätshüllkurven, 1998

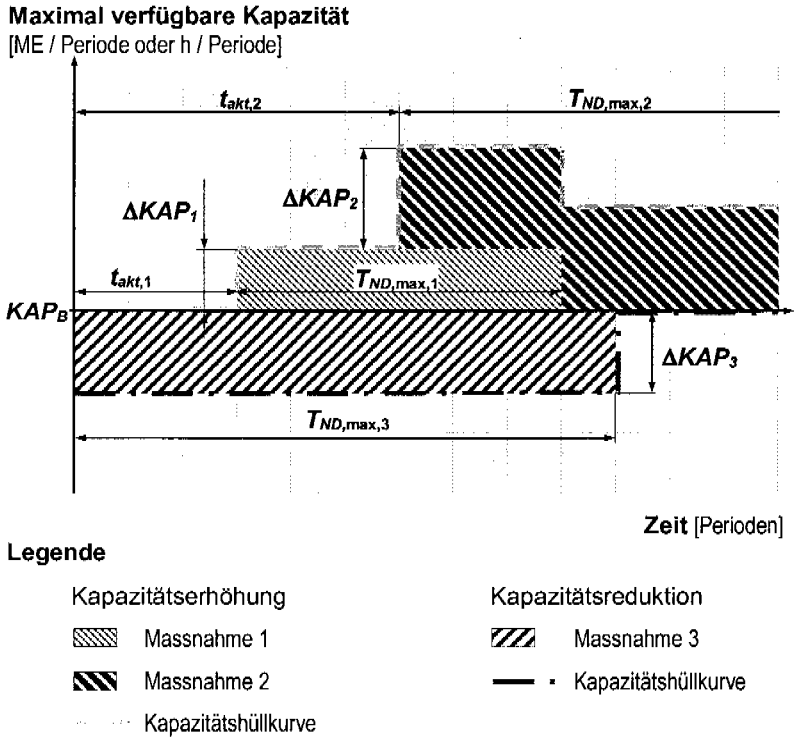


Abb. 3.4: Schematische Darstellung eines Flexibilitätsprofils für ein einzelnes Arbeitssystem

Eine mathematische Beschreibung der Kapazitätshüllkurven als zeitabhängige maximal verfügbare Kapazität erfolgt zunächst durch den Ausdruck:

$$KAP_{\max}(t) = KAP_B(t) + \sum_{j=1}^{z} \Delta KAP_j(t) \qquad \textbf{(Gl. 3-3)}$$

mit

$KAP_{\max}(t)$	Maximal verfügbare Kapazität im Zeitverlauf [ME / Periode oder h pro Periode],
$KAP_B(t)$	Basiskapazität zum Zeitpunkt t [ME / Periode oder h pro Periode],
$\Delta KAP_j(t)$	Kapazitätsänderung durch eine Anpassungsmassnahme j [h / Periode oder ME / Periode],
z	Anzahl der aktiven Anpassungsmassnahmen zur Kapazitätserhöhung bzw. -reduktion zum Zeitpunkt t [-].

Bei der genauen Bestimmung von Flexibilitätsprofilen sind verschiedene Bedingungen und Ausnahmetatbestände zu beachten, die nun an dieser Stelle in kurzer Form diskutiert werden sollen. Dazu sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es bei der Ermittlung von Flexibilitätsprofilen darum geht, die maximal mögliche Veränderung der Produktionskapazität bzw. der möglichen Ausstossleistung im Zeitverlauf deutlich zu machen. Sie stehen deshalb nicht für mögliche Anpassungsstrategien, da konkrete Schwankungen des Kapazitätsbedarfes dabei nicht berücksichtigt werden. Dieser Sachverhalt wird erst in Kapitel 4 behandelt.

Voraussetzung für die Erzeugung von Flexibilitätsprofilen ist die Kenntnis der beschreibenden Parameter für alle Massnahmen zur Kapazitätsanpassung, die in die Betrachtung einbezogen werden sollen. Im Mittelpunkt steht die Entscheidung, welche Anpassungsmassnahmen zu welchen Zeitpunkten in der Zukunft als aktiv bzw. aktivierbar gelten können. Neben den schon erwähnten zeitlichen Restriktionen (Aktivierungszeit und maximale Nutzbarkeitsdauer) sind vor allem zwei wichtige Aspekte von Belang:

Zunächst ist dies die denkbare Situation, dass es nicht machbar oder erwünscht sein kann, bestimmte Massnahmen trotz gleicher Wirkungsrichtung (Kapazitätserhöhung bzw. -reduktion) zeitgleich zu nutzen. Ein denkbares Beispiel hierfür ist die Ausdehnung der Wochenarbeitszeit durch Überstunden als erste sowie der Wechsel von einem 2-Schicht- zu einem 3-Schicht-Betrieb als zweite Massnahme. Grund hierfür ist die Tatsache, dass eine Verlängerung der Schichtdauer im 3-Schicht-Betrieb nicht möglich ist. Um derartige Konstellationen bei der Ermittlung von Flexibilitätsprofilen korrekt abzubilden, ist mit der Spezifikation der beschreibenden Parameter für die bereitstehenden Anpassungsmassnahmen festzulegen, ob zwischen diesen solche, sich gegenseitig ausschliessende Beziehungen bestehen. Zudem müssen Prioritätsbestimmungen formuliert werden, so dass im Konfliktfall festgelegt ist, welche Massnahme vorzuziehen ist.

Des weiteren muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die tatsächlich mögliche Nutzbarkeitsdauer mancher Massnahmen vom Umfang der Nutzung einer anderen abhängen kann bzw. mehrere Massnahmen sich im Hinblick auf die Dauer ihrer zeitlichen Verfügbarkeit gegenseitig beeinflussen. In erster Linie gelten diese Überlegungen für solche Massnahmen, welche die Einsatzzeit des Personals verkürzen, verschieben oder verlängern – also Überstunden, Zusatzschichten usw. Die heute in vielen Betrieben übliche Verwendung von Zeitkonten führt dazu, dass es für die einzelnen Mittel zur Arbeitszeitveränderung immer weniger starre Einsatzregeln gibt. Stattdessen besteht lediglich eine gemeinsame Beschränkung des Nutzungsumfanges in Form von Ober- und Untergrenzen des Arbeitszeit-Kontostandes.[1] Zur Ableitung von Flexibilitätsprofilen dürfen bei arbeitszeitbezogenen Anpassungsmassnahmen deshalb unter Umständen keine festen Werte für die maximale Nutzbarkeitsdauer eingesetzt werden. Vielmehr muss mit Hilfe einer gemeinsamen Bezugsgrösse (beispielsweise der fallspezifisch gültigen Grenze eines Arbeitszeitkontos) die jeweils noch verfügbare Nutzbarkeitsdauer periodisch neu bestimmt werden.

Für die Darstellung der genannten Bedingungen bei der Ermittlung von Flexibilitätsprofilen bzw. Kapazitätshüllkurven, ist die Verwendung eines einfachen Gleichungssystems nicht mehr ausreichend. Stattdessen wurde zu diesem Zweck ein Algorithmus entworfen, der in Abbildung 3.5 wiedergegeben wird. Dieser gliedert sich im wesentlichen in 3 Schritte:

- Bestimmung der aktiven Massnahmen pro Periode,
- Berechnung der maximal verfügbaren Kapazität und des maximal möglichen Ausstosses pro Periode,
- Neuberechnung der anschliessend noch verfügbaren Nutzbarkeitsdauer für die bereitstehenden Anpassungsmassnahmen.

---

[1] Siehe dazu u.a. Moderegger H.A., Arbeitszeitsysteme, 1998.

Für die detaillierte Formulierung des Algorithmus gilt die folgende Variablendeklaration:

Zu spezifizierende Grössen

p	: Anzahl der Planungsperioden (Planungsdauer)
z	: Anzahl der für die Erstellung des Flexibilitätsprofils ausgewählten Anpassungsmassnahmen;
AZB[j]	: Betrag der für den Einsatz einer arbeitszeitrelevanten Massnahme in einer Periode benötigten Arbeitszeit
BKAP[t]	: Basiskapazität des betrachteten Arbeitssystems in Periode t, Spezifikation für alle Perioden t von 1 bis p erforderlich
BST[j, h]	: Beziehungsstatus der Massnahme j zu einer Massnahme h („0": Massnahmen schliessen sich gegenseitig *nicht* aus, „1": Massnahmen schliessen sich gegenseitig aus, Massnahme j hat Priorität, „2": Massnahmen schliessen sich gegenseitig aus, Massnahme i hat Priorität), Spezifikation für alle Massnahmen notwendig (z.B. als Matrix)
DKAP[j]	: Kapazitätsveränderung durch Massnahme j
DLZ	: Durchschnittliche Auftragsdurchlaufzeit am betrachteten Arbeitssystem (in ganzen Perioden)
MTYP[j]	: Massnahmentyp (Werte: AZN – „arbeitszeitneutral", AZR – „arbeitszeitrelevant")
TAKT[j]	: Aktivierungszeit der Massnahme j
TNDMAX[j]	: Maximale Nutzbarkeitsdauer der Massnahme j

Berechnete Zwischenvariablen und Ergebniswerte

t	: Periodenzähler (Zeit), mit dem Wertebereich $1 \leq t \leq p$
ASF[j]	: Status der Aktivität einer Anpassungsmassnahme (Faktor, „0": nicht aktiv, „1": aktiv)
AZKONTO[t]	: Stand des Arbeitszeitkontos (Betrag der noch verfügbaren Zeit) am Ende von Periode t; Anfangswert AZKONTO[0] muss vorgegeben werden, sinnvolle Werte sind z.B. die Ober- bzw. Untergrenzen der realen Arbeitszeitkonten im untersuchten Betrieb
AZKONTOV	: Stand des virtuellen Arbeitszeitkontos (Hilfsvariable)
KAPMAX[t]	: Maximal verfügbare Kapazität in Periode t
OMAX[t]	: Maximal möglicher Ausstoss der verarbeitenden Ressource des betrachten Arbeitssystems in Periode t
TND[j, t]	: Verbleibende Nutzbarkeitsdauer der Massnahme j am Ende einer Periode t

Beginn

A Setzen von Anfangswerten

a) Festlegung des Planungszeitraumes p

b) Auswahl der zu behandelnden Anpassungsmassnahmen in fortlaufender Nummerierung (Anzahl z). Massnahmen zur Kapazitätserhöhung und -absenkung sind getrennt zu betrachten.

c) Setzen der Anfangswerte für die verbleibende Nutzbarkeitsdauer alle Anpassungsmassnahmen j:

- *Für jede* Massnahme j *gilt*: TND[j] := TNDMAX[j]

d) Setzen des Anfangswertes für das Arbeitszeitkonto des betrachteten Arbeitssystems AZKONTO[0]

B *Erste Schleife*: für jede Periode t, mit 1 ≤ t ≤ p

a) Zurücksetzen des Aktivitätsstatus':

- *Für jede* Massnahme j *gilt*: ASF [j] := 0

1 *Zweite Schleife*: für jede Massnahme j, mit 1 ≤ j ≤ z, in der Reihenfolge steigender Werte für die Aktivierungszeit (Bestimmung des Aktivitätsstatus')

a) Prüfung der Einhaltung der Aktivierungszeit:

- *Falls* t ≥ TAKT[j], *dann* ASF[j] := 1

b) Prüfung bezüglich Einhaltung der maximalen Nutzbarkeitsdauer:

- *Falls* TND[j] < 1, *dann* ASF[j] := 0

c) Prüfung der Prioritätsregeln:

- a := Anzahl der bereits aktiven Massnahmen in Periode t ohne Massnahme j
- *Dritte Schleife*: für jede bereits aktive Massnahme h, mit 1 ≤ h ≤ a
  - *Falls* BST[j, h] = 1, *dann* ASF[h] := 0
  - *Falls* BST[j, h] = 2, *dann* ASF[j] := 0

  Ende der dritten Schleife

Ende der zweiten Schleife

2 Berechnung der Werte für die maximal verfügbare Kapazität bzw. den maximal möglichen Ausstoss

a) Maximal verfügbare Leistung in Periode t

- KAPMAX[t] := BKAP[t] + (DKAP[1] · ASF[1] + DKAP[2] · ASF[2] + ... + DKAP[z] · ASF[z])

b) Maximal möglicher Ausstoss in Periode t

- OMAX[t] := KAPMAX[t-DLZ]

3 Neubestimmung der verbleibenden Nutzbarkeitsdauer

a) Übertrag für den Anfangswert des Arbeitszeitkontos in Periode t:

- AZKONTO[t] := AZKONTO[t-1]

b) *Vierte Schleife*: für jede aktive Massnahme k, *für die gilt*, ASF[j] = 1, *mit* $1 \leq j \leq z$

- *Falls* MTYP[k] = AZN, *dann* TND[k] := TND[k] - 1

  Ansonsten

  - AZKONTO[t] := AZKONTO[t] - AZB[k]
  - AZKONTOV := AZKONTO[t]
  - *Fünfte Schleife:* für jede arbeitszeitrelevante Massnahme w, *für die gilt* MTYP[j] = AZR, *mit* $1 \leq j \leq z$, in der Reihenfolge ihrer zueinander geltenden Priorität (absteigend)
    - TND[w] := AZKONTOV / AZB[w]
    - AZKONTOV := AZKONTOV - AZB[w]

    Ende der fünften Schleife

  Ende der vierten Schleife

Ende der ersten Schleife

Ende des Algorithmus

Abb. 3.5: Algorithmus zur Bestimmung von Flexibilitätsprofilen für einzelne Arbeitssysteme

Ergänzend zum oben dargestellten Rechenverfahren sollen an dieser Stelle noch zwei Hinweise gegeben werden:

Bei der Berechnung der verbleibenden maximalen Nutzbarkeitsdauer („TND") für arbeitszeitrelevante Massnahmen liegt die nachfolgend erläuterte Überlegung zugrunde. Die im Algorithmus eingeführte Variable „AZKONTO" repräsentiert den betragsmässigen Wert, der noch durch Mehrarbeit (Flexibilitätsprofil für die Kapazitätserhöhung) bzw. durch Arbeitszeitverkürzungen (Flexibilitätsprofil für die Kapazitätsreduktion) konsumiert werden kann. Werden nun in einer Periode eine oder mehrere arbeitszeitrelevante Massnahmen aktiviert, reduziert sich der Wert der Variable entsprechend. Soll entschieden werden, ob in der darauf folgenden Periode ebenfalls arbeitszeitrelevante Massnahmen aktiviert werden können und falls ja, welche, ist eine Vorausschau auf die Veränderung des Arbeitszeitkontos nötig, die sich durch die schrittweise Massnahmenaktivierung in Periode *t+1* ergeben würde. Als sinnvolle

Anfangswerte (AZKONTO[0]) können die geltenden Ober- bzw. Untergrenzen der realen Arbeitszeitkonten im Betrieb eingesetzt werden.[1]

Als zweite Anmerkung ist im Hinblick auf die Vollständigkeit noch zu erwähnen, dass es durch die Anwendung der Prioritätsbedingungen, also dem Bevorzugen einer Massnahme gegenüber einer anderen, dazu kommen kann, dass eine in den vorangegangenen Perioden bereits aktive Massnahme beendet werden muss. Streng genommen ist dabei die Einhaltung der minimalen Nutzbarkeitsdauer zu prüfen. Da es bei der Ermittlung von Flexibilitätsprofilen jedoch nicht um eine Anpassungsplanung, sondern vielmehr um die Darstellung von Handlungsoptionen geht, wird der genannte Aspekt vernachlässigt.

Das Ergebnis der Berechnung von Flexibilitätsprofilen ist schliesslich eine ausserordentlich übersichtliche Darstellung des Massnahmenportfolios, die durch die Vereinigung der Informationen zu *Kapazitätsbeitrag* und *zeitlicher Verfügbarkeit* signifikante Vorteile im Vergleich zu anderen graphischen Möglichkeiten, wie etwa der in Abbildung 2.23 gezeigten Darstellung, besitzt. Ein praxisbezogenes Beispiel für ein Flexibilitätsprofil wird in Abbildung 3.6 wiedergegeben. Darin sind typische Massnahmen zur Kapazitätsveränderung aufgeführt, die bevorzugt im kurz- und mittelfristigen Planungszeitraum von Bedeutung sein können.

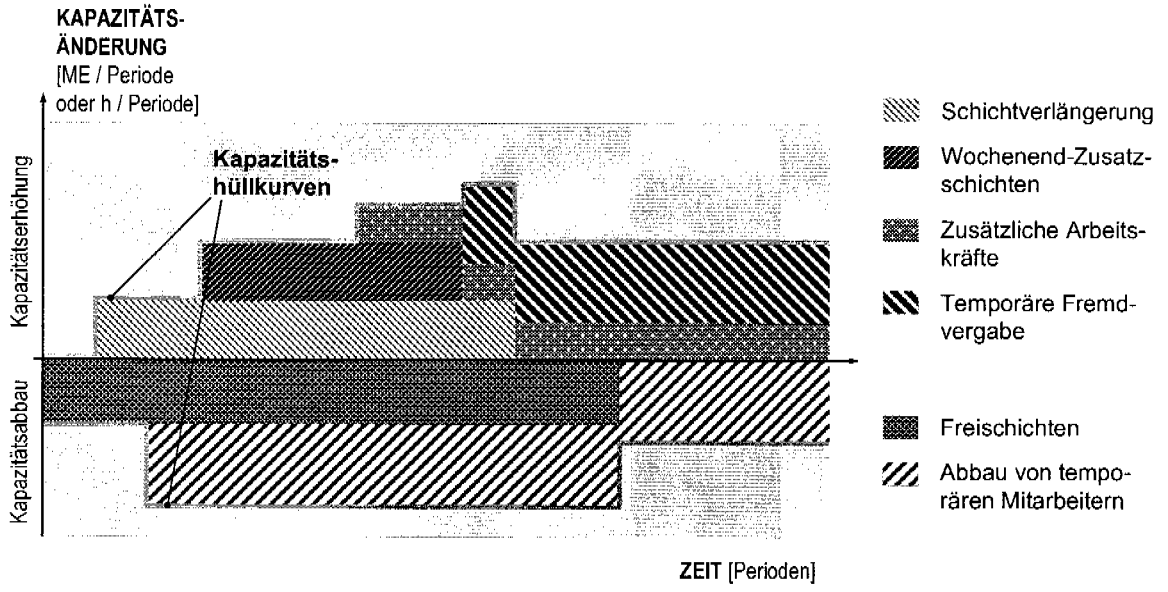


Abb. 3.6: Beispielhafte Darstellung eines typischen Flexibilitätsprofils für ein einzelnes Arbeitssystem

[1] Zur Illustration soll hier noch ein einfaches Beispiel diskutiert werden: Stehen einem Arbeitssystem (mit AZKONTO[t-1] = 18) zwei arbeitszeitrelevante Anpassungsmassnahmen (z.B. Überstunden, mit AZB[1] = 2 und Zusatzschicht, mit AZB[2] = 8) zur Verfügung, die in Periode *t* aktiv sind, so gilt am Ende dieser Periode AZKONTO[t] = 8. Wird für die Massnahme „Überstunden" eine höhere Priorität angenommen, so erfolgt zuerst die Rechnung TND[1] = AZKONTOV / AZB[1] = 8 / 2 = 4. Die Massnahme 1 kann also mindestens in der nächsten Periode noch einmal aktiviert werden. Bei der gleichen Rechnung für die Massnahme „Zusatzschicht" muss die Hilfsvariable AZKONTOV zunächst um den Wert von AZB[1] reduziert werden. Als Wert für die verbleibende Nutzbarkeitsdauer für Massnahme 2 gilt dann TND[2] = 6 / 8 = 0.75. Da dies kleiner als 1 ist, wird die Aktivierung durch die Anweisung 1b) im oben formulierten Algorithmus verhindert.

Zusätzlich zur übersichtlichen Darstellung der verfügbaren Anpassungsoptionen für ein Arbeitssystem können Flexibilitätsprofile eingesetzt werden, um grundsätzliche Aussagen zur Angemessenheit der vorhandenen Kapazitäts-Flexibilität zu treffen. Mit Hilfe der Modell-Parameter zur Beschreibung von Schwankungen des Kapazitätsbedarfes lassen sich im Einzelfall typische Schwankungsereignisse ebenfalls in ein Zeit-Kapazitäts-Diagramm eintragen. Unabhängig von dieser formalen graphischen Darstellung zeigt die vergleichende Gegenüberstellung von Bedarfsveränderung und möglicher Kapazitätsanpassung eindeutig, welche Massnahmen zur Beherrschung bestimmter Schwankungsereignisse geeignet sind. Gleichzeitig wird auch erkennbar, für welche Schwankungstypen möglicherweise keine zweckmässigen Anpassungsmöglichkeiten existieren. Dies wäre beispielsweise dann gegeben, wenn die Aktivierungszeiten aller disponiblen Anpassungsoptionen grösser sind, als die Zeitspanne, die zwischen Erkennen und Eintritt einer Veränderung des Kapazitätsbedarfs liegt. Eine mögliche Reaktion könnte daraufhin sein, im Rahmen der strategischen Flexibilitätsplanung zusätzliche, den Anforderungen entsprechende Anpassungsmassnahmen bereitzustellen.

3.3.2 Resultierende Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme

Bei den bisherigen Überlegungen zu den Flexibilitätsprofilen wurden bisher lediglich einzelne Arbeitssysteme betrachtet. Zudem wurde davon ausgegangen, dass die Verfügbarkeit des zu verarbeitenden Materials nicht limitierend wirkt. Bei einer Übertragung des Ansatzes auf mehrere, eine Lieferkette bildende Arbeitssysteme muss diese Annahme jedoch in Frage gestellt werden.

Ähnlich wie bei der Bestimmung der maximal möglichen Leistung eines Systems, die sich aus dem Minimum der verfügbaren Betriebsmittel- und der nutzbaren Personalkapazität ergibt, gilt auch für einen Produktionsbereich, der aus mehreren verketteten Arbeitssystemen besteht, das Engpass-Prinzip. Entsprechend kann die Kapazitäts-Flexibilität einer mehrstufigen Produktion zu einem bestimmten Zeitpunkt aus den jeweiligen Kapazitäts-Flexibilitäten der zugehörigen Arbeitssysteme abgeleitet werden, wobei jenes mit den geringsten Veränderungsmöglichkeiten das Gesamtsystem prägt. Diese durchaus plausible Erkenntnis ist in der Praxis von grosser Bedeutung. Aufgrund der Komplexität mehrstufiger Herstellungsprozesse besteht hier möglicherweise die Tendenz, lediglich die am nächsten zum Endprodukt liegenden Produktionsschritte, zum Beispiel die Endmontage, zu betrachten und deren Kapazitäts-Flexibilität als die gegenüber dem Kunden realisierbare zu interpretieren. Dies ist aber nicht in jedem Fall zulässig, da ein Arbeitssystem seinen Produktausstoss erst dann tatsächlich erhöhen kann, wenn das vom Vorgänger-Arbeitssystem gelieferte Eingangsmaterial in ausreichender Menge bereit steht. Die limitierende Wirkung der sekundären Kapazitätsdeterminante *Material* (vgl. Kapitel 2.3.1) darf hier also nicht vernachlässigt werden.

Um eine betriebsinterne Lieferkette realistisch abbilden zu können, muss der Begriff des Arbeitssystems erweitert werden, zu dem bisher ausschliesslich die verarbeitende Ressource, das heisst die Produktionsmitarbeiter sowie die von ihnen bediente technische Produktionsanlage, gezählt wurde. Abbildung 3.7 zeigt diese Erweiterung, die aus einem zusätzlichen Warteschlangepuffer und einem gegebenenfalls existierenden nachgelagerten Pufferlager besteht. Letzteres ist geeignet, die Versorgung der nachfolgenden Stufe bzw. des Kunden zumindest temporär von der Produktionsleistung des untersuchten Arbeitssystems zu entkoppeln. Ein mehr oder weniger zeitaufwändiger Transport stellt schliesslich das zu verar-

beitende Material am Nachfolger-Arbeitssystem bereit. Durch eine Verknüpfung mehrere solcher Arbeitssystem-Modelle lassen sich prinzipiell beliebig lange mehrstufige, allerdings unverzweigte Versorgungsketten abbilden.[1]

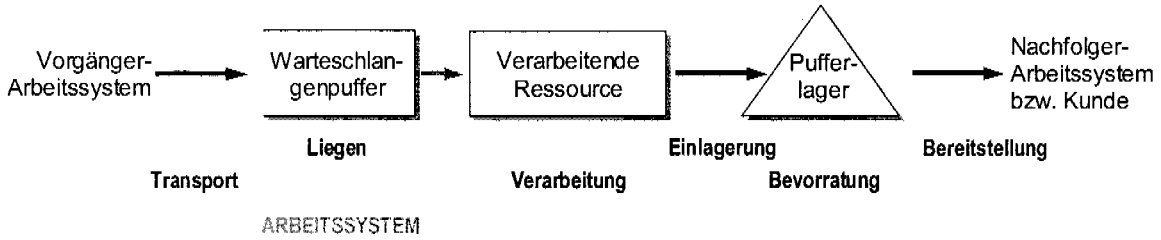


Abb. 3.7: Erweitertes Modell eines Arbeitssystems

Spätestens jetzt wird erkennbar, dass die Materialbereitstellung entlang einer verketteten Fertigung einer zeitlichen Verzögerung unterliegt, die nicht nur durch den Zeitaufwand für die Auftragsbearbeitung auf den einzelnen Stufen entsteht, sondern auch von zusätzlichen Transport- und Liegezeiten beeinflusst wird. Soll nun die Frage beantwortet werden, in welchem Zeitraum ein bestimmter erhöhter Produktausstoss realisiert werden kann, so sind zwei limitierende Aspekte zu beachten. Dies ist einerseits die Aktivierungszeit, die verstreicht, um eine gewählte Massnahme zur Kapazitätserhöhung zu implementieren, und andererseits die Wiederbeschaffungszeit für das zusätzlich benötigte Eingangsmaterial. Die Wiederbeschaffungszeit selbst wird bestimmt von der Durchlaufzeit am Vorgänger-Arbeitssystem. Für eine fundierte Diskussion dieses Sachverhaltes sollen die zu einem Arbeitsgang einer verketteten Fertigung gehörenden Zeitelemente genauer untersucht werden.[2] Eine entsprechende schematische Darstellung dieser Zeitabschnitte für ein Arbeitssystem enthält Abbildung 3.8. Die Zwischenlagerung in einem Puffer nach der Bearbeitung wird dabei nicht berücksichtigt.

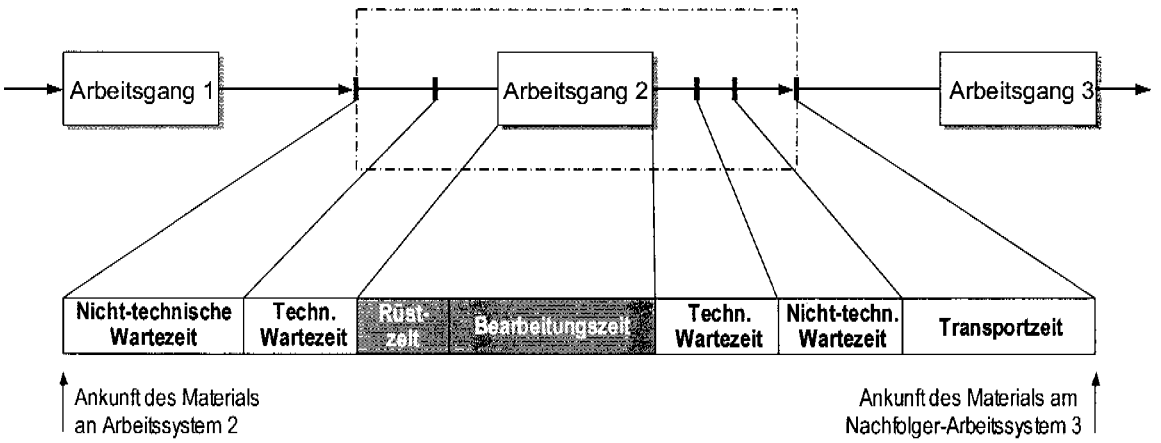


Abb. 3.8: Zeitelemente des Auftragsdurchlaufes (Quelle: Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 621, mit Änderungen)

[1] Vgl. Scholtissek P., Simulationsprüfstand, 1996, S. 58 ff.

[2] Unter einem Arbeitsgang wird hierbei ein wesentlicher Herstellungsschritt verstanden, der in der Regel auch mit einem bestimmten Arbeitssystem, z.B. einer Maschine für bestimmte Fertigungsoperationen, verbunden ist.

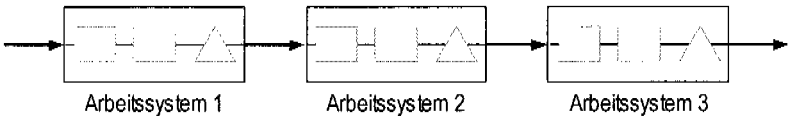
Die oben stehende Abbildung verdeutlicht, dass einige, die Durchlaufzeit an einem Arbeitssystem bestimmende Zeitabschnitte, vor und andere nach der eigentlichen Bearbeitung liegen. Die *Nicht-Technische Wartezeit vor der Bearbeitung* ist typischerweise der Zeitraum, den ein Produktionsauftrag in einer Warteschlange verbringt, bis das Arbeitssystem zur Durchführung der Bearbeitung frei geworden ist. Diese Zeit ist, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 diskutiert, abhängig von der Auslastung des Arbeitssystems. *Die Technische Wartezeit vor dem Arbeitsgang* enthält möglicherweise notwendige Vorbereitungszeiten wie Aufwärmen, Reinigen etc., die vor der eigentlichen Bearbeitung anfallen, das Arbeitssystem jedoch noch nicht kapazitiv belasten. Die *Rüstzeit* und die *Bearbeitungszeit* eines Auftrages bilden zusammen die Auftragszeit oder Arbeitsgangdauer. Beide belasten die Kapazität des Arbeitssystems. Auch *nach Ende der Bearbeitung* sind Technische und Nicht-Technische Wartezeiten zu beachten. Die erstgenannte entsteht durch gegebenenfalls erforderliche Zeiten für die Abkühlung oder Trocknung der Produkte und gegebenenfalls auch durch Qualitätsprüfungen. Hingegen kann der Nicht-Technische Teil der Wartezeit nach Bearbeitung als einfache Liegezeit (zum Beispiel in einem Pufferlager) angesehen werden, die vergeht, bis der fertiggestellte Auftrag zum nächsten Arbeitssystem bzw. zum Abnehmer transportiert wird. In der Praxis ist dies vor allem dann relevant, wenn feste Transportintervalle bestehen oder die Transportkapazität begrenzt ist, so dass auch hier, ähnlich wie bei der Bearbeitung selbst, Wartezeiten bei der Abfertigung entstehen. Schliesslich steht die *Transportzeit* für die Zeitdauer, die benötigt wird, um das Material von einer bearbeitenden Stelle zur nächsten zu überführen. Sie ist entscheidend davon abhängig, wie gross einerseits die zu überwindende Entfernung ist und welche Transportmittel dafür zur Verfügung stehen.[1]

Die minimale Länge der Wiederbeschaffungszeit ergibt sich damit aus den Technischen Wartezeiten sowie aus der Auftrags- und Transportzeit. Keine dieser Zeitelemente ist entweder durch eine Kapazitätsveränderung oder eine priorisierte Bearbeitung beeinflussbar. Sie muss in jedem Fall berücksichtigt werden, wenn es darum geht, die Möglichkeiten zur Erhöhung des Ausstosses einer Fertigung, bestehend aus mehreren verketteten Arbeitssystemen, zu bestimmen. Auch die Nicht-technischen Wartezeiten können dabei nicht in jedem Fall vernachlässigt werden. Soll etwa der Ausstoss nicht für das gesamte Produktspektrum erhöht werden, sondern nur für einen Teil oder sogar nur für ein Produkt, so ist mit Liegezeiten in Warteschlangen insbesondere vor der Bearbeitung zu rechnen. Dies gilt vor allem dann, wenn auf das Vorziehen von Produktionsaufträgen aufgrund seiner problematischen Auswirkungen auf die Varianz der Durchlaufzeit und damit auf die Termintreue verzichtet werden soll. Die Empfehlung muss daher lauten, bei der Bestimmung der Wiederbeschaffungszeit alle Elemente der Durchlaufzeit für einen Produktionsauftrag in Betracht zu ziehen.

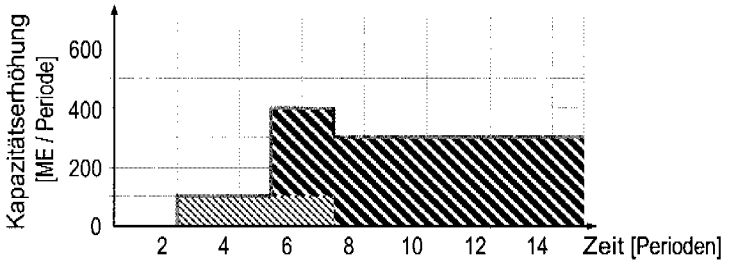
Abbildung 3.9 zeigt ein einfaches Beispiel für ein resultierendes Flexibilitätsprofil einer Fertigung, die aus drei verketteten Arbeitssystemen mit jeweils 2 bzw. 3 möglichen Anpassungsmassnahmen besteht. Es wird angenommen, dass die Wiederbeschaffungszeiten in den Produktionsstufen jeweils konstant sind und in den der Bearbeitung nachgeordneten Pufferlagern *kein* Anfangsbestand vorhanden ist. Ausserdem gilt, dass die Basiskapazität bei allen Arbeitssystemen gleich gross ist.

---

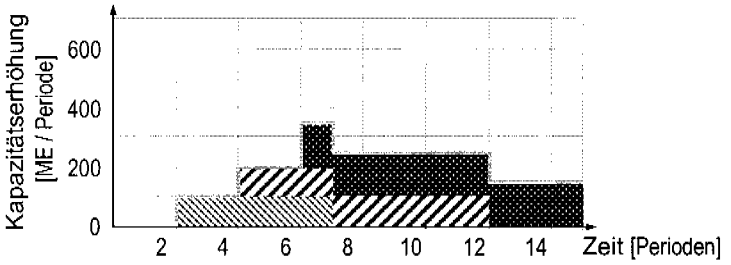
[1] Detaillierte Erläuterungen zu Durchlaufzeit und Zeitelementen zwischen zwei Arbeitsgängen sind u.a. bei Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 619 ff. und Nyhuis P. / Wiendahl H.-P., Logistische Kennlinien, 2003, S.21 ff. zu finden.



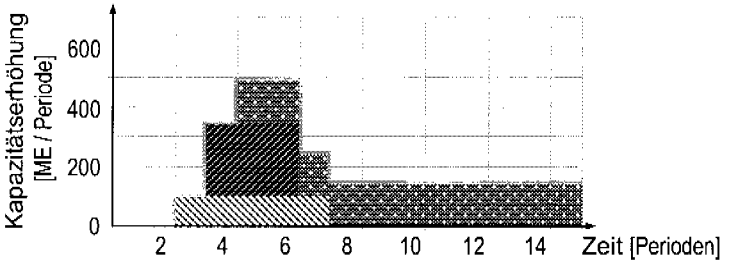
a) **Anordnung der Arbeitssysteme**



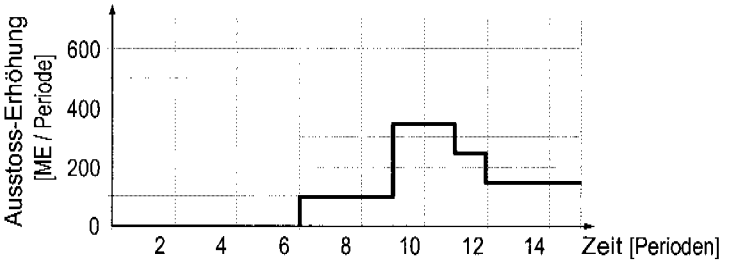
b) **Flexibilitätsprofil des Arbeitssystems 1** (zwei Massnahmen verfügbar, angenommene Durchlaufzeit: 2 Perioden)



c) **Flexibilitätsprofil des Arbeitssystems 2** (3 Massnahmen verfügbar, angenommene Durchlaufzeit: 1 Periode)



d) **Flexibilitätsprofil des Arbeitssystems 3** (3 Massnahmen verfügbar, angenommene Durchlaufzeit: 1 Periode)



e) **Resultierendes Flexibilitätsprofil des Gesamtsystems**

Abb. 3.9: Beispiel eines resultierenden Flexibilitätsprofils (tatsächlicher Ausstoss) für ein dreistufiges Produktionssystem

Bemerkenswert ist, dass die Überlagerung der Flexibilitätsprofile der Einzel-Arbeitssysteme unter Beachtung der Wiederbeschaffungs- bzw. Durchlaufzeiten zu einem völlig veränderten Verlauf des maximal möglichen Produktausstosses führt. Abbildung 3.9 verdeutlicht, dass dieser bereits beim untersuchten dreistufigen Modell-System nicht mehr unmittelbar aus den Einzelprofilen abzuleiten ist. Grund für den beobachteten Effekt ist die Tatsache, dass der Zeitpunkt der Aktivierung der Anpassungsmassnahmen an den Arbeitssystemen 2 und 3 so gewählt werden kann, dass die erhöhte Kapazität erst dann bereit steht, wenn das zusätzlich benötigte Material von den jeweils vorgelagerten Arbeitssystemen geliefert wurde. Dies führt zumindest bei einigen Massnahmen zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Verschiebung des möglichen Nutzungszeitraums.

Bevorzugt im kurzfristigen Planungshorizont kann damit die Durchlaufzeit zur mitbestimmenden Grösse für eine mögliche Erhöhung des Produktausstosses werden. Gegebenenfalls vorhandene Pufferbestände führen durch ihre temporär entkoppelnde Wirkung dazu, dass im Materialfluss nachgeordnete Stufen einer Produktionskette ihren Ausstoss unter Umständen schneller steigern können.

Ähnlich wie für einzelne Arbeitssysteme ist der Ablauf zur Ermittlung resultierender Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme durch einen Algorithmus darstellbar. Als Grundlage dafür sollen jedoch zuvor einige prinzipielle Überlegungen angestellt werden, die zum Verständnis des in Abbildung 3.11 wiedergegebenen Berechnungsverfahrens beitragen sollen. Ausgangspunkt ist die Erkenntnis, dass der zu einem beliebigen Zeitpunkt erzielbare maximale Ausstoss eines Arbeitssystems, das Teil einer verketteten Fertigung ist, einerseits von der eigenen maximal möglichen Leistung, andererseits aber auch von den Möglichkeiten des Vorgänger-Arbeitssystems bestimmt wird, zusätzliches Material bereitzustellen. Damit wird gleichzeitig offensichtlich, dass der limitierende Einfluss der Materialverfügbarkeit nur bei einer Kapazitätserhöhung relevant ist, nicht aber bei einer Kapazitätsreduktion. Aus diesem Grund gelten die nachfolgend formulierten Zusammenhänge zunächst ausschliesslich für die Ermittlung resultierender Flexibilitätsprofile für die Kapazitätserhöhung.

Die Berechnung des maximal möglichen Ausstosses erfolgt stufenweise pro Arbeitssystem. Dabei wird jeweils auf die Ausstossleistung des Vorgängers zurückgegriffen. Abbildung 3.10 zeigt die relevanten Variablen für ein beliebiges Arbeitssystem *i* in einer Kette mehrerer strukturell gleichartiger Produktionsstufen.

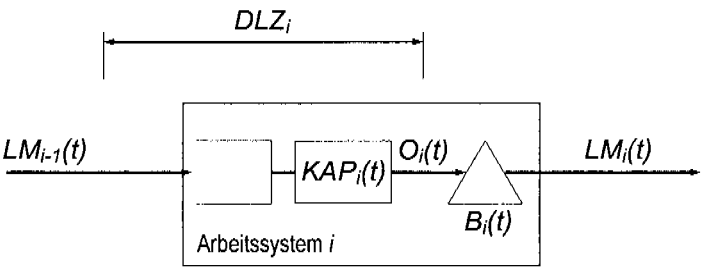


Abb. 3.10: Variablen für die Berechnung resultierender Flexibilitätsprofile

Der maximal mögliche Produktausstoss eines Arbeitssystems *i* setzt sich zusammen aus der produzierten Menge der verarbeitenden Ressource in Periode *t* und dem zum gleichen Zeitpunkt verfügbaren Bestand.

Damit folgt die Beziehung:

$$LM_{i,\max}(t) = B_i(t) + O_{i,\max}(t) \qquad \textbf{(Gl. 3-4)}$$

mit

i	Arbeitssystemzähler mit $1 \leq i \leq n$,
$LM_{i,\max}(t)$	Maximal mögliche Liefermenge des Arbeitssystems i zum Zeitpunkt t [ME / Periode],
$B_i(t)$	Bestand im Pufferlager nach der Bearbeitung zum Zeitpunkt t [ME],
$O_{i,\max}(t)$	Maximal möglicher Ausstoss der verarbeitenden Ressource zum Zeitpunkt t [ME / Periode].

Der maximal mögliche Ausstoss der verarbeitenden Ressource des Arbeitssystems i, also Personal und Produktionsanlage, ergibt sich durch das Minimum aus der maximal verfügbaren Kapazität und dem maximal möglichen Ausstoss des Vorgänger-Arbeitssystems, was der Materialverfügbarkeit entspricht. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass für ein bestimmtes Ausstoss-Niveau zum Zeitpunkt t Material und Kapazität bereits um den Betrag der Durchlaufzeit des Arbeitssystems i früher zur Verfügung stehen müssen. Daher gilt die Gleichung:

$$O_{i,\max}(t) = \mathrm{MIN}\left\{LM_{i-1,\max}(t - DLZ_i); KAP_{i,\max}(t - DLZ_i)\right\} \qquad \textbf{(Gl. 3-5)}$$

mit

DLZ_i	Durchlaufzeit am Arbeitssystem i [Perioden],
$LM_{i-1,\max}(t - DLZ_i)$	Maximal mögliche Liefermenge des Vorgänger-Arbeitssystems von i zum einem Zeitpunkt $(t - DLZ_i)$ [ME / Periode],
$KAP_{i,\max}(t - DLZ_i)$	Maximal verfügbare Kapazität [ME / Periode].

Unter Verwendung von Gleichung 3-3 folgt daraus:

$$O_{i,\max}(t) = \mathrm{MIN}\left\{LM_{i-1,\max}(t - DLZ_i); KAP_{B,i} + \sum_{j=1}^{z} \Delta KAP_{i,j}(t - DLZ_i)\right\} \qquad \textbf{(Gl. 3-6)}$$

mit

$KAP_{B,i}$	Basiskapazität des Arbeitssystems i [ME / Perioden],
$\Delta KAP_{i,j}(t - DLZ_i)$	Kapazitätserhöhung durch Massnahme j des Arbeitssystems i zum Zeitpunkt $(t - DLZ_i)$ [ME / Periode],
z	Anzahl der in Periode t aktiven Anpassungsmassnahmen zur Kapazitätserhöhung [-].

Soll nun der Verlauf des maximal möglichen Ausstosses für eine bestimmte Stufe abgeschätzt werden, muss die Berechnung schrittweise, beginnend mit dem in Materialflussrichtung gesehen ersten Arbeitssystem in der Kette, durchgeführt werden. Für dieses wird angenommen,

dass eine zu jeder Zeit ausreichend grosse Menge an Eingangsmaterial bereit steht. Darüber hinaus wird auch hier vorausgesetzt, dass der Wert der Durchlaufzeit jeder Produktionsstufe konstant bleibt. Diese Vereinfachung erscheint aber durchaus zulässig, weil es ja gerade das Ziel der bedarfsgerechten Kapazitätsanpassung ist, die Auslastung eines Arbeitssystems konstant zu halten. Entsprechend der in Kapitel 2.3.2 erläuterten Zusammenhänge folgen damit gleichbleibende Werte für die mittlere Reichweite und die mittlere Durchlaufzeit. Allerdings ist jedoch davon auszugehen, dass diese Bedingung in der Realität nicht exakt einzuhalten ist. Die oben angeführten Beziehungen sind deshalb lediglich als Abschätzung der Kapazitätsflexibilität einer verketteten Fertigung anzusehen und weniger als deren exakte Bestimmung.

Daran anknüpfend kann nun der folgende Algorithmus zur Ermittlung resultierender Flexibilitätsprofile verketteter Arbeitssysteme entwickelt werden. Dazu wird das in Abbildung 3.5 vorgestellte Rechenverfahren erweitert. Die dort bereits eingeführte Variablendeklaration muss dazu um die folgenden Elemente ergänzt werden:

n : Anzahl der verketteten Arbeitssysteme, die in die Bestimmung der resultierenden Flexibilitätsprofile einbezogen werden, Anzahl und Reihenfolge muss zu Beginn spezifiziert werden

BESTD[i, t] : Bestand im Pufferlager nach der Bearbeitung in Arbeitssystem i am Ende der Periode t (vgl. Abbildung 3.10), Anfangswerte für den Bestand aller Arbeitssysteme BESTD[i, 0] müssen spezifiziert werden

MATV[i, t] : Verfügbare Materialmenge zur Verarbeitung in Periode t (Entspricht dem Wert der maximal möglichen Liefermenge entsprechend Abbildung 3.10), die Werte für das erste Arbeitssystem MATV[1, t] müssen für alle Betrachtungsperioden vorgegeben werden.

Hinweis: Zur eindeutigen Identifizierung der auf ein bestimmtes Arbeitssystem bezogenen Grössen wird eine doppelte Indizierung eingeführt, wobei der Index für die Bezeichnung des Arbeitssystems immer an erster Stelle steht.

Beginn

A Setzen von Anfangswerten

a) Festlegung des Planungszeitraumes p.

b) Festlegung der Anzahl der verketteten Arbeitssysteme n, Nummerierung in aufsteigender Reihenfolge, beginnend mit dem ersten Arbeitssystem in Materialflussrichtung.

c) Auswahl der zu behandelnden Anpassungsmassnahmen in fortlaufender Nummerierung (Anzahl z) pro Arbeitssystem. Es werden nur Massnahmen zur Kapazitätserhöhung betrachtet.

d) Setzen der Anfangsbestände BESTD[i, 0] für alle Arbeitssysteme i von 1 bis n

e) Setzen der Anfangswerte für die Arbeitszeitkonten AZKONTO[i, 0] für alle betrachteten Arbeitssysteme i von 1 bis n

f) Festlegung von Anfangswerten für die Materialverfügbarkeit am ersten Arbeitssystem MATV[1, t] für alle Werte von t

B ***Erste Schleife*: für jedes Arbeitssystem i, *mit* 1 ≤ i ≤ n, in aufsteigender Reihenfolge**

a) Setzen der Anfangswerte für die verbleibende Nutzbarkeitsdauer aller Anpassungsmassnahmen j pro Arbeitssystem i:

- *Für jede* Massnahme j *gilt*: TND[j] := TNDMAX[i, j]

C ***Zweite Schleife*: für jede Periode t, *mit* 1 ≤ t ≤ p**

a) Bestimmung der verfügbaren Materialmenge für Arbeitssystem i zur Verarbeitung in Periode t

- *Falls* i > 1, *dann* MATV[i, t] = BESTD[i-1, t-1] + OMAX[i-1, t]

b) Zurücksetzen des Aktivitätsstatus':

- *Für jede* Massnahme j *gilt*: ASF [i, j] := 0

1 ***Dritte Schleife*: für jede Massnahme j, *mit* 1 ≤ j ≤ z, in der Reihenfolge steigender Werte für die Aktivierungszeit (Bestimmung des Aktivitätsstatus' einer Massnahme *j* für ein Arbeitssystem *i*)**

a) Prüfung der Einhaltung der Aktivierungszeit:

- *Falls* t ≥ TAKT[i, j], *dann* ASF[i, j] := 1

b) Prüfung bezüglich Einhaltung der maximalen Nutzbarkeitsdauer:

- *Falls* TND[j] < 1, *dann* ASF[i, j] := 0

c) Prüfung der Prioritätsregeln:

- a := Anzahl der bereits aktiven Massnahmen in Periode t
- BST[i, j, h] := Beziehungsstatus der Massnahme j des Arbeitssystems i zu Massnahme h des selben Arbeitssystems

c1) *Vierte Schleife*: für jede bereits aktivierte Massnahme h, *mit* 1 ≤ h ≤ a

- *Falls* BST[i, j, h] = 1, *dann* ASF[i, h] := 0
- *Falls BST[i, j, h] = 2, dann ASF[i, j] := 0*

Ende der vierten Schleife

d) Prüfung bezüglich Materialverfügbarkeit:

d1) Vorläufige Bestimmung der maximal verfügbaren Kapazität:

- KAPMAX[i, t] = BKAP[i, t] + DKAP[i, 1] ▪ ASF[i, 1] + DKAP[i, 2] ▪ ASF[i, 2] +... + DKAP[i, z] ▪ ASF[i, z]

d2) Vergleich von verfügbarer Materialmenge und bereitgestellter Kapazität:

- *Falls* KAPMAX[i, t] ≥MATV[i, t], *dann* ASF[j] := 0

Ende der dritten Schleife

2 Berechnung der maximal verfügbaren Kapazität bzw. des maximal möglichen Ausstoss für Arbeitssystem i sowie des Bestandes von Arbeitssystem (i-1) zum Zeitpunkt *t*

a) Resultierende max. verfügbare Kapazität in Periode t

- KAPMAX[i, t] = BKAP[i, t] + (DKAP[i, 1] • ASF[i, 1] + DKAP[i, 2] • ASF[i, 2] + ... + DKAP[i, z] • ASF[i, z])

b) Resultierender max. möglicher Ausstoss in Periode t

- OMAX[i, t] := KAPMAX[i, t-DLZ(i)]

c) Bestand im Pufferlager von Arbeitssystem i-1 zum Ende von Periode t:

- *Falls* i > 1, *dann*
  BESTD[i-1,t] := MATV[i, t] - KAPMAX[i, t]

3 Neubestimmung der verbleibenden Nutzbarkeitsdauer

a) Übertrag für den Anfangswert des Arbeitszeitkontos des Arbeitssystems i in Periode t:

- AZKONTO[i, t] := AZKONTO[i, t-1]

b) *Fünfte Schleife*: für jede aktive Massnahme k des Arbeitssystems i, *für die gilt* ASF[i, j] = 1, *mit* 1 ≤ j ≤ z

- *Falls* MTYP[i, k] = AZN, *dann* TND[k] := TND[k] - 1

  Ansonsten

  - AZKONTO[i, t] := AZKONTO[i, t] - AZB[i, k]
  - AZKONTOV := AZKONTO[i, t]
  - *Sechste Schleife:* für jede arbeitszeitrelevante Massnahme w des Arbeitssystems i, *für die gilt*, MTYP[i, j] = AZR, *mit* 1 ≤ j ≤ z
    - TND[w] := AZKONTOV / AZB[i, w]
    - AZKONTOV := AZKONTOV - AZB[i, w]

    Ende der sechsten Schleife

Ende der fünften Schleife

Ende der zweiten Schleife

Ende der ersten Schleife

Ende des Algorithmus

Abb. 3.11: Algorithmus zur Bestimmung resultierender Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme

Für ein besseres Verständnis des oben dargestellten Algorithmus' soll das in Abbildung 3.9 gezeigte Beispiel eines resultierenden Flexibilitätsprofils aus drei unterschiedlichen Arbeitssystemen an dieser Stelle anhand von Zahlenwerten nachvollzogen werden. Vereinfachend soll dabei gelten, dass die jeweils zu den Arbeitssystemen gehörenden Massnahmen zur Kapazitätserhöhung über feste Werte für die maximale Nutzbarkeitsdauer verfügen und sich zudem gegenseitig nicht beeinflussen. Darüber hinaus sind die Anfangswerte für alle Pufferbestände Null. Die Materialverfügbarkeit für Arbeitssystem 1 ist nicht beschränkt.

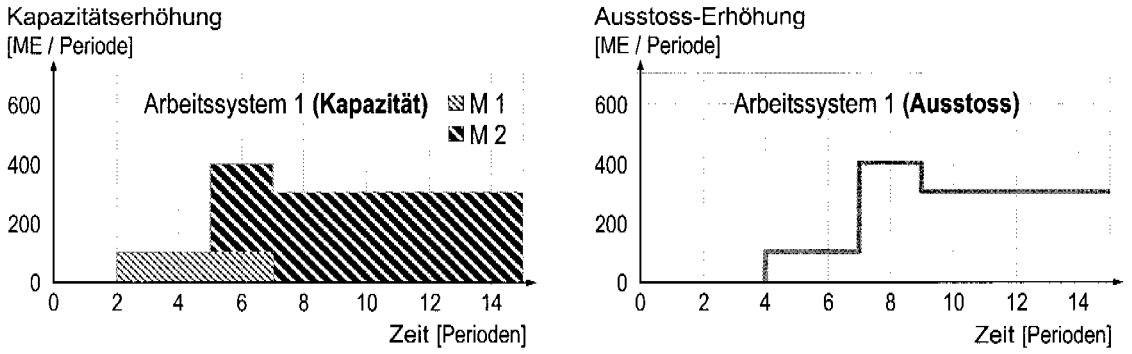
		DKAP	TAKT	TNDMAX		Perioden 0	1	2	3	4	5	6	7
Arbeitssystem 1 (BKAP: 1000, DLZ: 2)					**MATV**		∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	M1	100	2	5	**ASF₁**		0	0	1	1	1	1	1
	M2	300	5	-	**ASF₂**		0	0	0	0	0	1	1
					KAPMAX		1000	1000	**1100**	1100	1100	1400	1400
					OMAX		1000	1000	1000	1000	**1100**	1100	1100
					BESTD	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbeitssystem 2 (BKAP: 1000, DLZ: 1)					**MATV**		1000	1000	1000	1000	1100	1100	1100
	M1	100	2	5	**ASF₁**		0	0	0	0	1	1	1
	M2	100	4	8	**ASF₂**		0	0	0	0	0	0	0
	M3	150	7	-	**ASF₃**		0	0	0	0	0	0	0
					KAPMAX		1000	1000	1000	1000	**1100**	1100	1100
					OMAX		1000	1000	1000	1000	1000	**1100**	1100
					BESTD	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbeitssystem 3 (BKAP: 1000, DLZ: 1)					**MATV**		1000	1000	1000	1000	1000	1100	1100
	M1	100	2	5	**ASF₁**		0	0	0	0	0	1	1
	M2	250	3	8	**ASF₂**		0	0	0	0	0	0	0
	M3	150	7	-	**ASF₃**		0	0	0	0	0	0	0
					KAPMAX		1000	1000	1000	1000	1000	**1100**	1100
					OMAX		1000	1000	1000	1000	1000	1000	**1100**
Ausstosserhöhung insgesamt							**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**100**

Tab. 3.4a: Datentabelle für die Bestimmung eines resultierenden Flexibilitätsprofils entsprechend Abbildung 3.9 (Teil 1: Perioden 1 bis 7)

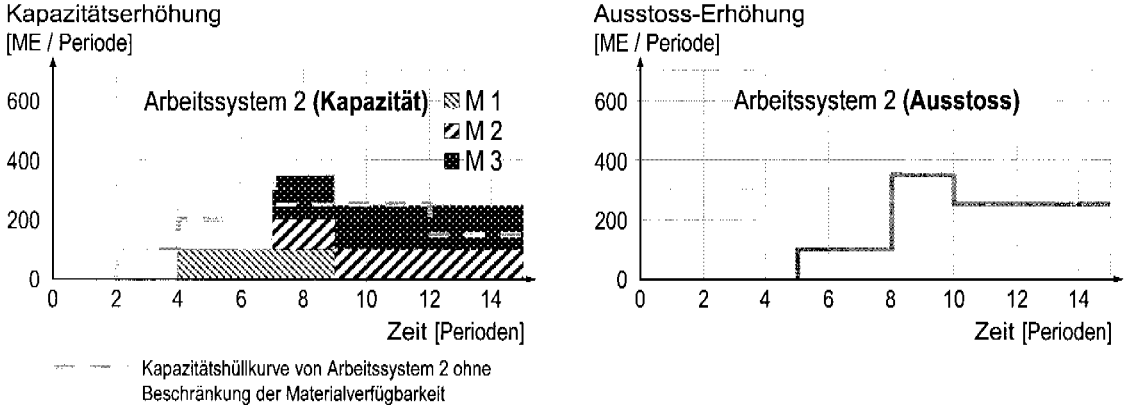
		DKAP	TAKT	TNDMAX		Perioden 8	9	10	11	12	13	14	15
					MATV	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Arbeitssystem 1 (BKAP: 1000, DLZ: 2)	M1	100	2	5	ASF_1	0	0	0	0	0	0	0	0
	M2	300	5	-	ASF_2	1	1	1	1	1	1	1	1
					KAPMAX	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
					OMAX	1400	1400	1300	1300	1300	1300	1300	1300
					BESTD	50	100	150	200	250	300	350	400
					MATV	1400	1450	1400	1450	1500	1550	1600	1650
Arbeitssystem 2 (BKAP: 1000, DLZ: 1)	M1	100	2	5	ASF_1	1	1	0	0	0	0	0	0
	M2	100	4	8	ASF_2	1	1	1	1	1	1	1	1
	M3	150	7	-	ASF_3	1	1	1	1	1	1	1	1
					KAPMAX	1350	1350	1250	1250	1250	1250	1250	1250
					OMAX	1100	1350	1350	1250	1250	1250	1250	1250
					BESTD	0	0	0	0	100	200	300	400
					MATV	1100	1350	1350	1250	1250	1350	1450	1550
Arbeitssystem 3 (BKAP: 1000, DLZ: 1)	M1	100	2	5	ASF_1	1	1	1	0	0	0	0	0
	M2	250	3	3	ASF_2	0	1	1	1	0	0	0	0
	M3	150	4	-	ASF_3	0	0	0	0	1	1	1	1
					KAPMAX	1100	1350	1350	1250	1150	1150	1150	1150
					OMAX	1100	1100	1350	1350	1250	1150	1150	1150
Ausstosserhöhung insgesamt						**100**	**100**	**350**	**350**	**250**	**150**	**150**	**150**

Tab. 3.4b: Datentabelle für die Bestimmung eines resultierenden Flexibilitätsprofils entsprechend Abbildung 3.9 (Teil 2: Perioden 8 bis 15)

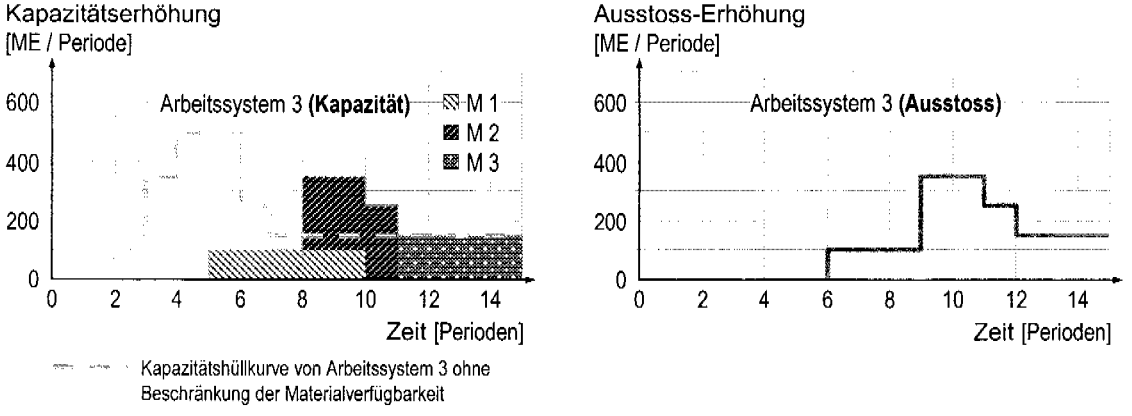
Ergänzend lassen sich dazu nun noch die resultierenden Flexibilitätsprofile entlang der verketteten Fertigung gemäss den Tabellen 3.4a und b graphisch darstellen. Abbildung 3.12 zeigt für jede der im vorliegenden Beispiel betrachteten Stufen die Lage der Anpassungsmassnahmen und damit die maximal mögliche Kapazitätserhöhung pro Periode (linker Bildteil) sowie den Verlauf des maximal möglichen Ausstosses (rechter Bildteil). Die ursprüngliche Form der in Abbildung 3.9 enthaltenen Flexibilitätsprofile, die sich ergeben würde, wenn keine Beschränkung der Materialverfügbarkeit gilt, ist jeweils als Strichlinie wiedergegeben.



a) **Arbeitssystem 1** (Verfügbare Massnahmen: 2, Durchlaufzeit: 2 Perioden)



b) **Arbeitssystem 2** (Verfügbare Massnahmen: 3, Durchlaufzeit: 1 Periode)



c) **Arbeitssystem 3** (Verfügbare Massnahmen: 3, Durchlaufzeit: 1 Periode)

Abb. 3.12: Maximal mögliche Erhöhung der Kapazität sowie des Ausstosses auf jeder Stufe eines verketteten Produktionssystems
(Beispiel eines 3-stufigen Produktionssystems entsprechend Abbildung 3.9 sowie Tabellen 3.4a und b)

3.3.3 Wichtige Spezialfälle bei der Bestimmung des Produktausstosses von verketteten Arbeitssystemen

Abschliessend sollen nun noch einige erwähnenswerte Spezialfälle der Gleichungen 3-4 bis 3-6 diskutiert werden, die sich infolge verschiedener Annahmen ergeben.

Falls als eine *erste Vereinfachung* angenommen wird, dass die an allen Arbeitssystemen einer Lieferkette installierten Basiskapazitäten gleich sind, kann die Betrachtung ausschliesslich für die *Änderungswerte* von Kapazität, Ausstoss und Liefermenge erfolgen.

Durch Subtraktion von KAP_B ergibt sich aus Gleichung 3-6 durch die folgende Formulierung:

$$\Delta O_{i,\max}(t) = \mathrm{MIN}\left\{\Delta LM_{i-1,\max}(t - DLZ_i); \sum_{j=1}^{z} \Delta KAP_{i,j}(t - DLZ_i)\right\} \qquad \textbf{(Gl. 3-7)}$$

mit

$\Delta O_{i,\max}(t)$	Änderung des Ausstosses der verarbeitenden Ressource des Arbeitssystems *i* [Perioden],
$\Delta LM_{i-1,\max}(t - DLZ_i)$	Maximal mögliche Erhöhung der Liefermenge des Vorgänger-Arbeitssystems von *i* zum Zeitpunkt (t - DLZ_i) [ME / Periode].

Gleichung 3-4 kann damit in den folgenden Ausdruck umgeformt werden:

$$\Delta LM_{i,\max}(t) = B_i(t) + \mathrm{MIN}\left\{\Delta LM_{i-1,\max}(t - DLZ_i); \sum_{j=1}^{z} \Delta KAP_{i,j}(t - DLZ_i)\right\}$$

(Gl. 3-8)

Wird *zweitens* angenommen, dass die in den Abbildungen 3.7 und 3.10 enthaltenen Pufferlager nach der Bearbeitung zu jedem Zeitpunkt leer sind bzw. gar nicht existieren, ist die maximal mögliche Erhöhung der Liefermenge auf Stufe *i* ($\Delta LM_{i,\max}(t)$) nur noch von der möglichen Kapazitätserhöhung und dem maximal möglichen Ausstoss der verarbeitenden Ressource des Arbeitssystem *i-1* abhängig. Sie ist dann identisch mit dem maximal möglichen Ausstoss der verarbeitenden Ressource ($\Delta O_{i,\max}(t)$).

Erfolgt schliesslich *drittens* eine *langfristige* Betrachtung, so darf vorausgesetzt werden, dass die mögliche Kapazitätsänderung pro Arbeitssystem der untersuchten Kette jeweils einen konstanten Wert annimmt. Grund dafür ist die Tatsache, dass nur noch diejenigen Massnahmen zur Kapazitätserhöhung aktiv sein können, die wegen ihrer unbegrenzten maximalen Nutzbarkeitsdauer als Veränderung der Grundkapazität klassifiziert werden können (siehe Abschnitt 3.2.1).

In diesem Fall, oder wenn die Durchlaufzeiten an allen Stufen der Produktion vernachlässigbar klein sind im Vergleich zur Länge der Planungsperiode, gilt die in einer übertragbaren Form bereits von LÖDDING formulierte Beziehung[1]:

$$\Delta O_{ges,\max}(t) = MIN\left\{\sum_{j=1}^{z}\Delta KAP_{1,j}(t);\sum_{j=1}^{z}\Delta KAP_{2,j}(t);\ldots\sum_{j=1}^{z}\Delta KAP_{n,j}(t)\right\}$$

(Gl. 3-9)

mit

$\Delta O_{ges,\max}(t)$	Maximale Erhöhung des Ausstosses der gesamten Kette zum Zeitpunkt t [ME / Perioden], falls $t \rightarrow \infty$ und / oder $DLZ_i \rightarrow 0$ für alle i,
n	Anzahl der Arbeitssysteme [-],
z	Anzahl der zum Zeitpunkt t aktiven Massnahmen eines Arbeitssystems i zur Kapazitätserhöhung [-].

Mit Blick auf Gleichung 3-9 soll schliesslich noch einmal die Frage nach den Möglichkeiten zur Kapazitätsreduktion in verketten Arbeitssystemen aufgegriffen werden. Die Materialverfügbarkeit ist hier lediglich von untergeordneter Bedeutung, da im Falle einer Senkung des Produktausstosses einer Fertigung in der Regel mehr Material als benötigt im Umlauf ist. Soll jedoch insgesamt vermieden werden, dass verfügbare Kapazitäten in einer verketteten Fertigung ungenutzt bleiben, etwa weil ein Kapazitätsabbau gar nicht oder nur langsam möglich ist, kann der Gesamtausstoss einer Kette nur so weit gesenkt werden, dass das Arbeitssystem mit der grössten maximal verfügbaren Kapazität noch ausgelastet wird. Die maximal mögliche Reduktion des Ausstosses einer verketten Fertigung zu einem bestimmten Zeitpunkt ergibt sich damit aus dem *betragsmässigen* Minimum des realisierbaren Kapazitätsabbaus über alle Stufen der Kette betrachtet. Gleiche oder zumindest ähnliche Basiskapazitäten an allen Arbeitssystemen werden dabei vorausgesetzt.

Im Prinzip entspricht dieser Sachverhalt einer Umkehrung des Engpassprinzips, wobei das „schwächste" Glied hier über die grösste Kapazität verfügt bzw. am schlechtesten in der Lage ist, die Kapazität auf einen bestimmten Zeitpunkt hin abzubauen. Wird dennoch die Kapazität in anderen Arbeitssystemen, die sich in Materialflussrichtung vor diesem „Flexibilitätsengpass" befinden, stärker reduziert, führt dies zu ungenutzten Ressourcen. Erfolgt der stärkere Kapazitätsabbau nach dem am wenigsten veränderbaren Arbeitssystem, kann dies zu erhöhten Beständen in der Fertigung bzw. in der Lieferkette führen.

Abschliessend bleibt festzustellen, dass der Aufwand für die schrittweise Berechnung von resultierenden Flexibilitätsprofilen mit der Länge des zu untersuchenden Planungshorizontes und vor allem mit der Anzahl der Arbeitssysteme einer verketteten Fertigung wächst. Es darf jedoch vermutet werden, dass eine rechnerunterstützte Bestimmung von resultierenden Flexibilitätsprofilen einfach und schnell durchgeführt werden kann. Neben den zur Quantifizierung der Anpassungsmassnahmen notwendigen Parametern (siehe Kapitel 3.1.2) sind als zusätzliche Informationen lediglich die mittleren Durchlaufzeiten pro Arbeitssystem, die

[1] Lödding H., Fertigungssteuerung, 2005, S. 476 f.

Basiskapazitäten sowie die Anfangsbestände in den möglicherweise bestehenden Pufferlagern nach der Bearbeitung erforderlich.

Obwohl die in diesem Kapitel dargestellte Ermittlung resultierender Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme innerhalb von Betrieben bzw. Werken erarbeitet wurde, stellt sich die Frage, ob der Ansatz möglicherweise auf eine werks- oder sogar unternehmensübergreifende Analyse der Kapazitäts-Flexibilität übertragen werden kann. Selbst eine sehr grobe Abschätzung des zeitlichen Verlaufes der möglichen Veränderung des Produktausstoss von ganzen Lieferketten oder Teilen davon könnte durchaus von erheblichem praktischen Nutzen sein. Allerdings wäre es dafür notwendig, in weiterführenden Untersuchungen zu klären, ob die Annahme von konstanten Wiederbeschaffungszeiten in einem derartigen Kontext zulässig ist. Hinzu kommt die Problemstellung, dass in einem solchen Zusammenhang vermutlich Verzweigungen im Materialfluss zu berücksichtigen sind, was die Komplexität der Betrachtung erheblich vergrössern könnte.

4 Planung und Bewertung von Strategien zur Kapazitätsanpassung

Obwohl es der im vorangegangenen Kapitel vorgeschlagene quantitative Beschreibungsansatz gestattet, Transparenz im Hinblick auf die verfügbaren Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung zu schaffen, erfordert die Frage nach dem effizientesten Weg zur bedarfsgerechten Kapazitätsanpassung eine weitergehende Problemlösung. In den nun folgenden Abschnitten soll deshalb eine Vorgehensweise erläutert werden, mit deren Hilfe *Anpassungsstrategien* zielgerichtet konfiguriert und bewertet werden können. Diese setzt den zuvor in Kapitel 3.1 entwickelten Parametrisierungsansatz konsequent um.

Im vorliegenden Kontext soll unter dem Begriff der Anpassungsstrategie der Produktionskapazität eine Konzeption verstanden werden, welche die Auswahl und die zeitliche Anordnung (Einplanung) verschiedener Massnahmen zur Veränderung der Produktionskapazität umfasst. Die dabei grundsätzlich verfolgte Absicht ist die Einhaltung der festgelegten Ziele bezüglich Lieferzeit und Liefertreue sowie die Begrenzung des Aufwandes zur Realisierung der Kapazitätsanpassung.

Die Grundlage dafür bildet die Kenntnis oder Abschätzung künftiger Bedarfsunsicherheiten. Einzelne, sich gegebenenfalls überlagernde Schwankungsphänomene (vgl. Tabelle 2.3 in Kapitel 2.2.3) müssen dafür differenziert identifiziert und im Hinblick auf Höhe, mögliche Eintrittsfrist und Schwankungsdauer quantifiziert werden. In der Regel sollte dies für den kurz- und mittelfristigen Planungshorizont – also für mehrere Wochen bis Monate – sinnvoll möglich sein. Entsprechend erscheint es zweckmässig, die nachfolgend vorgeschlagene Methode bevorzugt in die kurz- und mittelfristige Produktionsplanung einzubinden. Darüber hinaus ist es zur Begrenzung des Aufwandes unter Umständen ratsam, die Planung der Kapazitätsanpassung nicht für alle an einem Herstellungsprozesses beteiligten Arbeitssysteme durchzuführen, sondern bevorzugt für Engpass-Systeme oder auch für Grobkapazitätsplätze[1] bzw. Fertigungsbereiche. Daneben sind weitere Anwendungszusammenhänge denkbar, zum Beispiel die Planung eines Produktionshochlaufes durch eine geeignete, gegebenenfalls stufenweise Erhöhung der Basiskapazität.

Im folgenden Unterkapitel wird zunächst eine Gesamtvorgehensweise für die bedarfsgerechte Planung der Kapazitätsanpassung vorgestellt und erläutert. In den sich daran anschliessenden Kapiteln 4.2 und 4.3 werden einige wichtige, die Ausführung der Anpassungsplanung unterstützende Hinweise gegeben und diskutiert. Dies umfasst insbesondere die Identifizierung von Bedarfsveränderungen und deren quantitative Erfassung sowie den eigentlichen Ablauf zur Konfiguration und Bewertung von Anpassungsstrategien.

---

[1] Gemäss SCHÖNSLEBEN (Logistikmanagement, 2004, S. 31) ist ein Grobkapazitätsplatz eine Gesamtheit von Kapazitätsplätzen (Arbeitssystemen), die zum Zweck der Planung nicht weiter unterteilt werden sollen.

4.1 Aufgaben bei der Planung der Kapazitätsanpassung

Das grundsätzliche Ziel der Kapazitätsanpassung ist es, die Auslastung eines im Fokus stehenden Arbeits- bzw. Produktionssystems etwa konstant zu halten. Wie in Kapitel 2.3.2 dargelegt, lassen sich dadurch etwa konstante Durchlaufzeiten erzielen und kontrollieren. Dies wiederum kann als wesentliche Voraussetzung für termintreue Lieferungen angesehen werden. Entsprechend ist umgekehrt ableitbar, dass eine zu starke Belastung eines Arbeitssystems bzw. eine zu geringe Kapazität zu Verspätungen oder sogar zu Lieferausfällen führen kann. Auf der anderen Seite müssen aber auch temporäre und vor allem ständige Überkapazitäten, die zu einer länger andauernden Unterbeschäftigung bzw. Leerläufen bei Personal und Betriebsmitteln führen, aus Effizienzgründen kritisch beurteilt werden. Die generell möglichen Schwierigkeiten, die bei der Kapazitätsbereitstellung auftreten können, sollen deshalb zu Anfang dieses Kapitels in knapper Form systematisch beleuchtet werden.

4.1.1 Mögliche Mängel bei der Bereitstellung der geforderten Produktionskapazität

Eine Ideallösung bei der Kapazitätsanpassung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Produktausstoss exakt zum Bedarfszeitpunkt genau auf das benötigte Niveau skaliert werden kann und es gelingt, dies für den geforderten Zeitraum aufrecht zu erhalten. Die Kosten der Anpassung sollten dabei so gering wie möglich sein. Es ist leicht vorstellbar, dass es in der Praxis eher selten gelingt, diese Anforderung vollständig umzusetzen. Anknüpfend an das in Kapitel 3.1.2 vorgeschlagene Beschreibungsmodell sind verschiedene Tatbestände vorstellbar, die als Mangel oder Ineffizienz der Kapazitätsanpassung interpretiert werden können. Dazu gehören im wesentlichen

- die zu späte Bereitstellung einer Kapazitätsveränderung,
- die Skalierung des Ausstosses auf ein zu tiefes oder zu hohes Niveau sowie
- der Sachverhalt, dass eine oder mehrere Anpassungsmassnahmen nicht ausreichend lange aufrecht erhalten bzw. nicht rechtzeitig zurückgenommen werden können.

In Abbildung 4.1 sind diese Abweichungen vom Idealzustand teilweise dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass diese sich selbstverständlich überlagern können.

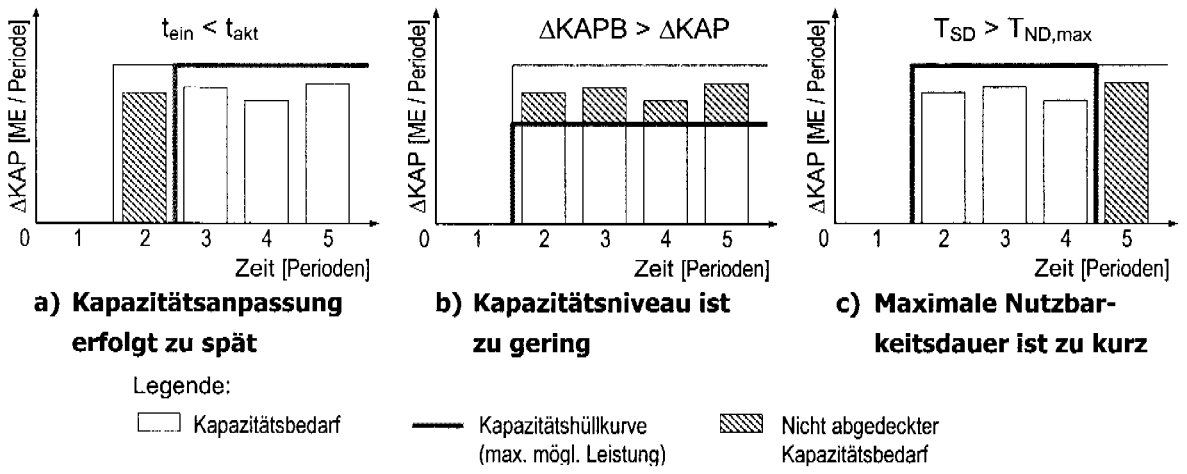


Abb. 4.1: Mögliche Mängel bei der Anpassung der Produktionskapazität

Bei einer zu späten Anpassung der Produktionskapazität an das geforderte Bedarfsniveau kommt es im Fall eines Anstieges des Kapazitätsbedarfes zu einem Rückstand und damit zu verspäteten Lieferungen oder zu Lieferausfällen. Dies gilt in ähnlicher Weise dann, wenn es nicht gelingt, die Kapazität zum geforderten Zeitpunkt auf das benötigte Niveau anzuheben. Treten derartige Schwierigkeiten regelmässig auf, ist zu prüfen, ob gegebenenfalls andere Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung notwendig sind, um die vom Kunden bzw. Abnehmer in einer Lieferkette geforderte Flexibilität zu erreichen. Eine Alternative kann zudem die Planung von Pufferbeständen sein, um temporäre Belastungsspitzen auszugleichen. Dauert eine erwartete Bedarfsschwankung – beispielsweise ein saisonaler Zyklus – länger an, als die zunächst dafür vorgesehene Kapazitätsanpassung, die aufgrund der Begrenzung ihrer möglichen Nutzungsdauer nicht ausreichend lange aufrecht erhalten werden kann, so resultieren daraus zumindest formal ebenfalls Rückstände und / oder Lieferausfälle. Pufferbestände scheinen hier wenig geeignet, da sie gleichermassen nur eine temporäre Ausstosserhöhung ermöglichen. Satt dessen ist es erforderlich, solche Einzelmassnahmen oder Massnahmenkombinationen bereitzustellen, die zur Absicherung der erwarteten Schwankungsdauer geeignet sind. Eine gezielte Planung ist dementsprechend von grosser Bedeutung.

Die umgekehrten Fälle, wenn also eine Kapazitätsabsenkung nicht früh genug realisiert werden kann, die Anpassung zu einer signifikanten Überkapazität führt oder es aus spezifischen Gründen nicht möglich ist eine Massnahme rechtzeitig aufzuheben, führen jeweils zu mehr oder weniger lang andauernden Phasen der Unterauslastung. Obwohl dies im Hinblick auf die Lieferfähigkeit eines Produktionssystems zunächst weniger gravierend erscheint, muss es zur Sicherung der Effizienz ein wichtiges Ziel der Anpassungsplanung sein, Leerlauf bei Betriebsmitteln und Unterbeschäftigung beim Personal weitgehend zu vermeiden. Alternativ ist es in bestimmten Situationen in der Praxis denkbar, dass Produktionsaufträge vorgezogen oder Pufferbestände aufgefüllt werden. In jedem Fall muss es jedoch Bestandteil der Anpassungsplanung sein, auftretende Mängel und Abweichungen bei der Kapazitätsbereitstellung zu erfassen und unter Berücksichtigung des spezifischen Anwendungszusammenhanges in eine Bewertung einfliessen zu lassen.

Neben den in Abbildung 4.1 schematisch dargestellten Abweichungstypen der realen von der optimalen Kapazitätsanpassung gilt es zusätzlich den Kostenaspekt zu beachten. So ist es im Sinne der in Gleichung 3-2 (Kapitel 3.2.2) angeführten Kostenkennzahl zumindest grundsätzlich denkbar, dass der Aufwand einer bedarfsgerechten Kapazitätsveränderung den letztlich erzielbaren Nutzen übersteigt – die Anpassung also zu teuer ist. Entsprechend kann dies als weiterer Mängel-Aspekt bei der Kapazitätsbereitstellung angesehen werden.

4.1.2 Grobablauf bei der Anpassungsplanung der Produktionskapazität

Ausgangspunkt der im Rahmen einer Anpassungsplanung vorzunehmenden Betrachtung ist ein bestehendes Produktionssystem, das über eine bestimmbare Basiskapazität sowie über jeweils mehrere Massnahmenalternativen zur Erhöhung oder Reduzierung des Ausstosses verfügt. Die wesentlichen Teilaufgaben, aus denen sich das Planungsvorgehen zusammensetzt, können in zwei Hauptabschnitte gegliedert werden. Dabei handelt es zunächst um die Identifizierung und Quantifizierung von Bedarfsunsicherheiten sowie die daraus abgeleitete Ermittlung von möglichen Szenarien für den Kapazitätsbedarf. Darauf Bezug nehmend werden in einer anschliessenden Phase Lösungen für eine möglicherweise notwendige Kapa-

zitätsveränderung konfiguriert und bewertet sowie gegebenenfalls iterativ verbessert. Abbildung 4.2 fasst entsprechend die vier wesentlichen Arbeitsschritte des Konzepts zur Planung der Kapazitätsanpassung zusammen.

Abb. 4.2: Grobes Ablaufschema bei der zielgerichteten Planung der Kapazitätsanpassung

Zielstellung im *Schritt 1* ist das Erkennen von möglichen Bedarfsveränderungen, die im untersuchten Planungszeitraum zu erwarten sind. Dabei geht es zunächst noch nicht um die exakte Abschätzung des tatsächlichen Verlaufes des Kapazitätsbedarfes, sondern um die Unterscheidung einzelner Typen der Bedarfsunsicherheit. Eine sich daran anschliessende Abschätzung spezifischer Eintrittsfristen sowie diejenige von Umfang und Dauer der Bedarfsveränderungen liefert schliesslich die Grundlage für die gezielte Auswahl von Anpassungsmassnahmen. Zudem lässt sich so bereits frühzeitig erkennen, ob für die Beherrschung aller Schwankungstypen geeignete Massnahmen existieren oder in welcher Hinsicht ein Portfolio bestehender Anpassungsmöglichkeiten der Produktionskapazität verbessert werden muss. Erst in *Schritt 2* des oben dargestellten Ablaufschemas werden, basierend auf der Kenntnis relevanter Bedarfsunsicherheiten, Szenarien für den Kapazitätsbedarf entwickelt. Hierfür müssen Veränderungen des Ausstossniveaus sowie deren Eintrittszeitpunkte und Schwankungsdauern so exakt wie möglich bestimmt werden. Dazu gehört auch, dass zum Zeitpunkt der Planung möglicherweise bestehende Rückstände als so schnell wie möglich zu deckende Kapazitätsbedarfe berücksichtigt werden müssen. Zur Unterstützung der beiden genannten Aktivitäten wird im unten folgenden Kapitel 4.2 erläutert, wie Bedarfsschwankungen mit Hilfe

von spezifischen Merkmalen charakterisiert (Abschnitt 4.2.1) sowie unterschiedliche Kapazitätsbedarfsniveaus ausgedrückt bzw. berechnet (Abschnitt 4.2.2) werden können.

Voraussetzung für die gezielte Anpassung der Produktionskapazität an Schwankungen des Kapazitätsbedarfs ist die detaillierte Kenntnis der Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung. Aufgabe von *Schritt 3* ist es daher, die für ein Arbeits- oder Produktionssystem zur Verfügung stehenden Anpassungsmassnahmen zu identifizieren und diese entsprechend des hier entworfenen Beschreibungsansatzes möglichst exakt zu parametrieren. Im weiter unten folgenden Abschnitt 4.3.1 werden dazu einige, die Ausführung in Kapitel 3.1.2 ergänzende Hinweise gegeben.

Im abschliessenden *Schritt 4* werden nun für die ermittelten Szenarien des Kapazitätsbedarfes Anpassungsstrategien konfiguriert. Dies bedeutet, dass im Falle einer Unterschreitung der bereitstehenden Basiskapazität Massnahmen zur Kapazitätsreduktion bzw. bei einer Überschreitung solche zur Kapazitätserhöhung ausgewählt und durch die Festlegung von Start- und Rücknahmezeitpunkten terminiert werden müssen. Dabei ist zu beachten, dass zeitliche Restriktionen, also die notwendige Aktivierungszeit sowie die maximale und die minimale Nutzbarkeitsdauer, nicht verletzt werden. Andernfalls wäre die erarbeitete Anpassungslösung in der Realität nicht umsetzbar. Daran anschliessend findet eine Bewertung der gefundenen Anpassungslösung statt. Hierfür sind zuerst die Kosten der Anpassung, das heisst für die Aktivierung, Nutzung und Rücknahme der eingeplanten Massnahmen zu berücksichtigen. Abhängig vom konkreten Anwendungskontext kommen gegebenenfalls noch Kosten für Bestände oder ungenutzte Kapazitäten oder Penalen für Lieferrückstände usw. hinzu. Des weiteren können logistische Kennzahlen, insbesondere die Auslastung des behandelten Arbeitssystems sowie die erreichte Liefertreue, als Bewertungskriterium herangezogen werden. In Kapitel 4.3.2 werden die Vorgehensweise bei der Konfiguration sowie die verschiedenen Möglichkeiten zur Bewertung eingehend diskutiert.

4.2 Ermittlung des Kapazitätsbedarfes

Das Wissen um künftige Bedarfe und deren mögliche Veränderungen bildet den zentralen Ausgangspunkt für die Produktionsplanung auf den verschiedenen zeitlichen Ebenen und damit auch für die Kapazitätsbetrachtung. Gemeint ist dabei zunächst der von externen Kunden oder Abnehmern geäusserte Produktbedarf gegenüber einer betrieblichen Planungseinheit. Mit einer zunehmenden Entfernung des Planungshorizontes kann bei der Bedarfsermittlung jedoch in der Regel immer weniger auf Informationen zu konkreten Aufträgen oder Bestellungen von Kunden zurückgegriffen werden. Daraus folgt die Notwendigkeit, künftige Bedarfsmengen vorherzusagen. Zur Unterstützung dieser Aufgabe wurden in der Vergangenheit eine ganze Reihe verschiedener Methoden und Modelle unterschiedlicher Komplexität entwickelt. Typische Vertreter solcher Werkzeuge zur Abschätzung von Bedarfsdaten sind Zeitreihen vergangener Verbrauchsmengen (zum Beispiel die Berechnung gleitender Mittelwerte oder die exponentielle Glättung) aus denen zukünftige Bedarfe abgeleitet werden. Andere Methoden zielen auf die Nutzung von Expertenmeinungen oder auf die

Analyse möglicherweise bestehender kausaler Zusammenhänge zwischen verschiedenen, zeitlich aufeinander folgenden Entwicklungstrends in Wirtschaft und Gesellschaft.[1]

Das Ergebnis einer Vorhersage sind in jedem Fall Zahlenwerte für die in zukünftigen Perioden vermutlich benötigten Produktmengen. Dabei ist es üblich, dass die Länge der Planungsperioden zunimmt, je weiter der insgesamt untersuchte Planungshorizont gewählt wird. Das erscheint durchaus plausibel, da es in den meisten Fällen schwierig sein dürfte, mit Hilfe einer langfristigen Prognose Tages- oder Wochenbedarfen mehrere Monate oder sogar Jahre in der Zukunft vorherzusagen. Dies ist, wenn überhaupt, zumeist erst auf einer kurzfristigen Planungsebene möglich. Dennoch liegen bei Planern und Produktionsingenieuren in Produktionsbetrieben oftmals umfangreiche Kenntnisse zu bevorstehenden Schwankungsereignissen vor, die im Rahmen der längerfristigen Bedarfsvorhersage aufgrund der gewählten Granularität der Planung möglicherweise nicht erfasst werden können. Ein anschauliches Beispiel hierfür ist die Abwicklung von grösseren Sonderaufträgen, wie sie vor allem im Rahmen sogenannter Projektgeschäfte vorkommen können. Diese sind durch die kurzfristige Platzierung grosser Bedarfsmengen durch den Kunden gekennzeichnet, unter Umständen verbunden mit besonderen Produktspezifikationen. Die kurzfristige Kapazitätsanpassung, beispielsweise durch längere Schichtdauern und / oder Zusatzschichten an Wochenenden, ist dann häufig die einzige Handlungsalternative. Wird diese jedoch verwehrt, weil die Arbeitszeitflexibilität des Personals oder andere kurzfristig aktivierbare Anpassungsmassnahmen bereits zur Abdeckung anderer Schwankungstypen, zum Beispiel von Saisonalitäten, eingesetzt wurden und deshalb aufgrund eingeschränkter Nutzbarkeitsdauern nicht mehr zur Verfügung stehen, ist eine Lösung schwierig. Die in Ergänzung zur in jedem Fall notwendigen Bedarfsvorhersage durchzuführende Identifizierung von Typen der Bedarfsunsicherheit kann demnach dazu beitragen, die vorhandenen Alternativen zur Kapazitätsanpassung angemessen einsetzen zu können.

4.2.1 Identifizierung von Bedarfsunsicherheiten

Bereits in Tabelle 2.3 (Kapitel 2.2.3) wurde die Vielfalt möglicher Schwankungsereignisse angedeutet, die in der betrieblichen Praxis auftreten kann. Folglich ist davon auszugehen, dass für die meisten Produktionsunternehmen individuelle Muster der kurz- mittel- und langfristigen Bedarfsveränderung gültig sind. Entsprechend ist die Analyse von jeweils relevanten Bedarfsunsicherheiten eine fallspezifisch zu lösende Aufgabe. Dennoch soll im folgenden versucht werden, die verschiedensten Erscheinungsformen der Bedarfsunsicherheit anhand einiger signifikanter Merkmale zu charakterisieren. Ziel ist es, ein strukturiertes Vorgehen bei der Identifizierung möglicher Bedarfsschwankungen zu unterstützen, dass auf einem umfassenden Problemverständnis basiert. Das hierfür vorgeschlagene morphologische Schema ist daher als ein mögliches Hilfsmittel anzusehen, welches zur Erfassung und Einordnung bereits vorhandener Kenntnisse und Erfahrungen beispielsweise zu Saisonalitäten oder Anlaufkurven bei der Produkteinführung usw. eingesetzt werden kann.

Insgesamt wurden sieben Merkmale gefunden, die mit ihren jeweiligen Ausprägungen in Tabelle 4.1 geordnet dargestellt sind. Dies sind der *Grundtyp* einer Bedarfsänderung, dessen

---

[1] Eine umfangreiche Übersicht zu verschiedenen Verfahren der Bedarfsvorhersage und deren Anwendung enthält u.a. DeLurgio S.A., Forecasting principles, 1998, S. 21 ff.

Ursache, die *Fristigkeit* und *Art* des Eintrittes sowie die *Dauer* und *Wiederholfrequenz* der Schwankung. Ein weiteres formales Merkmal ist die *Wirkrichtung* einer Bedarfsunsicherheit. Die Unterscheidung geht damit insgesamt über die Verwendung der bereits in Kapitel 3.1.2 eingeführten Beschreibungsparameter hinaus. Ein von BEHRBOHM zu einem ähnlichen Zweck, nämlich der Identifizierung von Flexibilitätsbedarfen, entwickelter Merkmalskatalog wurde dabei berücksichtigt. Aufgrund des im Vergleich zur vorliegenden Arbeit dort sehr viel weiter gefassten Flexibilitätsbegriffes war jedoch eine grundlegende Überarbeitung und ergänzende Detaillierung notwendig.[1]

Merkmal	**Ausprägungen**			
Grundtyp	Bedarfsmenge	Varianten- und Produkt-Mix		Produktspektrum
Ursache	Bestellverhalten des Abnehmers	Saisonalität	Konjunktureller Zyklus	Produkt-lebenszyklus
Eintrittsfrist	kurzfristig (~ Planungsperiode)	mittelfristig		langfristig (~ Planungshorizont)
Dauer	kurz (~ Planungsperiode)	mittel		dauerhaft (> Planungshorizont)
Eintrittsart	stetig			sprunghaft
Wiederholfrequenz	einmalig	unregelmässig (sporadisch)		regelmässig (zyklisch)
Wirkungsrichtung	kontraktiv	expansiv		wechselnd

Tab. 4.1: Morphologisches Schema zur Charakterisierung von möglichen Schwankungsereignissen des Kundenbedarfs

Im folgenden werden nun die einzelnen Merkmale und Merkmalsausprägungen kurz erläutert. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass diese voneinander weitgehend unabhängig sind. Es kann jedoch nicht in jedem Fall vermieden werden, dass eine bestimmte Ausprägung eines Merkmals die eines anderen logisch nach sich zieht oder ausschliesst. Zudem kann die Länge des gewählten Beobachtungsintervalls bei einigen Schwankungsarten die Zuordnung einzelner Merkmalsausprägungen deutlich beeinflussen.

Merkmal Grundtyp der Bedarfsunsicherheit

Die in Kapitel 2.2.3 vorgestellte Unterscheidung von möglichen Grundtypen der Bedarfsunsicherheit wird hier als erstes Merkmal übernommen. Die Festlegung der Merkmalsaus-

---

[1] Siehe dazu Behrbohm P., Flexibilität, 1985, S. 195 ff. Daneben beschäftigen sich auch REINHART, DÜRRSCHMIDT und KRÜGER mit der Beschreibung von Bedarfsveränderungen. Die Autoren beschreiben, dass diese aus der Überlagerung verschiedener Absatzänderung entlang des Produktlebenszyklus resultieren. Es werden die charakteristischen Merkmale Art, Dauer und zeitliche Abfolge von Schwankungen genannt. Vgl. Reinhart G./ Dürrschmidt S. / Krüger A., Montagesysteme, 1999.

prägungen *Bedarfsmengenschwankung*, Verschiebung des *Varianten- bzw. Produkt-Mix* sowie *Veränderung des Produktspektrums* erfolgt ebenfalls in Übereinstimmung mit den im gleichen Kapitel formulierten Erläuterungen. Auf eine weitere Diskussion dieses Merkmals kann deshalb an dieser Stelle verzichtet werden.

Merkmal Ursache der Bedarfsschwankung

Gemäss der in Kapitel 2.2.3 gegebenen Definition des Bedarfsbegriffes geht die Entscheidung, ob ein Gut bestellt und geliefert werden soll, in jedem Fall vom Abnehmer in einer Lieferkette bzw. letztendlich vom Endkunden aus. Mit der Ursache einer Bedarfsänderung ist folglich die Motivation gemeint, die einen Abnehmer dazu veranlasst, mehr oder weniger als in den vorangegangenen Perioden bzw. als im Durchschnitt zu bestellen. Der Einfluss von Defiziten oder Fehlern in den logistischen Prozessen zur Planung und Abwicklung der Produktion im eigenen Unternehmen soll dabei nicht im Blickpunkt stehen. Diese sind eher anderen Kategorien der Risiken und Unsicherheiten (vergleiche Abbildung 2.8 in Kapitel 2.2.2) zuzuordnen.

Die Frage nach dem Ursprung oder dem Auslöser einer Bedarfsveränderung ergänzt das zuerst genannte Merkmal des Veränderungstyps. Es zielt darauf ab, ein vertieftes Verständnis für mögliche Problemstellungen bei der Prognose von Bedarfsszenarien zu entwickeln und den Fokus auf im praktischen Anwendungsfall relevante Schwankungsereignisse zu lenken. Letztlich ist von einer ganzen Reihe von Einflussgrössen auszugehen, welche die Bedarfsentscheidung eines Abnehmers bestimmt und vom liefernden bzw. produzierenden Unternehmen nur in sehr begrenztem Umfang kontrolliert werden können.

Als erste, häufig (aber nicht zwangsläufig) für kurzfristige Bedarfsveränderungen verantwortliche Ursache ist das *Bestellverhalten* der bestehenden oder potenziellen Kunden zu nennen. Hierfür prägend können beispielsweise die Art der Materialdisposition beim Abnehmer, geplante Eindeckungsdauern oder Bestellrhythmen usw. sein. Der Tatbestand, dass Kunden auf Preisangebote oder Marketingaktivitäten mit erhöhten Bestellmengen reagieren können, ist dieser Merkmalsausprägung ebenso zuzurechnen, wie die Entscheidung für das Produktangebot eines Wettbewerbers.

Davon losgelöst, sollen *saisonale Bedarfsschwankungen* als eigenständiger Sachverhalt berücksichtigt werden. Unter einer Saisonalität können solche Veränderungen des Nachfrageverlaufes verstanden werden, die durch äussere Einflüsse wie Jahreszeiten, Feiertage oder Ferien bestimmt werden.[1] Typisch für Saisonalitäten ist, dass Bedarfe für einzelne Produkte oder Varianten, aber möglicherweise auch für das gesamte Produktspektrum in kalendarisch gesehen gleichen Zeiträumen anwachsen und später wieder abfallen bzw. umgekehrt.

Eine weitere Unterscheidung von Schwankungsursachen wird durch die Berücksichtigung *konjunktureller Bedarfszyklen* ermöglicht. Diese stehen im Zusammenhang mit der ökonomischen Entwicklung von Industriezweigen oder sogar ganzen Volkswirtschaften. Solche Schwankungsphänomene sind in zahlreichen Branchen von einschneidender Bedeutung. Sie betreffen in der Regel nicht nur die den Endverbraucher direkt versorgenden Unternehmen, sondern zumeist auch die zur Lieferkette gehörenden Betriebe und teilweise sogar die

---

[1] Siehe Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 427.

Produktionsausrüstung zuliefernde Industrie. Die Länge der Zyklen liegt, je nach Branche, zumeist in der Grössenordnung von einigen Jahren.

Eine letzte, im zeitlichen Horizont ebenfalls eher langfristig relevante Merkmalsausprägung ist die *Bedarfsveränderung entlang der Phasen des Produktlebenszyklus* in der Herstellung. In der Literatur werden dabei nach dem Beginn der Produktion die Abschnitte Markteinführung, Wachstum, Reife, Marktsättigung und Auslauf unterschieden, die jeweils durch Veränderung im erzielbaren Umsatz und damit auch in den nachgefragten Mengen gekennzeichnet sind.[1] Die in vielen Produktbereichen immer kürzer werdenden Lebenszyklen lassen diese Schwankungsursache zunehmend auch für die mittelfristige Kapazitätsplanung bedeutsam werden.

Merkmal Eintrittsfrist

Dieses dritte Merkmal zur Charakterisierung von Schwankungsereignissen nimmt weitgehend Bezug auf den bereits in Kapitel 3.1.2 eingeführten Parameter „Zeitspanne bis zum Eintritt der Veränderung". Ebenso wie im dort geschilderten Zusammenhang soll eine Einschätzung erfolgen, ob zwischen dem Erkennen einer Schwankung und deren tatsächlichem Eintritt eine längere oder kürzere Frist vergeht. Die dazu vorgeschlagenen Merkmalsausprägungen sind als relative Abschätzungen anzusehen. So soll unter *kurzfristig* eine Zeitspanne verstanden werden, die in der Grössenordnung der fallspezifisch gewählten Planungsperiode liegt. Wird daran anknüpfend die Merkmalsausprägung *langfristig* in Bezug zur Grössenordnung der Länge des insgesamt untersuchten Planungszeitraumes gesetzt, ergibt sich ein konsistentes Bild, bei dem die Ausprägung *mittelfristig* eine entsprechende Zwischenstellung einnimmt.

Merkmal Schwankungsdauer

Analog zur oben genannten Eintrittsfrist entspricht die Dauer einer Bedarfsschwankung dem gleichnamigen Parameter zur Quantifizierung von Änderungen des Kapazitätsbedarfes in Kapitel 3.2.1. Mit Hilfe dieses Merkmals soll im hier geltenden Zusammenhang eine Beurteilung abgegeben werden, ob ein zu charakterisierendes Schwankungsereignis zu einer länger andauernden kapazitiven Belastung bzw. Unterauslastung des betroffenen Produktionssystems führt oder ob die Veränderung nur kurzzeitig anhält. Auch hierfür erscheint es sinnvoll, erneut auf relative Massangaben zurückzugreifen. Eine *kurze* Schwankungsdauer soll demnach ebenfalls in der Grössenordnung von einer bis weniger Planungsperioden liegen. Dagegen bedeutet *dauerhaft*, dass eine Veränderung des Bedarfes die Länge des betrachteten Planungszeitraumes eindeutig überschreitet. Eine *mittlere* Schwankungsdauer liegt wiederum zwischen den beiden genannten Ausprägungen.

Merkmal Eintrittsart

In einigen bisher in vorangegangenen Abschnitten gezeigten graphischen Darstellungen wurden Veränderungen des Kapazitätsbedarfes vereinfachend als sprunghafte Anstiege bzw. Rückgänge abgebildet. Tatsächlich sind aber durchaus solche Bedarfsunsicherheiten denkbar, bei denen sich die Veränderung allmählich einstellt und sich somit über mehrere Perioden erstreckt. Mit dem Merkmal der Eintrittsart soll demnach bestimmt werden, ob beim untersuchten Schwankungsereignis mit einer *stetig* ansteigenden bzw. abfallenden oder mit einer *sprunghaften* Veränderung des Bedarfsverlaufes zu rechnen ist. Dabei muss beachtet wer-

---

[1] Vgl. hierzu beispielsweise Eversheim W. / Schuh G., Betriebshütte, 1996, S. 7-1 f.

den, dass die Festlegung der Länge der Planungsperioden entscheidenden Einfluss auf die hier diskutierte Einordnung haben kann.

Merkmal Wiederholfrequenz

Unabhängig von der Eintrittsfrist und auch teilweise unabhängig von der Dauer der Bedarfsänderung können bestimmte Schwankungsereignisse unter Umständen mehrfach innerhalb eines Planungszeitraumes auftreten. Dieser Aspekt der Bedarfsunsicherheit soll mit dem Merkmal *Wiederholfrequenz* erfasst werden. Die Merkmalsausprägung *einmalig* charakterisiert damit also solche Arten der Bedarfsschwankung, die im untersuchten Planungszeitraum nur einmal erwartet werden. Ist damit zu rechnen, dass eine bestimmte Schwankungscharakteristik mehrfach auftritt, besteht eine zusätzliche Unterscheidungsmöglichkeit im Hinblick auf die Gleichmässigkeit der Zeitabstände zwischen zwei Schwankungsereignissen ähnlicher Charakteristik. *Regelmässig* bzw. *zyklisch* bedeutet dabei, dass diese Abstände etwa gleich lang sind und dadurch bei der Planung in einem gewissen Umfang einfacher zu berücksichtigen sind. Bei *unregelmässig* bzw. *sporadisch* wiederkehrenden Schwankungen gilt dies entsprechend in umgekehrter Weise.

Wesentlich ist in jedem Fall, dass es bei der Bestimmung dieses Merkmals nicht um die Einschätzung geht, ob sich eine bestimmte Art der Bedarfsschwankung zu einem beliebigen Zeitpunkt in der Zukunft wiederholen kann. Vielmehr soll ausschliesslich relevant sein, ob dies innerhalb des fallspezifisch festzulegenden Planungszeitraumes zu erwarten ist.

Merkmal Wirkungsrichtung

Dieses letzte Merkmal vervollständigt die Charakterisierung hinsichtlich der aus einer Bedarfsschwankung resultierenden Veränderung der kapazitiven Belastung eines im Mittelpunkt stehenden Produktionssystems. Diejenigen Änderungen des Bedarfes, die zu einer Reduzierung der Belastung führen, können dementsprechend als *kontraktiv* eingestuft werden. Dies sind beispielsweise insgesamt zurückgehende Bedarfsmengen, aber auch Verschiebungen im Varianten- oder Produkt-Mix hin zu effektiv geringeren Kapazitätsbedarfen. Im Gegensatz dazu können Nachfrageschwankungen, die zu einer höheren Kapazitätsbelastung des untersuchten Produktionssystems führen, als *expansiv* bezeichnet werden.

Tatsächlich ist es aber durchaus auch denkbar, dass, abhängig von der Länge des Beobachtungszeitraums, einige Massnahmen nicht eindeutig als expansiv oder kontraktiv charakterisiert werden können. Ein Beispiel dafür können saisonale Nachfrageschwankungen sein, die zuerst zu einem Anwachsen des Kapazitätsbedarfes führen und später zu dessen Rückgang auf Werte unterhalb des Bedarfsmittelwertes bzw. umgekehrt. Solche Schwankungsarten des Kundenbedarfes sollen daher *wechselnd* genannt werden.

Grundsätzlich kann im Rahmen einer Analyse möglicher in der Zukunft zu bewältigender Bedarfsunsicherheiten für jedes im Anwendungsfall relevante Schwankungsphänomen eine Charakteristik erarbeitet werden, die an die oben genannten Merkmale geknüpft ist. Dies unterstützt schliesslich das angestrebte differenzierte Verständnis für mögliche Bedarfsveränderungen im Zeitverlauf, das erforderlich ist, um beurteilen zu können, ob das zur Verfügung stehende Portfolio von Anpassungsmöglichkeiten prinzipiell geeignet ist oder ob gegebenenfalls Verbesserungen angezeigt sind. Hierzu gehört auch, dass im Falle einer fehlenden Notwendigkeit auf das Bereithalten bestimmter Massnahmen verzichtet werden

sollte, falls dies zu nennenswerten Kosteneinsparungen führt. Darüber hinaus bildet diese Art der Analyse eine wesentliche Grundlage für die gezielte Einsatzplanung von Einzelmassnahmen im Sinne einer Entwicklung von Anpassungsstrategien für bestehende Bedarfsszenarien. Das hier vorgeschlagene morphologische Schema stellt dafür ein Hilfsmittel dar, um gezielt mögliche Schwankungsphänomene aufzuspüren. So lassen sich zum Beispiel aus den Merkmalen und ihren Ausprägungen einfache Checklisten ableiten, die im Rahmen von Interviews mit erfahrenen Planern oder Disponenten eingesetzt werden können, um die vorhandenen Kenntnisse zu Schwankungsmustern des Bedarfes sinnvoll zu strukturieren. Dies soll hier aber nicht weiter ausgearbeitet werden.

4.2.2 Bestimmung des erwarteten Kapazitätsbedarfs

Voraussetzung für den Kapazitätsabgleich und die gegebenenfalls notwendige Planung der Kapazitätsanpassung ist schliesslich die Kenntnis des zeitlichen Verlauf des Kapazitätsbedarfes. Dazu können mit Hilfe von Bedarfsvorhersagen und der oben erläuterten Analyse zu erwartender Bedarfsschwankungen entsprechende Szenarien entwickelt werden. Neben den schon erwähnten Zeitaspekten ist dabei besonders die korrekte Bestimmung und Wiedergabe von Kapazitätsbedarfsniveaus und deren Veränderung ($\Delta KAPB$) eine wichtige Fragestellung, auf die im folgenden vertiefend eingegangen werden soll.

Die Anforderungen an die zahlenmässige Formulierung der geforderten Höhe eines Kapazitätsbedarfes sind mit Blick auf die möglichen Typen der Bedarfsunsicherheiten klar auszumachen. Zunächst muss die Quantifizierung in einer hinreichend exakten Form erfolgen. Dies bedeutet, dass die Auswirkungen aller im Planungszeitraum als relevant anzusehenden Schwankungsarten auf das Niveau des Kapazitätsbedarfes eindeutig wiedergegeben werden müssen. Dazu gehört unter anderem, dass die unter Umständen mit einer Verschiebung des Varianten- bzw. Produkt-Mix verbundene Belastungsänderung darstellbar sein müssen. Neben der Exaktheit der Kapazitätsmessung ist dafür auch die geeignete Wahl der Länge der Planungsperiode verantwortlich.

Möglichkeiten zur Formulierung des Kapazitätsbedarfes sowie der bereitgestellten Kapazität

Grundsätzlich stehen zur Erfassung eines installierten Kapazitätsniveaus, wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt, zwei alternative Wege zur Verfügung. Eine vor allem in der kurzfristigen Produktionsplanung bevorzugt verwendete Möglichkeit ist die Kapazitätsmessung in Zeiteinheiten. Üblich sind hier vor allem Zeitangaben in Stunden pro Periode. Dazu muss für jeden einzelnen Produktionsauftrag bzw. für eine vorhergesagte Produktmenge die am untersuchten Arbeitssystem planmässig benötigte Betriebszeit ermittelt werden. Diese ergibt sich in der Regel aus der Summe der Rüstzeit und der Bearbeitungszeit für ein zu produzierendes Los bzw. für mehrere, wenn der Bedarf entsprechend gross ist. Warte- und Transportzeiten (vgl. Abbildung 3.8 in Kapitel 3.3.2) belasten die Produktionsressource zumeist nicht. Gleichzeitig folgt daraus, dass auch die Basiskapazität und Anpassungsmöglichkeiten in Zeiteinheiten spezifiziert werden müssen, was in der Praxis in den meisten Fällen kein Problem darstellt. Lediglich bei bestimmten, eher mittel- und langfristig zu planenden Kapazitätsanpassungen, zum Beispiel der Fremdvergabe von Wertschöpfungsanteilen, ist die Bestimmung der Kapazitätsbeiträge in Stunden möglicherweise aufwendig. Die oben formulierten Anforderungen an die Kapazitätsbestimmung werden aber in jedem Fall erfüllt.

Als zweite Möglichkeit kann ein Kapazitätsbedarf oder die bereitgestellte Kapazität auch in benötigten bzw. produzierbaren Mengeneinheiten, beispielsweise in Stückzahlen, ausgedrückt werden. Hierbei kann sich jedoch das Problem ergeben, dass die pro Einheit einer Variante oder eines Produktes an einem Arbeitssystem konsumierte Betriebszeit deutlich variiert. Die entsprechende Konsequenz ist, dass unterschiedliche Zusammensetzungen des Produkt-Mix trotz scheinbar gleich grosser Gesamtmengen zu verschiedenen Kapazitätsbelastungen führen können. Die einfache Aufsummierung von Bedarfsstückzahlen über die verschiedenen, durch ein Produktionssystem bearbeiteten Varianten oder Produkte ist also unter Umständen ungenau und übersieht mögliche Verschiebungen im herzustellenden Varianten- und Produkt-Mix. Sollen dennoch Mengeneinheiten als Kapazitätsmass verwendet werden, so sind diese geeignet zu normieren. Hierfür eignet sich insbesondere eine aus der Arbeitsgangdauer abgeleitete varianten- bzw. produktgebundene Kenngrösse, die hier als *spezifische Auftragszeit* bezeichnet werden soll. Sie ergibt sich aus der für eine Mengeneinheit (zum Beispiel pro Stück) benötigten Bearbeitungszeit am untersuchten Arbeitssystem und einem Rüstzeitanteil. Gleichung 4-1 gibt die Bestimmungsgleichung wieder. Der Wert sagt aus, mit welchem Zeitbetrag ein Produktionssystem durch Bearbeitung einer Mengeneinheit eines bestimmten Produktes bzw. einer Variante belastet wird.

$$t_{AZ,p} = t_{EZ,p} + \frac{t_{RZ,p}}{LG_p} \qquad \textbf{(Gl. 4-1)}$$

mit

$t_{AZ,p}$	Spezifische Auftragszeit für eine Mengeneinheit der Variante / des Produktes p [min / ME],
$t_{EZ,p}$	Einzelbearbeitungszeit der Variante / des Produktes p [min / ME],
$t_{RZ,p}$	Rüst- und Vorbereitungszeit für die Variante / das Produkt p [min],
LG_p	Losgrösse für die Variante / das Produkt p [ME].

Die in einer Zeitperiode insgesamt anfallende Vorgabezeit, die von einem Arbeitssystem tatsächlich abzuarbeiten ist, kann durch die Aufsummierung der je Variante und Produkt benötigten Mengen, jeweils multipliziert mit den Werten für die spezifische Auftragszeit, bestimmt werden.

$$T_{VZ,ges}(t) = \sum_{p=1}^{w} t_{AZ,p} \cdot N_p(t) \qquad \textbf{(Gl. 4-2)}$$

mit

$T_{VZ,ges}(t)$	Gesamtvorgabezeit zum Zeitpunkt t [min / Periode],
w	Anzahl der vom betrachteten Arbeitssystem bearbeiteten Varianten / Produkte [-],
$t_{AZ,p}$	Spezifische Auftragszeit für eine Mengeneinheit der Variante / des Produktes p [min / ME],
$N_p(t)$	Bedarfsmenge der Variante / des Produktes p zum Zeitpunkt t [ME / Periode].

Dividiert man nun Gleichung 4-2 durch die spezifische Auftragszeit eines Referenzproduktes folgt die Bestimmungsgleichung für eine normierte Gesamtstückzahl:

$$\bar{N}_{ges}(t) = \sum_{p=1}^{w} \bar{N}_p(t) = N_{ref}(t) + \sum_{p=2}^{w} \frac{t_{AZ,p}}{t_{AZ,ref}} \cdot N_p(t) \qquad \textbf{(Gl. 4-3)}$$

mit

$\bar{N}_{ges}(t)$	Normierte Gesamtmenge zum Zeitpunkt t [ME / Periode],
$\bar{N}_p(t)$	Normierte Menge der Variante / des Produktes p zum Zeitpunkt t [ME / Periode],
$N_{ref}(t)$	Menge des Referenzproduktes zum Zeitpunkt t [ME / Periode].

Der Mengenbedarf jeder einzelnen Variante bzw. jedes Produktes kann damit in eine der tatsächlichen zeitlichen Kapazitätsbelastung entsprechenden Menge des Referenzproduktes umgerechnet werden, so dass eine objektive Vergleichbarkeit verschiedener Bedarfszustände erzielt wird.[1] Die eingangs formulierten Anforderungen an die quantitative Bestimmung des Kapazitätsbedarfsniveaus werden damit in ähnlicher Weise erfüllt, wie das bei der Verwendung von Zeiteinheiten der Fall ist. Dazu ergänzend illustriert die nachfolgend gezeigte Abbildung 4.3 qualitativ, wie eine Verschiebung des Varianten- bzw. Produkt-Mix durch die Verwendung von normierten Bedarfsmengen abgebildet werden kann, wenn verschiedene Werte für die spezifische Auftragszeit ($t_{AZ,p}$) zu beachten sind.

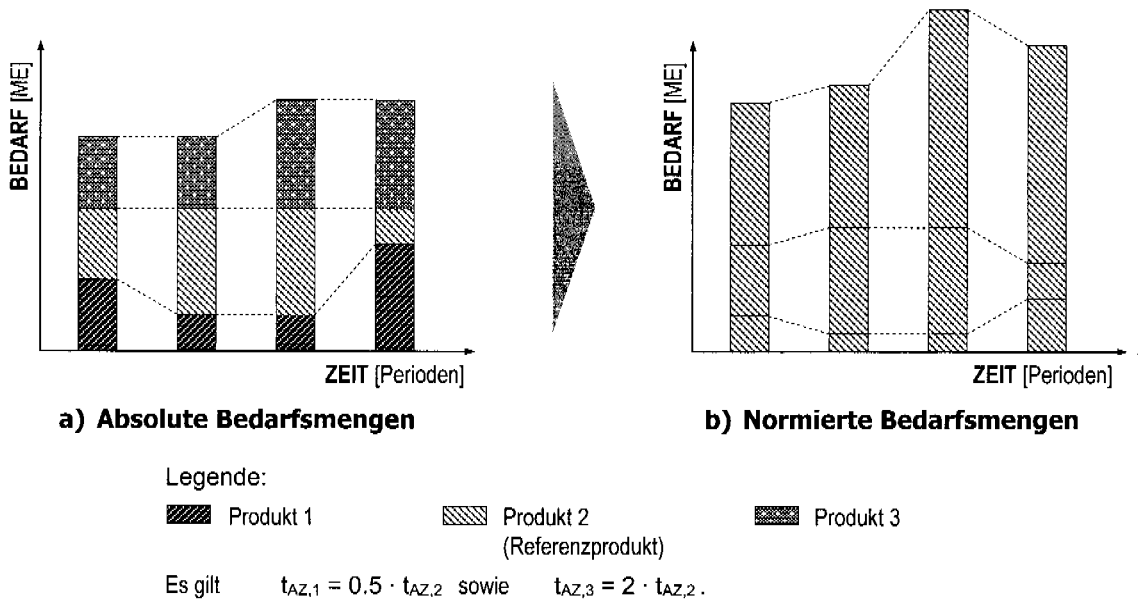


Abb. 4.3: Darstellung des Einflusses von Veränderungen des Varianten- bzw. Produkt-Mix auf den effektiven Kapazitätsbedarf, ausgedrückt durch normierte Bedarfsmengen

Schliesslich soll an dieser Stelle noch auf eine Erkenntnis hingewiesen werden, die sich direkt aus der oben durchgeführten Betrachtung ableiten lässt. Danach kann eine optimale

[1] Siehe dazu auch Gottschalk L. / Iliev N. / Günther S., Manufacturing Flexibility, 2004.

(Varianten-) Mix-Flexibilität im Sinne der in Kapitel 2.1.2 eingeführten Definition genau dann realisiert werden, wenn die spezifische Auftragszeit ($t_{AZ,p}$) für alle vom untersuchten Produktionssystem bearbeiteten Varianten und Produkte einen annähernd gleichen Wert besitzt. Ist diese Bedingung erfüllt, kann die Zusammensetzung des Varianten- bzw. Produkt-Mix beliebig verschoben werden, ohne dass sich dies auf die insgesamt produzierbare Produktmenge in einer festgelegten Zeitperiode auswirkt.

Abschätzung des Kapazitätsbedarfes bei der Einführung neuer Produkte oder Varianten

Eine unabhängig von der Art und Weise der Kapazitätsmessung bestehende Schwierigkeit bei der Ermittlung von Kapazitätsbedarfen steht im Zusammenhang mit dem Produktionsanlauf für neue oder signifikant modifizierte Produkte und Produktvarianten. Insbesondere zu Beginn des Herstellungszyklus' eines Produktes ist der zeitliche, aber auch der sonstige kostenbezogene Aufwand zur Herstellung einer Mengeneinheit häufig sehr viel grösser, als dies in späteren Phasen der Fall ist. Verantwortlich hierfür sind Fortschritte und Verbesserungen bei der Ausführung der mit der Produktion verbundenen Tätigkeiten. Hierzu gehören vor allem

- rationellere Arbeitsmethoden und Abläufe,
- die schnellere Ausführung von Arbeitsschritten,
- Verbesserungen bei der erzielten Produktqualität (weniger Nacharbeit bzw. geringere Ausschussrate) sowie
- eine optimierte Versorgung mit Material, Werkzeugen und Hilfsstoffen.[1]

Dieser Sachverhalt wird in der Literatur als Lern- oder Erfahrungseffekt bezeichnet, der sich auch mit Hilfe empirisch gefundener Beziehungen, den sogenannten *Lernkurven* beschreiben lässt. Diese geben das Mass der Verbesserung hinsichtlich Kosten und / oder Zeit an, das mit der zunehmenden Anzahl insgesamt hergestellter Mengeneinheiten eines Produktes verknüpft ist.[2] Eine der ersten Beschreibungen dieses Phänomens in der industriellen Produktion wurde von WRIGHT veröffentlicht, der bereits in den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entsprechende Beobachtungen bei der Fertigung von Flugzeugen machte. Seine wesentliche Erkenntnis war, dass die Herstellungskosten pro Flugzeug, die unter anderem vom Zeitaufwand für die Fertigung bestimmt wurden, mit jeder Verdopplung der insgesamt gefertigten Stückzahl um etwa 20 Prozent sanken.[3]

Seither haben sich eine ganze Reihe von Autoren mit diesem Thema befasst und zum Teil sehr unterschiedliche Modelle und Methoden entwickelt, um den Verlauf von Lernkurven mathematisch beschreiben und somit vorhersagen zu können. Dabei hat sich inzwischen zumindest teilweise die Auffassung durchgesetzt, dass sich die Reduzierung der Produktionskosten bzw. des Zeitaufwandes zur Bearbeitung einer Mengeneinheit nicht beliebig fortsetzen lässt. Stattdessen flacht die Kurve, wie in Abbildung 4.4 schematisch dargestellt, nach einer Einlaufphase merklich ab. Der dafür durchaus plausible Grund ist, dass es tech-

---

[1] Vgl. de Greiff M., Prognose von Lernkurven, 2001, S. 12.

[2] Vgl. z.B. APICS Dictionary, 2005, S. 60; Weitere, in der einschlägigen Literatur Begriffssynonyme sind *Erfahrungskurve*, *Ein-* bzw. *Anlaufkurve*, *Übungskurve* oder auch der englische Begriff *Manufacturing Progress Curve*.

[3] Siehe Wright T.P., Cost of airplanes, 1936.

nische, zum Beispiel feststehende Bearbeitungszeiten an Maschinen, aber auch nicht-technische Zeitanteile gibt, die nicht über einen Grenzwert hinaus verringert werden können, sofern die Lerneffekte ausschliesslich auf Routinebildung und Fehlerreduzierung beruhen.[1]

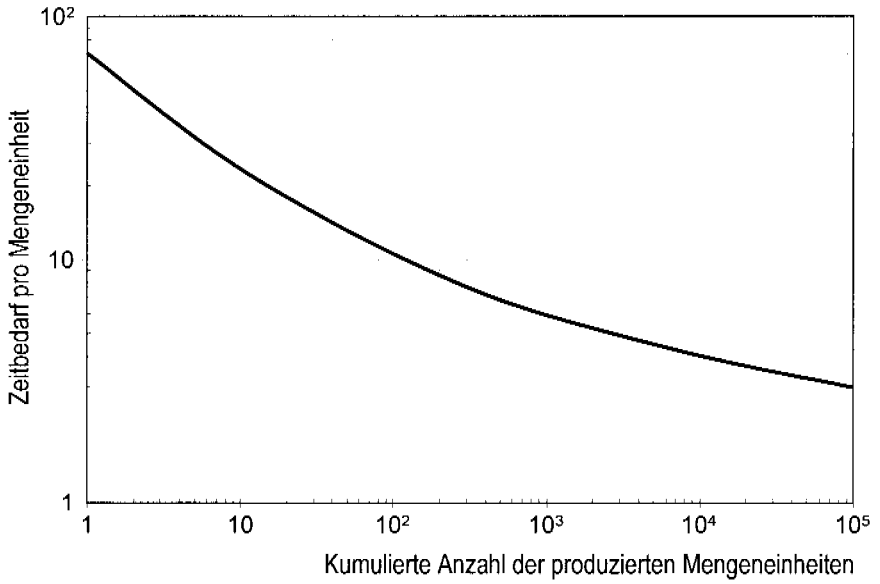


Abb. 4.4: Qualitative Darstellung einer Lernkurve mit abnehmender Lernrate im doppelt-logarithmischen Diagramm

Die Abflachung der Lernkurve bedeutet, dass der erzielbare zeitliche Effizienzgewinn vor allem zu Beginn der Herstellung eines neuen Produktes von wichtiger Bedeutung für die Kapazitätsplanung ist und in späteren Phasen nur noch eine relativ geringe Rolle spielt. BALOFF unterteilt den Verlauf von Lernkurven sogar in eine Start- oder Einlaufphase und eine anschliessend folgende mehr oder minder gleich bleibende „Steady-state-Phase".[2]

Daran anknüpfend werden von DE JONG sowie in ähnlicher Form auch von ULLRICH formelmässige Beziehungen zur Abschätzung von Lernkurven vorgeschlagen, die eine grundsätzliche Möglichkeit darstellen, den Verlauf der Kapazitätsbelastung in der Anlaufphase eines neuen Produktes zu erfassen. Beide Gleichungen (4-4 a und b) bestimmen den Zeitaufwand zur Herstellung einer Einheit eines Produktes oder einer Produktvariante in Abhängigkeit von der insgesamt hergestellten Menge seit Produkteinführung.

[1] Siehe dazu detailliert de Jong J.R., Fertigkeit, 1960, S. 24 ff. oder Ullrich G., Wirtschaftliches Anlernen, 1995, S.33 f.

[2] Siehe dazu Baloff N., Learning curve, 1971.

Lernkurven-Beziehung nach DE JONG[1]:

$$T(x) = T(1) \cdot \left(M + (1 - M) \cdot x^{-b}\right) \qquad \textbf{(Gl. 4-4 a)}$$

Lernkurven-Beziehung nach ULLRICH[2]:

$$T(x) = T_e + \left(T(1) - T_e\right) \cdot x^{-b} \qquad \textbf{(Gl. 4-4 b)}$$

mit

$T(x)$	benötigter Zeitaufwand für die x-te Mengeneinheit eines bestimmten Produktes zur Durchführung eines Bearbeitungsvorgangs am untersuchten Arbeitssystem [min],
$T(1)$	Zeitaufwand für die erste Einheit [min],
M	Unreduzierbarkeitsfaktor des Zeitaufwandes für den betrachteten Arbeitsvorgang (DE JONG) mit einem Wertebereich zwischen 0 und 1 [-],
T_e	nicht weiter reduzierbarer (End-) Wert des Zeitaufwandes zur Bearbeitung einer Mengeneinheit (ULLRICH) [-],
x	Anzahl der insgesamt seit Produktionsbeginn hergestellten Einheiten eines bestimmten Produktes bzw. einer Produktvariante [ME],
b	Degressionskonstante oder Ablaufexponent; Bestimmt vor allem zu Beginn die Steigung der Lernkurve wesentlich. Sinnvolle Werte sind grösser als 0 [-].

Eine Betrachtung der in Abbildung 3.8 (Kapitel 3.3.2) dargestellten Elemente der Durchlaufzeit an einem Arbeitssystem im Hinblick auf deren Veränderung infolge möglicher Lerneffekte zeigt, dass technische und nicht-technische Wartezeiten in der Regel nur indirekt betroffen sein dürften. Da Verbesserungen und Zeiteinsparungen, die sich durch eine wachsende Routine erzielen lassen, an von Menschen durchgeführte Arbeitsabläufe geknüpft sind, ist davon auszugehen, dass es vor allem Rüst- und Bearbeitungszeiten sowie unter Umständen auch Transportzeiten sind, die mit wachsenden Herstellmengen immer schneller durchgeführt werden können. Es erscheint daher durchaus zulässig, die in den Gleichungen 4-4 a und 4-4 b vorgeschlagenen Beziehungen auf die in Gleichung 4-1 definierte spezifische Auftragszeit $t_{AZ,p}$ zu übertragen, wenn es darum geht, den Kapazitätsbedarf zur Herstellung eines neuen Produktes bzw. einer neuen Variante in der Anlaufphase abzuschätzen.

Für den im Rahmen der vorliegenden Arbeit im Mittelpunkt stehenden Kapazitätsabgleich sind letztlich zwei verschiedene Wege zur Verwendung des Lernkurven-Konzepts denkbar. Eine erste Möglichkeit ist die Berücksichtigung des Lerneffektes durch den Effizienzgrad der

[1] Siehe de Jong J.R., Fertigkeit, 1960, S. 25 f.

[2] Siehe Ullrich G., Wirtschaftliches Anlernen, 1995, S. 35 ff.

Personalkapazität (η), der in die Bestimmung der nutzbaren Personalkapazität ($KAPN_{PE}$) und damit in die der maximal verfügbaren Kapazität (KAP_{max}) zu einem bestimmten Zeitpunkt eingeht (vgl. Gleichungen 2-2 und 2-3 in Kapitel 2.3.2). Dafür muss der Wert des Effizienzgrades entsprechend des Verlaufes einer fallspezifisch ermittelten Lernkurve kontinuierlich angepasst werden. Diese Lösung ist jedoch nur dann praktikabel, wenn keine weiteren Produkte auf dem betrachteten Arbeitssystem bearbeitet werden, da es ein eher unwahrscheinlicher Fall ist, dass Verlauf und Phase der Lernkurven für das gesamte Produkt- und Variantenspektrum übereinstimmen.

Mögliche Erfahrungseffekte, wie oben bereits angedeutet, durch eine entsprechende Bestimmung der spezifischen Auftragszeit einzuplanen, erscheint daher die vermutlich besser geeignete Alternative zu sein. Erfolgt die Formulierung von Kapazitätsbedarf und verfügbarer Kapazität in Mengeneinheiten, kann die Kapazitätsbelastung durch ein Neuprodukt mit Hilfe normierter Mengeneinheiten sinnvoll ausgedrückt werden. Findet die Belastungsrechnung und der Kapazitätsabgleich stattdessen in Zeiteinheiten statt, können die auf der Basis von Lernkurven ermittelten Werte für die spezifische Auftragszeit mit dem jeweiligen Mengenbedarf pro Planungsperiode multipliziert und als Belastung im selben Zeitraum eingerechnet werden.

Grundsätzlich sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass es sich bei der hier vorgeschlagenen Nutzung von Erfahrungskurven lediglich um einen denkbaren Ansatz handelt, um die in jedem Fall schwierige Abschätzung von Kapazitätsbedarfen bei Produkten in der Anlaufphase zu unterstützen. Das wesentliche Grundelement bleibt auch hier die an Erfahrungen und langfristige Beobachtungen geknüpfte Festlegung der Parameter b (Degressionskostante) sowie M (Unreduzierbarkeitsfaktor) bzw. T_e (Grenzwert des Zeitaufwandes) in den Gleichungen 4-4a bzw. b. Liegen diese Informationen gar nicht oder nur mit unzureichender Zuverlässigkeit vor, muss bei der Beurteilung von Planungsresultaten beim Kapazitätsabgleich von einer hohen Unsicherheit ausgegangen werden.

4.3 Lösungsentwicklung für die bedarfsgerechte Kapazitätsanpassung

Auf der Grundlage vorliegender, gegebenenfalls mit Unterstützung der oben vorgeschlagenen Hilfsmittel erarbeiteter Bedarfsszenarien müssen nun im Falle wesentlicher Abweichungen des Bedarfes von der verfügbaren Basiskapazität Anpassungsmassnahmen ausgewählt und terminiert werden. Eine Bewertung und Vergleich verschiedener Anpassungskonfigurationen empfiehlt sich, wie bereits in früheren Abschnitten festgestellt, genau dann, wenn mehrere unterschiedliche Massnahmenalternativen einsetzbar sind, so dass die gezielte, effiziente Anpassungsplanung nicht als triviale Aufgabenstellung anzusehen ist. Voraussetzung für die gezielte Konfiguration und Bewertung von Anpassungsalternativen (Schritte 4 des in Abbildung 4.2) dargestellten Ablaufschemas ist allerdings die detaillierte Kenntnis der beschreibenden Parameter für die nutzbaren Anpassungsmassnahmen.

4.3.1 Erfassung von Massnahmen zur Kapazitätsveränderung durch die Bestimmung der beschreibenden Parameter

Die Festlegung der jeweils gültigen Werte für die Beschreibungsparameter von Anpassungsmassnahmen ist in der Praxis von einer Vielzahl fallspezifischer Aspekte beeinflusst, die hier weder im einzelnen vorgedacht, noch umfassend aufgeführt werden können. Dies gilt vor allem für die in der Anpassungsplanung zu berücksichtigenden maximalen Nutzbarkeitsdauer sowie für die Kosten der Anpassung. Vor allem für Letztere gilt, dass sie unmittelbar vom Kontext der Planungsfragestellung abhängig sind.

Ermittlung des Kapazitätsbeitrages einer Anpassungsmassnahme

Zusätzlich zu den bereits in Kapitel 4.2 beschriebenen Möglichkeiten, die Kapazität eines Produktionssystems auszudrücken, sind im Zusammenhang mit der Kapazitätsanpassung mindestens drei weitere wichtige Aspekte zu beachten. Zunächst soll hier noch einmal auf die leicht nachvollziehbare Voraussetzung für eine sinnvolle Realisierbarkeit eines Kapazitätsabgleichs hingewiesen werden, die in der Anforderung besteht, den Kapazitätsbedarf, die installierte Grund- und Basiskapazität sowie die Kapazitätsveränderung durch eine Anpassungsmassnahme in einer gleichen Art und Weise auszudrücken. Dazu müssen für beide Seiten übereinstimmend Zeiten oder Mengeneinheiten als Kapazitätsmass sowie gleichlange Planungsperioden gewählt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Bestimmung des Änderungsbetrages der Kapazität pro Periode durch eine Anpassungsmassnahme ist die Einordnung ihrer Wirksamkeit relativ zur installierten Gesamt- bzw. Basiskapazität. So können zuerst solche Massnahmen unterschieden werden, die einen absoluten Kapazitätsbeitrag leisten und damit unabhängig von anderen Kapazitätsveränderungen oder der Basiskapazität sind. Hierzu gehört unter anderem die temporäre Fremdvergabe von Wertschöpfungsanteilen. Dagegen sind die Arbeitszeit verlängernde oder verkürzende Massnahmen, also Überstunden oder Zusatz- bzw. Freischichten, häufig mit anderen Massnahmen verknüpft. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass die Anordnung von Überstunden auch für zusätzlich eingestelltes Personal oder temporäre Mitarbeiter gilt. Bei der Bestimmung des Kapazitätsbeitrages ist demnach präzise zu prüfen, wie sich der Einsatz einer Anpassungsmassnahme tatsächlich auf die insgesamt installierte Produktionskapazität zu einem bestimmten Zeitpunkt auswirken wird.

Schliesslich muss beim Kapazitätsabgleich bzw. bei der Planung der Kapazitätsanpassung der bereits in den Kapiteln 2.3.2 und 2.5 formulierten Zielsetzung Rechnung getragen werden, den Wert der Kapazitätsauslastung in einem möglichst engen Bereich konstant zu halten. Bei der planerischen Realisierung bestehen dazu im Grundsatz zwei Alternativen. Ein denkbarer Weg ist es, bereits bei der Ermittlung der Basiskapazität sowie der Kapazitätsbeiträge der Anpassungsmassnahmen jeweils die geplante Unterauslastung einzurechnen. Allerdings ist es vermutlich transparenter, nicht bereits von Beginn an von verringerten Kapazitäten auszugehen. Stattdessen erscheint es praktikabel, den tatsächlichen Wert der Auslastung sowie dessen Verlauf im Betrachtungszeitraum zum Gegenstand einer gezielten Planung zu machen.

Bestimmung der Zeitparameter

Während bei den Parametern *Aktivierungszeit* und *minimale Nutzbarkeitsdauer* keine weiteren, über die Definitionen in Kapitel 3.1.2 hinausgehenden Erläuterungen notwendig

erscheinen, muss im Hinblick auf Massnahmen, welche die Einsatzzeit des Personals betreffen, auf einige Sonderfälle bei der Festlegung der maximalen Nutzbarkeitsdauer hingewiesen werden. Zu beachten ist hier, dass durch die inzwischen in der industriellen Praxis weit verbreiteten Arbeitszeitkonten die tatsächliche Verfügbarkeitsdauer arbeitszeitrelevanter Massnahmen einerseits von der Intensität ihrer Nutzung sowie andererseits auch von der Vorbelastung der Arbeitszeitkonten abhängt. Hinzu kommt die Schwierigkeit, dass zum Teil mehrere Massnahmen (zum Beispiel Schichtverlängerung, Zusatz- oder Freischichten usw.) den Stand von Arbeitszeitkonten beeinflussen können und dies unter Umständen gleichzeitig.

Abhängig von der Genauigkeitsanforderung der durchzuführenden Planung ist daher eine geeignete Abschätzung der Werte für die maximale Nutzbarkeitsdauer oder aber die Führung eines „virtuellen" Arbeitszeitkontos notwendig. Letzteres hat die Aufgabe das durchschnittliche Niveau der Über- oder Minusstunden der Mitarbeiter im untersuchten Produktionsbereich in etwa zu repräsentieren. Diese durchaus relativ aufwendige Vorgehensweise ermöglicht es sogar, den sich hinsichtlich des Anfalls von Überzeiten gegenseitig kompensierenden Effekt von Mehrarbeit auf- und abbauenden Massnahmen einzubeziehen. Darüber hinaus sind in zahlreichen Fällen verschiedenste gesetzliche und betriebliche Regelungen zu beachten, die maximale Tages- und Wochenarbeitszeiten festlegen, Ober- und Untergrenzen von Arbeitszeitkonten definieren oder die Arbeit an Sonn- und Feiertagen einschränken. Dies führt letztlich zu einem relativ komplexen System von Regeln und Bedingungen, so dass im Anwendungsfall eine fallspezifische Lösung zur Bestimmung der maximalen Nutzbarkeitsdauer nötig ist. In mehreren Untersuchungen hat sich jedoch gezeigt, dass im Rahmen einer groben Kapazitätsanalyse und -planung möglichst einfache, gegebenenfalls untere Abschätzungen fester Werte für diesen Parameter zweckmässig sein können.

Festlegung der Anpassungskosten

Mit dem Begriff der Anpassungskosten sind ausschliesslich diejenigen Aufwände gemeint, die durch das aktive Verändern von Kapazität durch Anpassungsmassnahmen anfallen. Sie lassen sich in drei Kostenarten unterteilen, die durch die Aktivierung, die Nutzung sowie durch die Rücknahme von Massnahmen verursacht werden. Beispiele für die in der Regel einmalig vor Beginn des Einsatzes einer Kapazitätsveränderung entstehenden Aktivierungskosten sind Aufwände für die Auswahl und Einweisung von neuen Mitarbeitern, Investitionen in zusätzliche Produktionsausrüstung oder Abfindungszahlungen bei der Reduzierung der Mitarbeiterzahl.

Hingegen handelt es sich bei den Kosten für die Nutzung einer Anpassungsmassnahme üblicherweise um laufende Zusatzkosten. Abhängig von einer konkreten Planungsfragestellung sind dies beispielsweise Lohnzuschläge für zusätzliche Wochenend- und Nachtarbeit oder Mehrkosten für die temporäre Fremdvergabe von Produktionsaufträgen, die eine tatsächliche Veränderung der Stückkosten bewirken.

Obwohl es vermutlich nur in wenigen Fällen in der Praxis dazu kommt, dass die Rücknahme einer Kapazitätsanpassung faktisch monetäre Aufwände verursacht, so ist diese Kostenart in jedem Fall als einmalig anzusehen. Denkbar sind beispielsweise Gebühren für die vorzeitige Auflösung von Verträgen mit Outsourcing-Partnern oder Personal-Service-Gesellschaften. Als formal negative Rücknahmekosten können zudem Erlöse einbezogen werden, die bei der Aufhebung einer Massnahme durch die Veräusserung von Produktionsausrüstung oder ähnlichem entstehen.

Generell ist bei der Ermittlung der Anpassungskosten auf das wichtige Grundprinzip der Kostenrechnung zu achten, dass nur wirklich *relevante Kosten* berücksichtigt werden dürfen. Mit dem Begriff der relevanten Kosten sind solche Aufwände gemeint, die als Folge aktueller oder zukünftig zu treffender Entscheidungen anzusehen sind.[1] Dem folgend, muss bei der Zusammenstellung der entsprechenden Kostendaten unbedingt die Überlegung im Mittelpunkt stehen, welche konkrete Fragestellung im Einzelfall zu beantworten ist. So ist es sicherlich wenig sinnvoll, Investitionskosten für zusätzliche Betriebsmittel in die Berechnung der Anpassungskosten und damit in die kostenmässige Bewertung einer Anpassungsstrategie aufzunehmen, wenn die Entscheidung zur Investition längst gefallen ist. Dagegen ist dies zweifellos dann notwendig, wenn geklärt werden soll, ob eine Kapazitätserweiterung durch zusätzliche Maschinen oder effizienter durch einen Wechsel des Schichtmodells zu erreichen ist.

4.3.2 Konfiguration und Bewertung von Anpassungsstrategien

Aufgabe der Planung einer Kapazitätsanpassung für ein zuvor erarbeitetes Bedarfsszenario ist die Konfiguration und anschliessende Bewertung von alternativen Anpassungsstrategien. Dazu müssen zunächst Zeitabschnitte innerhalb des untersuchten Planungszeitraumes identifiziert werden, in denen eine nicht zu akzeptierende Abweichung des Kapazitätsbedarfes vom Kapazitätsangebot festgestellt werden kann. Um die Abweichungen auszugleichen, sind daran anschliessend jeweils geeignete Anpassungsmassnahmen aus einem bestehenden Massnahmen-Portfolio auszuwählen und zu terminieren. Im optimalen Fall ist dieses Massnahmen-Portfolio durch eine längerfristige Planung auf die grundsätzlich zu erwartenden Typen der Bedarfsveränderung ausgerichtet, so dass die benötigten Anpassungsmöglichkeiten tatsächlich auch zur Verfügung stehen. Schliesslich muss eine Bewertung der gefundenen Anpassungsstrategien und gegebenenfalls auch noch eine schrittweise Verbesserung durchgeführt werden, um durch einen Vergleich der Ergebnisse die beste Lösung auszuwählen und umsetzen zu können. Ziel des Planungsablaufes ist es, eine Konfiguration zu finden, mit der einerseits eine hohe Liefertreue erzielt werden kann und die andererseits möglichst geringe Kosten für die Kapazitätsveränderung selbst sowie für nicht vermeidbare Anpassungsmängel (vgl. Kapitel 4.1.1) verursacht. Das nachfolgende Flussdiagramm (Abbildung 4.5) zeigt die Struktur des Ablaufes noch einmal in detaillierter Weise.

---

[1] Vgl. Seiler A., Accounting, 1999, S. 265 f.

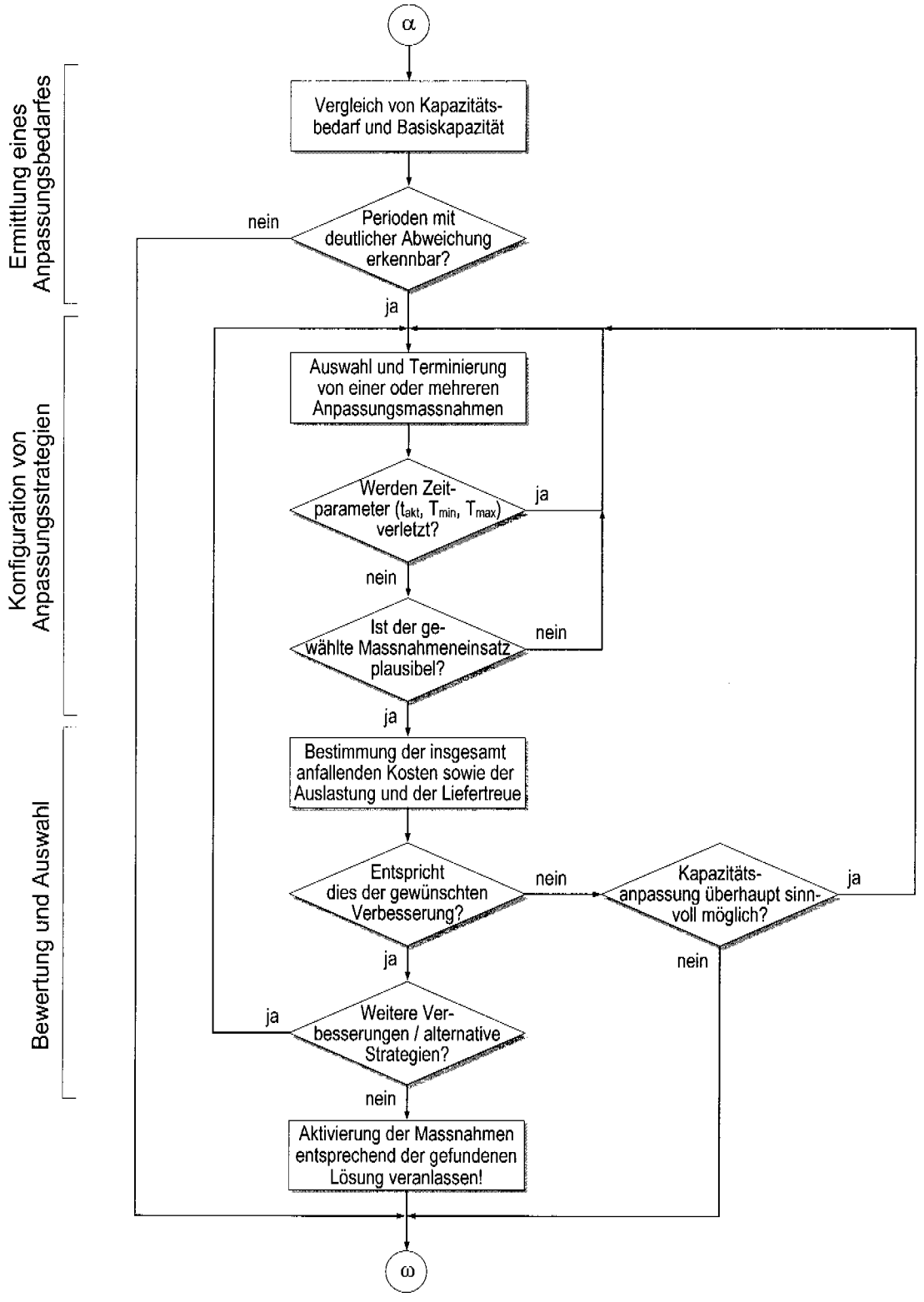


Abb. 4.5: Ablaufschema der Planung und Bewertung von Strategien zur Kapazitätsanpassung

Grundlage für das vorgeschlagene Planungskonzept ist das bereits in Abbildung 3.7 (Kapitel 3.3.2) vorgestellte Modell eines Arbeitssystems, zu dem neben der eigentlichen verarbeitenden Ressource auch ein nachgestelltes Pufferlager gehört. Dies eröffnet zumindest grundsätzlich die Möglichkeit, kurzzeitige Belastungsschwankungen durch den Auf- oder Abbau eines Bestandes auszugleichen. In der Realität sind dem jedoch häufig enge Grenzen gesetzt,

die insbesondere an die Tatsache geknüpft sind, dass nur bei solchen Produkten ein Bestandsaufbau in Betracht gezogen werden darf, für die in überschaubarer Zukunft auch mit einem Bedarf zu rechnen ist. Zudem sind die Kosten der Bestandsführung in Analogie zu den Aufwendungen für die Kapazitätsveränderung in die Bewertung einer Anpassungsstrategie einzubeziehen. Da das Vorgehen bei der Anpassungsplanung bereits in den oben stehenden Abschnitten grob erläutert wurde, soll im folgenden nur noch auf die in Abbildung 4.5 angeführten Entscheidungsschritte sowie auf die Ermittlung der Bewertungsgrösse *Kosten* eingegangen werden.

Anpassungsbedarf und Konfiguration von Anpassungsstrategien

Durch eine Gegenüberstellung von periodenbezogenen Kapazitätsbedarfen (Belastungsprofil) für ein betrachtetes Arbeitssystem und der im gleichen Zeitraum bereitstehenden maximal möglichen Leistung können Zeitabschnitte erkannt werden, bei denen die verfügbare Produktionskapazität nennenswert über- oder unterschritten wird. Die Durchführung des Vergleiches von Kapazitätsbedarf und -angebot selbst kann zweckmässig durch Tabellen oder graphische Darstellungen unterstützt werden. Als formales Beurteilungskriterium für die Entscheidung, ob eine Kapazitätsanpassung in bestimmten Planungsperioden notwendig ist oder nicht, kann ein zuvor festgelegter Zielwert für die Auslastung, sinnvollerweise ergänzt durch einen tolerierbaren Abweichungskorridor, herangezogen werden. Unbedingt zu beachten ist hierbei die Tatsache, dass nicht in jedem Fall von einer in allen Perioden konstanten Basiskapazität ausgegangen werden darf. Personalausfälle durch Urlaub und Krankheit oder auch geplante Anlagenstillstände für Wartungs- bzw. Prüfmassnahmen können zu Abschlägen von der üblicherweise verfügbaren Ausstossleistung führen. Plausibel ist jedoch, dass eine Kapazitätsanpassung und so auch deren Planung erst dann notwendig wird, wenn tatsächlich Abweichungen zwischen Belastung und bereitstehender Kapazität festzustellen sind.

Werden nun im Anschluss einzelne Massnahmen zur Kapazitätsanpassung ausgewählt und mit Start- und Endterminen eingeplant, muss zunächst geprüft werden, ob die Zeitspanne zwischen dem aktuellen Zeitpunkt und dem gewählten Starttermin mindestens die gleiche Länge wie die Aktivierungszeit (t_{akt}) besitzt. Ähnliches gilt für die geplante Nutzungsdauer, also die Zeitdauer zwischen Start- und Endtermin der geplanten Nutzung einer Massnahme. Diese darf, den Ausführungen in Kapitel 3.1.2 entsprechend, nicht kürzer als die minimale ($T_{ND,\min}$) und nicht länger als die maximale Nutzbarkeitsdauer ($T_{ND,\max}$) der betroffenen Anpassungsmöglichkeit sein. Auf die eventuelle Interaktion mit anderen Massnahmen ist zu achten. Werden die spezifischen zeitlichen Randbedingungen verletzt, muss entweder die Terminierung der betroffenen Massnahmen geändert oder ein anderer Weg zur Kapazitätsanpassung gewählt werden.

Damit vergleichbar ist die Frage nach der Plausibilität der Anpassungskonfiguration. Gemeint ist damit die zeitgleiche Einplanung verschiedener, die Kapazität erhöhender oder reduzierender Massnahmen. So ist es formal und möglicherweise auch aus dem Blickwinkel der Kostenbewertung durchaus denkbar, die optimale Einstellung der Produktionskapazität durch die Anordnung von Zusatzschichten sowie durch eine gleichzeitige Reduzierung der Stammbelegschaft zu realisieren. Gleichwohl ist eine solche Massnahmenkombination in der Praxis unter Umständen nicht gewünscht, da sie beispielsweise gegen betriebliche Vereinbarungen oder ähnliches verstösst. Daraus folgt, dass zu Beginn einer Anpassungsplanung derartige Kombi-

nationsregeln zu definieren sind, deren Einhaltung bei der Konfiguration einer Anpassungsstrategie geprüft werden muss.

Bewertung und Auswahl von Anpassungslösungen

Eine Bewertung von Anpassungslösungen für die Produktionskapazität unterliegt in der Regel fallspezifischen Planungsprämissen. Dies kann zum Beispiel bedeuten, dass es im Kontext einer vertraglich festgelegten Kunden-Lieferanten-Beziehung zunächst darum geht, die Bedarfe eines Kunden in Form von Bestellabrufen unbedingt zu erfüllen. Die dabei anfallenden Kosten werden dann lediglich als Optimierungsgrösse betrachtet. Andere Grundkonzepte, bei denen es beispielsweise um eine bestmögliche Verzinsung des investierten Kapitals geht, sehen die Rangfolge der beiden genannten Kriterien möglicherweise umgekehrt. Eine definitive Festlegung, wie eine Beurteilung von Anpassungsstrategien erfolgen soll, ist demnach an einen konkreten Anwendungsfall geknüpft. Es ist jedoch davon auszugehen, dass neben den unmittelbaren Bewertungsgrössen *Auslastung* und *Liefertreue* vor allem die insgesamt in einem Planungszeitraum relevanten *Flexibilitätskosten* eine wesentliche Rolle spielen.

Unter dem Begriff der Flexibilitätskosten sollen hier diejenigen monetären Aufwände zusammengefasst werden, die einerseits durch die Modifikation der Produktionskapazität (Anpassungskosten, vgl. Kapitel 4.3.1) entstehen sowie andererseits aus einer ineffizienten oder unvollständigen Anpassung resultieren. Beispiele für die zuletzt genannte Kostenkategorie sind Penalen, die an einen Kunden für verspätete Lieferungen gezahlt werden müssen oder Opportunitätskosten[1] für entgangene Gewinne aufgrund nicht verfügbarer Produktionskapazitäten. Auch der zumindest theoretisch denkbare Sachverhalt, dass installierte Kapazitäten über einen mehr oder weniger langen Zeitraum nicht genutzt werden, kann in Kostenbeträgen ausgedrückt werden und ist bei der Ermittlung der Flexibilitätskosten im Sinne einer mangelhaften Anpassung zu berücksichtigen. Eine weitergehende Betrachtung führt hier zur Notwendigkeit einer Fallunterscheidung. Diese ist an die Frage geknüpft, ob eine zu geringe Ausstossmenge zu einem bestimmten Zeitpunkt und der daraus resultierende Lieferausfall unmittelbar dazu führt, dass ein nicht fristgemäss gedeckter Bedarf erlischt oder ob die Möglichkeit besteht, eine Lieferung verspätet, gegebenenfalls unter Entrichtung einer Strafgebühr (Penale), auszuführen.

Im ersten Fall sind demzufolge die oben erwähnten Opportunitätskosten in einem realistischen Umfang in die Bestimmung der Flexibilitätskosten einzubeziehen. Ein typisches Beispiel für solche Kunden-Lieferanten-Beziehungen sind sogenannte Projektgeschäfte, bei denen ein

---

[1] Unter Opportunitätskosten wird üblicherweise ein möglicher Gewinn verstanden, der voraussichtlich erzielt worden wäre, wenn man das eingesetzte Kapital zu einem anderen Zweck als dem tatsächlich gewählten verwendet hätte (vgl. dazu APICS Dictionary, 2005, S. 77). Die Übertragung auf den vorliegenden Sachverhalt setzt voraus, dass es grundsätzlich möglich ist, so viel Produktionskapazität bereitzustellen, dass jeder Kapazitätsbedarf gedeckt werden kann. Erst dann darf der Tatbestand, dass eine bestimmte Bedarfsmenge aufgrund fehlender Kapazität nicht geliefert werden kann, als Planungsentscheidung und der dadurch entgangene Gewinn als Opportunitätskosten interpretiert werden. Streng genommen ist dabei zu beachten, dass die Kosten, welche durch die schliesslich nicht erfolgte Anpassung verursacht worden wären, den Wert des entgangenen Gewinns beeinflussen. In der Regel kann aber bereits mit einem Durchschnittswert für den Gewinn (beispielsweise pro Mengeneinheit) eine grobe Abschätzung der Opportunitätskosten vorgenommen werden.

Abnehmer einen Lieferauftrag oftmals erst kurz vor dem tatsächlichen Bedarfstermin an einen von mehreren Anbietern vergibt. Die Fähigkeit fristgerecht produzieren und liefern zu können, ist dabei verständlicherweise eine Voraussetzung, um aus Sicht des Kunden überhaupt als Lieferant in Frage zu kommen. Die unter diesen Bedingungen relevanten Kostenarten zur Berechnung der insgesamt anfallenden Flexibilitätskosten sind daher

- Anpassungskosten für alle im Planungszeitraum verwendeten Massnahmen zur Kapazitätsveränderung,
- Bestandeshaltungskosten für die Führung des Pufferlagers, das der Bearbeitung nachgestellt ist sowie für die Verzinsung des dort gebundenen Kapitals,
- Opportunitätskosten für nicht gedeckte Bedarfsmengen und schliesslich
- Kosten für zeitweise oder dauerhaft ungenutzte Kapazitäten.

Die gesamten, für die Beurteilung einer Anpassungsstrategie wesentlichen Flexibilitätskosten ergeben sich aus der Aufsummierung der genannten Kostenarten über alle Perioden des untersuchten Planungszeitraums.

Während auf die Bestimmung von Anpassungs- sowie Opportunitätskosten bereits eingegangen wurde und die Berechnung der Bestandeshaltungskosten entsprechend der allgemein üblichen Vorgehensweise als Prozentsatz des Lagerwertes erfolgt[1], ist die sinnvolle Ermittlung der Kosten für die Unterauslastung der installierten Produktionskapazität unter Umständen weniger eindeutig. Grund dafür ist erneut die Frage nach den tatsächlich relevanten Kosten, die als unmittelbare Folge der zu treffenden Anpassungsentscheidung anzusehen sind. So ist es beispielsweise nicht plausibel, dass Kosten für die Unterauslastung von Maschinen und Anlagen ermittelt und in die Berechnung der Flexibilitätskosten einer künftigen Planungsperiode integriert werden, wenn der Entscheidungszeitpunkt für die Investition bereits in der Vergangenheit liegt. Hieraus folgt, dass im Anwendungsfall streng genommen nur solche Unterauslastungskosten als relevant angesehen werden dürfen, die von Bestandteilen der installierten Produktionskapazität verursacht werden, welche im Planungszeitraum realistischerweise veränderbar sind. In der kurz- und mittelfristigen Planung gilt dies oftmals nur für die Bereitstellung der Personalkapazität. Die inzwischen weit verbreitete Verfügbarkeit flexibler Arbeitszeitmodelle mit Arbeitszeitkonten (vgl. Kapitel 2.3.3) führt jedoch dazu, dass eine länger andauernde Unterauslastung des bereitstehenden Personals praktisch ausgeschlossen werden kann. Selbst bei kurzfristig auftretenden, ungeplanten Maschinenausfällen wird in der Regel von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, eine laufende Schicht für die betroffenen Mitarbeiter sofort zu verkürzen. Die zu wenig gearbeiteten Stunden werden dabei mit dem bestehenden Arbeitszeitkonto verrechnet. Alternativ können temporäre Kapazitätsreserven gegebenenfalls dazu genutzt werden, Pufferbestände aufzubauen, um so künftig erwartete Mehrbedarfe einfach ausgleichen zu können. Es darf also durchaus in Frage gestellt werden,

---

[1] Gemäss SCHÖNSLEBEN (Logistikmanagement, 2004, S. 548 f.) sind Bestandeshaltungskosten monetäre Aufwendungen, die durch das Bevorraten von Lagerbeständen verursacht werden. Sie setzen sich aus der Verzinsung des im Lager gebundenen Kapitals, den Kosten für die Infrastruktur und die Bewirtschaftung des Lagers sowie einem Zuschlag für das Entwertungsrisiko des gelagerten Materials zusammen. Insgesamt kann der Kostensatz für die Bestandeshaltung durchaus in einem Bereich von 20 Prozent des Lagerwertes pro Jahr und darüber liegen.

ob die Kosten der Unterauslastung im hier diskutierten Zusammenhang überhaupt von praxisrelevanter Bedeutung sind.

Lässt man diese Überlegungen jedoch ausser Acht, kann ein unter anderem von COENENBERG beschriebener Ansatz zur Berechnung von Fixkostenabweichungen bei unterschiedlichen Auslastungen (Beschäftigungsabweichung) verwendet werden, um die Kosten einer Unterauslastung zu errechnen. Hintergrund ist dabei die Proportionalisierung der fixen Kosten bezüglich einer geplanten Produktionsmenge, die in einem bestimmten Zeitraum durch eine festgelegte Auslastung der verfügbaren Produktionskapazität erzielt werden soll. Wird der geplante Produktionsausstoss unterschritten (Unterauslastung), muss den hergestellten Produkten formal ein höherer als der ursprünglich geplante Fixkosten-Anteil zugewiesen werden.[1] Eine daran anknüpfende Bestimmungsgleichung zur Berechnung der Kosten für die Unterauslastung wird durch Gleichung 4-5 wiedergegeben. Alternativ können dabei auch anstelle der fixen Kosten die als relevant erachteten Kosten für die installierte Produktionskapazität eingesetzt werden.

$$\begin{aligned} KOU(t) &= \bar{N}_{ges,Plan}(t) \cdot ko_{KAP,Plan}(t) - \bar{N}_{ges,Bedarf}(t) \cdot ko_{KAP,Plan}(t) \\ &= \left(\bar{N}_{ges,Plan}(t) - \bar{N}_{ges,Bedarf}(t)\right) \cdot ko_{KAP,Plan}(t) \end{aligned} \qquad \textbf{(Gl. 4-5)}$$

mit

$KOU(t)$	Kosten der Unterauslastung in einer Periode t im Planungszeitraum[GE / Periode],
$\bar{N}_{ges,Plan}(t)$	Geplante Produktionsmenge (normiert, alle Varianten bzw. Produkte) in der Periode t, die durch die installierte Kapazität mit der geplanten Auslastung erzielt wird [ME / Periode],
$\bar{N}_{ges,Bedarf}(t)$	Tatsächlicher Kapazitätsbedarf (normierte Menge, alle Varianten bzw. Produkte) in Periode t [ME / Periode],
$ko_{KAP,Plan}(t)$	Kostenanteil für die installierte Kapazität pro Mengeneinheit bei Erreichen der geplanten Auslastung [GE / ME].

Im zweiten Fall der oben vorgenommenen Unterscheidung wird davon ausgegangen, dass eine Lieferverspätung nicht unmittelbar zu einem Verlust des Kundenauftrages und damit zu Opportunitätskosten führt. Auch die Gefahr, dass regelmässige Verspätungen bei der Auftragsbearbeitung unter Umständen eine nachhaltige Unzufriedenheit bei den Kunden bewirkt und diese sich deshalb langfristig für andere Anbieter entscheiden könnten, soll hier unberücksichtigt bleiben. Die für die Bewertung von möglichen Anpassungsstrategien relevanten Kostenarten unterscheiden sich damit lediglich dadurch, dass anstelle von Opportunitätskosten gegebenenfalls Gebühren für Lieferverspätungen (Penalen) eingerechnet werden müssen. Derartige Zahlungen, deren Höhe sich beispielsweise aus der Anzahl der zu spät gelieferten Mengeneinheiten und der Dauer der Verspätung ableiten können, sind unter Umständen Bestandteil vertraglicher Vereinbarungen. Allerdings wird in der Praxis heute,

[1] Siehe dazu Coenenberg A.G., Kostenrechnung, 2003, S. 409 ff.

vermutlich bedingt durch eine immer engere Zusammenarbeit von Kunden und Lieferanten, zumeist auf die Vereinbarung von Penalen für verspätete Lieferungen verzichtet. Die in einem Planungszeitraum insgesamt erzielte *Liefertreue* bzw. der *Liefertreuegrad* [1]wird dann zum einzigen Massstab zur Beurteilung der Fähigkeit, den Kundenbedarf fristgerecht und vollständig zu decken. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein bestimmtes, von einem Kunden gewünschtes Produkt in jedem Fall geliefert werden kann, wenn die entsprechende Kapazität am betrachteten Produktionssystem zur Verfügung steht.

Resultat der Bewertung ist schliesslich die Kenntnis der Flexibilitätskosten im Planungszeitraum, der Wert des durchschnittlichen Liefertreuegrades sowie der Verlauf der Auslastung über alle in die Planung einbezogenen Perioden. Dies liefert die Grundlage um zunächst zu entscheiden, ob die zuletzt gefundene Anpassungskonfiguration tatsächlich einer Verbesserung gegenüber dem vorherigen Zustand entspricht oder nicht. Ist dies nicht der Fall, ist die Lösung zu verwerfen oder zu überarbeiten. Im Extremfall ist mit den zur Verfügung stehenden Mitteln keine sinnvolle Anpassung an die erwarteten Bedarfsveränderungen zu erreichen. Dies kann unter Umständen dann der Fall sein, wenn neue, bis dahin nicht erwartete Arten der Bedarfsunsicherheit zusätzlich berücksichtigt werden müssen. Dies bedeutet in der Regel, dass zunächst geeignete Anpassungsmassnahmen identifiziert und verfügbar gemacht werden müssen, beispielsweise durch die Vereinbarung neuer oder modifizierter Arbeitszeitmodelle. Erst danach kann eine Einplanung entsprechend der in Abbildung 4.5 vorgeschlagenen Vorgehensweise stattfinden. Darüber hinaus können die Bewertungsergebnisse verwendet werden, um beurteilen zu können, ob eine Anpassungslösung ausreichend ist, gemessen an den selbst gesteckten Zielen, oder weiter verbessert werden muss. Gleichzeit steht ein objektiver Vergleichsmassstab für verschiedene Anpassungsstrategien zur Verfügung, der letztlich eine zielgerichtete Auswahl und zeitlich Ordnung der Kapazitätsveränderung ermöglicht. Die Festlegung einer fallspezifischen Priorisierung zwischen Kosten, Liefertreue und Auslastung ist dabei Voraussetzung für die Nachvollziehbarkeit der Auswahlentscheidung.

Im nächsten Kapitel soll nun anhand von zwei Fallstudien gezeigt werden, wie eine Anwendung der in den Kapiteln 3 und 4 vorgeschlagenen Lösung zur Planung der Kapazitätsanpassung aussehen kann und welche konkreten Aussagen und Resultate sich damit erzielen lassen.

---

[1] Die Leistungskenngrösse Liefertreue bzw. Liefertreuegrad setzt die Anzahl der termingerecht und in geforderter Qualität gelieferten Mengeneinheiten eines Produktes ins Verhältnis zur Anzahl der gegenüber dem oder den Kunden bestätigten Mengeneinheiten in einem Bezugszeitraum. Der Liefertreuegrad ist nicht zu verwechseln mit der statistischen Kenngrösse Servicegrad (vgl. Schönsleben P., Logistikmanagement, 2004, S. 57 und S. 535.). Im vorliegenden Fall kann die Berechnung des Liefertreuegrades als erwarteter Durchschnittswert über alle Produkte mit Hilfe normierter Mengeneinheiten erfolgen.

5 Fallbeispiele

Das prinzipiell denkbare Einsatzspektrum des in den vorangegangenen Kapiteln vorgeschlagenen Gesamtkonzepts zur Analyse und Planung von Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung erscheint relativ breit. Es reicht von der einfachen Erfassung und Darstellung der effektiv verfügbaren Möglichkeiten für einzelne oder mehrere verkette Arbeitssysteme zur Kapazitätsveränderung, über den Vergleich ausgewählter Anpassungsstrategien für regelmässig wiederkehrende Schwankungsmuster des Bedarfes, bis hin zur laufenden Nutzung als Teilprozess in der Produktionsplanung und -steuerung. Es ist offensichtlich, dass diese mögliche Verwendungsvielfalt im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht vollständig durch einzelne Anwendungsbeispiele abgedeckt werden kann. Durch die Auswahl von zwei verschiedenartigen Fallstudien soll dennoch versucht werden, die Bandbreite des möglichen Einsatzes aufzuzeigen.

5.1 Fallstudie 1: Mittelfristige Kapazitätsanpassungsplanung in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG

Kurze Lieferzeiten, ausgeprägte Nachfrageschwankungen sowie eine beträchtliche Variantenvielfalt bestimmen das Umfeld in der Fertigung von Metalldübeln bei der HILTI AG.[1] Darüber hinaus sieht sich das Unternehmen in diesem zu den Verbrauchsmaterialien gehörenden Produktbereich einer anhaltenden Wettbewerbsverschärfung ausgesetzt, die vor allem von Anbietern aus Billiglohnländern hervorgerufen wird. Neben der Notwendigkeit einer möglichst exakten und vorausschauenden Planung von Wertschöpfung und Distribution erfordert dies effiziente Herstellungsprozesse mit kurzen, zuverlässigen Durchlaufzeiten. Letzteres schliesst entsprechend der in Kapitel 2.3 beschriebenen Zusammenhänge ausdrücklich die Anforderung ein, dass Produktionskapazitäten in angemessenen Umfängen und Fristen an Bedarfsveränderungen angepasst werden müssen.

5.1.1 Ausgangslage bei der Herstellung von Metalldübeln für die Bauindustrie

In der Bauindustrie werden Metalldübeln in verschiedenen Ausführungen, Materialien und Grössen als Befestigungsmittel im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. Sie bestehen typischerweise aus vier Einzelteilen – einem Bolzen mit Gewinde, einer Spreizhülse für die Verankerung im Mauerwerk sowie aus einer Mutter mit Unterlegscheibe. Bei der Herstellung wird zunächst der Bolzenkörper zugeschnitten und in einem technisch anspruchsvollen Arbeitsgang kalt umgeformt. Als Ausgangsmaterial werden Drähte aus verschiedenen Stahlwerkstoffen im Durchmesserbereich von 6 bis 20 Millimetern verarbeitet, die als Rollenmaterial zugeliefert

---

[1] Die HILTI AG ist ein international führendes Unternehmen im Bereich der Befestigungs- und Abbautechnik. Die Produktpalette umfasst Werkzeuge, Ausrüstungen und Verbrauchsmaterial, welche im professionellen Baugewerbe zum Messen, Positionieren, Meisseln, Bohren, Befestigen usw. benötigt werden. Das Unternehmen beschäftigte im Jahr 2005 weltweit etwa 15'000 Mitarbeiter. Die in der Fallstudie betrachtete Metalldübelfertigung befindet sich in Schaan (Liechtenstein).

werden. Im Anschluss daran folgt eine Oberflächenbehandlung, die jedoch nicht bei HILTI, sondern bei externen Dienstleistungsunternehmen durchgeführt wird. Im nächsten Produktionsschritt, den HILTI wieder selbst durchführt, findet die Montage der Metalldübel statt. Dazu werden die Spreizhülsen, die zuvor aus Metallbändern gestanzt wurden, auf den Bolzen befestigt sowie die Unterlegscheibe und die Mutter angebracht. Den Abschluss bildet das Verpacken in Kartons oder als Skinpackung (Produkt wird mit einer Folie auf einer Kartonunterlage fixiert). In Abbildung 5.1 wird der Herstellungsprozess noch einmal zusammenfassend dargestellt. Die Durchlaufzeit vom Eingang Rohmaterial bis zur Fertigstellung der verpackten Produkte beträgt etwa 4 bis 6 Wochen.

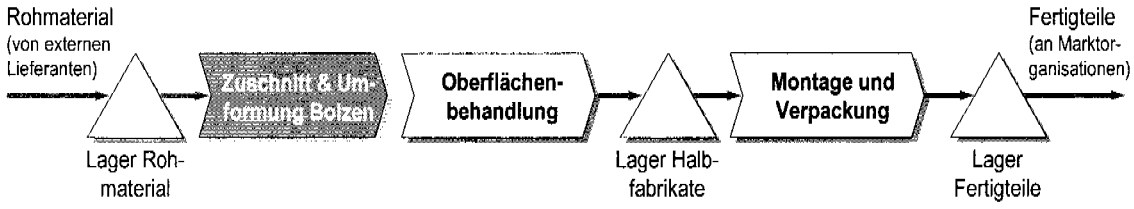


Abb. 5.1: Herstellungsprozess in der Metalldübelfertigung

Aufgrund des technischen Schwierigkeitsgrades, aber vor allem auch im Hinblick auf die zur Verfügung stehende Kapazität ist der erste Arbeitsgang, das Umformen, als kritischer Prozess-Schritt anzusehen. Für das Produktsegment der Metalldübel mit einem Durchmesser zwischen 12 und 20 Millimetern stehen mehrere parallel genutzte Umformmaschinen zur Verfügung. Diese unterscheiden sich allerdings in ihren Leistungsdaten (Durchmesser, Hublänge bei der Umformung und maximal möglicher Ausstoss pro Zeiteinheit). Trotz eines bereits existierenden 3-Schicht-Betriebes arbeitet der Produktionsbereich regelmässig an der Leistungsgrenze. Als Konsequenz lag die zum Zeitpunkt der Betrachtung erreichte Liefertreue gegenüber den HILTI-Marktorganisationen, die hier als Kunde angesehen werden können, deutlich unter den selbst gesteckten Zielen.

In Absprache mit dem Betrieb wurde deshalb festgelegt, die Untersuchungen im Rahmen der Fallstudie ausschliesslich auf diesen Fertigungsabschnitt zu konzentrieren. Das dazu vereinbarte Vorgehen entspricht weitgehend dem in Kapitel 4.1.2 beschriebenen Ablauf. Entsprechend wurden zuerst im Rahmen von Gesprächen mit dem Produktionsleiter und erfahrenen Mitarbeitern der Betriebs- und Konzernlogistik die wichtigsten, für die Metalldübelfertigung relevanten Arten der Bedarfsschwankung identifiziert. Die Resultate werden im nächsten Unterkapitel kurz vorgestellt. Daran anknüpfend wurde von HILTI der Auftrag erteilt, anhand eines konkreten Bedarfsszenarios zu demonstrieren, wie das in der vorliegenden Arbeit entworfene Konzept zur Planung der Kapazitätsanpassung im Fall des Arbeitsganges Umformen in der Metalldübelfertigung angewandt werden kann. Als *Planungszeitraum* wurde eine Dauer von sechs Monaten, als Länge der *Planungsperiode* eine Woche festgelegt.

5.1.2 Analyse von Bedarfsunsicherheiten und Abschätzung eines Bedarfsszenarios

Grundgedanke des heute bei HILTI nicht nur in der Metalldübelfertigung bestehenden Logistikkonzepts ist die kurzfristige und zuverlässige Versorgung der zum Unternehmen gehörenden Marktorganisationen. Diese verfügen häufig nur über sehr begrenzte Bestandsreichweiten, so dass die fristgerechte Erfüllung von Lieferabrufen der Marktorganisationen

durch die Produktionsbetriebe entscheidend ist, um die Nachfrage auf der Ebene der Endkunden zu decken. Aufgrund der sehr kurzen Lieferfristen, die im Bereich weniger Betriebskalendertage liegen, müssen in der Metalldübelfertigung alle Abschnitte der Wertschöpfungskette auf der Grundlage von Bedarfsvorhersagen beplant werden. Quelle für die Vorhersageinformationen sind wiederum die weltweit verteilten Marktorganisationen, deren Planungsdaten an zentraler Stelle gesammelt und in Produktionsaufträge umgesetzt werden. Allerdings verändern sich die Werte der Absatzprognosen zum Teil drastisch, je näher der tatsächliche Bedarfstermin rückt. Darüber hinaus sind die Marktorganisationen bei der Abgabe ihrer Lieferabrufe nicht an die zu früheren Zeitpunkten spezifizierten Bedarfsvorhersagen gebunden. Daraus erwachsen mindestens zwei, im vorliegenden Zusammenhang bedeutsame Konsequenzen. Zum einen führen die Fluktuation der Bedarfsvorhersage sowie die Abweichung der Prognosedaten von den tatsächlichen Bestellungen oftmals zu relativ kurzfristigen Änderungen im Auftragsbestand und in der Auftragsreihenfolge. Dies sorgt für ein erhebliches Mass an Unruhe im Produktionsbereich und verursacht häufig auch verspätete Lieferungen bzw. Rückstände. Des weiteren kann der oben beschriebene Sachverhalt bewirken, dass sich die planungsverantwortlichen Mitarbeiter bevorzugt um die Lösung der Probleme aufgrund kurzfristig auftauchender Vorhersage- und Bestellschwankungen bemühen. Längerfristig relevante Schwankungsphänomene des Bedarfes werden so unter Umständen zu spät erkannt, so dass die Nutzung des eigentlich optimalen Weges zur Kapazitätsanpassung möglicherweise nicht mehr machbar ist. Dies alles spricht dafür, zunächst die grundsätzlich für die Metalldübelfertigung zutreffenden Bedarfsunsicherheiten zu erkennen und zu beschreiben.

Analyse der relevanten Bedarfsunsicherheiten

Im Rahmen der bereits erwähnten Interviews im Betrieb konnten die nachfolgend aufgezählten Arten der Bedarfsschwankung unterschieden werden. Zur Charakterisierung werden die in Kapitel 4.2.1 erarbeiteten Merkmale verwendet. Der dabei zugrunde gelegte Betrachtungszeitraum beträgt *12 Monate*, die Länge der Planungsperiode ist *eine Woche*. Als Kunden gelten die HILTI-Marktorganisationen.

- Veränderungen der Bedarfsmenge oder des Produkt-Mix aufgrund des *Bestellverhaltens der Marktorganisationen*. Die Eintrittsfristen entsprechen den vereinbarten Lieferzeiten, die, wie oben schon erwähnt, kürzer sind als eine Planungsperiode. Die Dauer dieser Schwankungen ist ebenfalls kurz, da sie zumeist nur durch einzelne Bestellabrufe verursacht werden. Bestellschwankungen sind in jedem Fall als sprunghafte Veränderungen anzusehen und treten bei HILTI häufig, aber dennoch unregelmässig auf. Die Wirkungsrichtung auf den Kapazitätsbedarf kann sowohl expansiv als auch kontraktiv sein. Die Schwankungen können zu Veränderungen beim Kapazitätsbedarf von bis zu 50 Prozent um den langfristigen Mittelwert betragen.

- Veränderung der Bedarfsmenge infolge umfangreicher Aufträge aus dem *Projektgeschäft*. Ursache ist auch hier das Bestellverhalten der Kunden. Allerdings ist dafür in diesem Fall die Vergabepraxis für Grossprojekte durch die Endkunden, zum Beispiel grosse Bauunternehmen, verantwortlich. Die typischerweise mehrere Tagesproduktionen umfassenden Projekt-Bestellungen werden vielfach erst wenige Wochen vor dem eigentlichen Liefertermin freigegeben, so dass diese Schwankungsart eindeutig als kurzfristig eintretend gekennzeichnet werden muss. Diese Situation wird sogar

noch verschärft, wenn die bei den Marktorganisationen vorliegenden Informationen zu anstehenden Kundenprojekten nicht rechtzeitig an den Produktionsbetrieb weitergegeben werden. Die Dauer der Schwankung ist kurz und entspricht einem sprunghaften Anstieg des Kapazitätsbedarfs (expansiv), da es sich um einmalige Bestellungen handelt. Im Verlauf eines Geschäftsjahres sind in der Regel zahlreiche Projekt-Aufträge abzuwickeln, die jedoch unregelmässig anfallen.

- Schwankung der Bedarfsmenge über alle Produkte aufgrund *saisonaler Nachfragezyklen*. Die Saisonalität der Bautätigkeit wirkt sich erwartungsgemäss auch auf den Geschäftsverlauf der Zulieferer aus. So ist in der Metalldübelproduktion typischerweise in den Monaten März und April ein Anwachsen des Bedarfes zu beobachten, was sich in den Sommermonaten Juli und August wieder umkehrt. Zum Herbstbeginn steigt der Verbrauch auf der Endkundenebene erneut und geht erst in den Wintermonaten wieder zurück. Da dieses Schwankungsmuster regelmässig wiederkehrt, kann die Eintrittsfrist durchaus als mittel- bis langfristig klassifiziert werden. Mit einigen Monaten liegt die Dauer der saisonalen Bedarfsanstiege bzw. Rückgänge in einem mittleren Bereich. Die Bedarfsveränderung erfolgt eher stetig und besitzt eine regelmässige Wiederholfrequenz mit wechselnder Wirkungsrichtung. Mit einer Zu- bzw. Abnahme von etwa 10 bis 20 Prozent um einen langfristigen Bedarfsmittelwert ist das Ausmass der Schwankung jedoch geringer als man dies angesichts der witterungsbedingten Zyklizität der europäischen Bauwirtschaft erwarten könnte. Da der Produktionsbetrieb in Schaan aber nicht nur europäische, sondern weltweit alle HILTI-Marktorganisationen beliefert, führt dies zu einem gewissen Bedarfsausgleich.

- Veränderung der Bedarfsmenge über alle Produkte infolge *konjunktureller Zyklen*. Die bisher genannten Bedarfsunsicherheiten werden im gewählten Betrachtungszeitraum von einem zum Zeitpunkt der Analyse prognostizierten Anstieg des Bedarfsniveaus insgesamt in einer Grössenordnung von 5 bis 10 Prozent gegenüber dem langfristigen Mittelwert in der Vergangenheit überlagert. Diese im Planungszeitraum einmalig mit einer expansiven Wirkungsrichtung auftretende Veränderung ist erwartungsgemäss durch eine langfristige Schwankungsdauer sowie durch eine stetige Eintrittsart gekennzeichnet.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Überlagerung der oben genannten Einzelphänomene zu einem zweifellos schwierig zu beherrschenden Bedarfsverlauf führt. Bereits ohne Kenntnis der Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung ist klar, dass die in der oben stehenden Aufzählung zuerst genannten kurzfristigen Fluktuationen bei Bedarfsmenge und Produkt-Mix *nicht* mit Hilfe veränderbarer Produktionskapazitäten abgefangen werden können. Schon die Auftragsdurchlaufzeit im Herstellungsschritt Montage und Verpackung, die bei etwa einer Woche (5 Betriebskalendertage) liegt, ist länger als die Eintrittsfrist der Schwankung. Stattdessen sind hier geeignet dimensionierte Pufferbestände vorzusehen, was derzeit vom Betrieb auch so gehandhabt wird. Bereits für das Projektgeschäft ist dies jedoch nicht mehr möglich, da die Bedarfsmengen einerseits sehr gross sind und ausserdem erst zum Zeitpunkt der endgültigen Vergabe des Endkundeauftrages feststeht, welcher Artikel tatsächlich benötigt wird.

Schliesslich soll hier noch ergänzt werden, dass die *Einführung neuer Produkte* bewusst nicht in die Auflistung der relevanten Bedarfsunsicherheiten einbezogen wurde. Tatsächlich kommt

es jedoch gelegentlich vor, dass neue oder kundenspezifische Ausführungen von Metalldübeln in das Produktsortiment aufgenommen werden. Allerdings hat dies in der Regel nur geringe Auswirkungen auf den Kapazitätsbedarf, da Produktionsablauf und -technologie bei den meisten Artikeln sehr ähnlich sind. Abgesehen von einigen Testläufen vor dem ersten Produktionsauftrag werden die Produktionsressourcen nur dann zusätzlich belastet, wenn ein neues Produkt zu einem Anstieg der Bedarfsmenge insgesamt führt.

Bestimmung eines Szenarios für den Kapazitätsbedarf

Für die genaue Bestimmung des Kapazitätsbedarfes für den Arbeitsgang Umformung sind zunächst einige weitere Detailinformationen zum betreffenden Produktionssystem erforderlich. Die für die Bearbeitung der Metalldübel-Bolzen mit Durchmessern von 12 bis 20 Millimetern installierten Maschinen sind wie schon erwähnt nicht identisch. Dies bedeutet gleichzeitig, dass die anfallenden Produktionsaufträge nicht beliebig auf die Anlagen verteilt werden können, sondern eine feste Zuordnung entsprechend der Bolzendurchmesser und -längen zu beachten ist. Die Folge dieser Zuordnung ist eine kaum vermeidbare Ungleichverteilung der kapazitiven Belastung der einzelnen Arbeitssysteme. Diese kann jedoch aufgrund einer bestehenden Überlappung der jeweiligen Einsatzbereiche zumindest teilweise ausgeglichen werden. Voraussetzung für die Verschiebung eines Fertigungsauftrages ist allerdings, dass die Ausweichmaschinen bei Durchmesser und Hublänge den erforderlichen Werten entsprechen sowie ausserdem ein geeignetes Umformwerkzeug vorhanden ist. Tatsächlich lag jedoch zum Zeitpunkt der Betrachtung eine Situation vor, bei der eine der Umformanlagen, die im weiteren *Maschine 1* genannt wird, erheblich stärker belastet war als die übrigen. Eine grundsätzliche Änderung dieser Verhältnisse schien nicht absehbar. Aus diesem Grund und um die Komplexität des Fallbeispiels für die vorliegende Arbeit nicht unnötig zu erhöhen, wird bei der exemplarischen Durchführung der Anpassungsplanung im unten folgenden Unterkapitel 5.1.3 ausschliesslich Maschine 1 behandelt.

Dieser weitergehenden Fokussierung entsprechend, gilt das in Abbildung 5.2 dargestellte Bedarfsszenario ebenfalls nur für die genannte Engpassmaschine. Grundlage hierfür bildeten bei HILTI im März 2005 für die kommenden 6 Monate vorliegende Vorhersagedaten auf Artikel-Ebene. Diese wurden mit Hilfe der aktuell gültigen Losgrössen in Nettobedarfe pro Planungsperiode umgerechnet. Mit Hilfe durchschnittlicher Werte für Rüstzeiten sowie exakter Werte für die Bearbeitungszeiten eines Loses pro Artikel (insgesamt 99 Produkte) konnte der Kapazitätsbedarf pro Planungsperiode relativ genau berechnet und in Zeiteinheiten (Stunden) ausgedrückt werden.

Erwähnenswert ist weiterhin, dass zum Zeitpunkt der Betrachtung bereits ein erheblicher Auftragsbestand vorlag, der auch als Rückstand interpretiert werden kann. Dieser ist natürlich der Belastung in der ersten Periode des Planungszeitraums als sofort fällige Bedarfsmenge hinzuzurechnen. Dies begründet auch den vergleichsweise hohen Wert für den insgesamt prognostizierten Kapazitätsbedarf in Kalenderwoche 9, der in Abbildung 5.2 ausgewiesen wird.

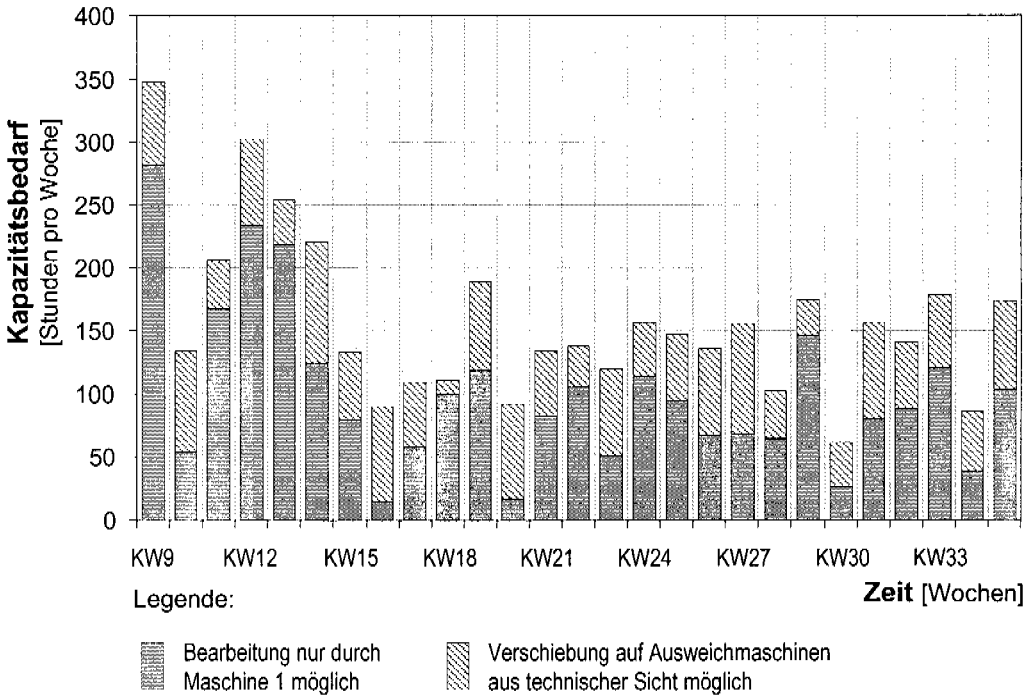


Abb. 5.2: Szenario des Kapazitätsbedarfes für die am meisten belastete *Maschine 1* im Arbeitsgang „Umformung" bei der Metalldübelherstellung (Durchmesserbereich 12 bis 20 Millimeter)

Mit Blick auf das oben spezifizierte Szenario des Kapazitätsbedarfes muss jedoch einschränkend angemerkt werden, dass sich dieses im Verlauf des Planungszeitraumes noch erheblich verändern kann. Plausibel wird das vor allem dadurch, dass bei der im vorangegangenen Abschnitt durchgeführten Analyse der Bedarfsunsicherheiten ja gerade darauf hingewiesen wurde, dass die Eintrittsfristen von *Bestellschwankungen* und *Projektaufträgen* in der Grössenordnung einer bzw. einiger weniger Planungsperioden liegen. Diese kurzfristig möglichen Veränderungen des Kapazitätsbedarfes sind bei der Planung der Kapazitätsanpassung sicherlich im Blick zu behalten.

Darüber hinaus kann der spezifizierte Kapazitätsbedarf im hier untersuchten Fall zumindest formal durch zwei weitere Sachverhalte beeinflusst werden. Dazu gehört zuerst die Möglichkeit einer signifikanten Zu- oder Abnahme der Anzahl der Produkte bzw. Produktvarianten. Aufgrund durchaus beachtlicher Umrüstzeiten kann dies zu einer spürbaren Mehr- bzw. Minderbelastung der Produktionskapazität führen, selbst wenn die insgesamt gefertigte Produktmenge in etwa unverändert bleibt. Tatsächlich wird bei HILTI regelmässig diskutiert, ob eine Reihe sehr selten nachgefragter Produkte in Zukunft nicht mehr angeboten werden soll, was sich zumindest längerfristig abschwächend auf den Kapazitätsbedarf auswirken würde. Allerdings ist im untersuchten Planungszeitraum nicht mit derartigen Entscheidungen zu rechnen, so dass dieser Aspekt keinen Einfluss auf die unten beispielhaft durchgeführte Anpassungsplanung im dafür gewählten Zeitraum besitzt. Ähnliches gilt für ein Vorhaben, das ebenfalls auf die Reduktion des Rüstzeitanteils an der insgesamt zur Verfügung stehenden Betriebszeit im Arbeitsgang Umformung zielt. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung der hier dokumentierten Fallstudie war der Betrieb in einem eigenen Verbesserungsprojekt damit befasst, ein Verfahren zur rüstzeitminimalen Reihenfolgeplanung zu entwickeln. Eine Umsetzung der erzielten Ergebnisse wird jedoch noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Zudem ist der da-

durch im Mittel tatsächlich erzielbare Effekt im Hinblick auf eine Entlastung der Umformmaschinen noch nicht absehbar.

Das oben angegebene Bedarfsszenario ist demnach ohne konkrete Änderungen Grundlage für die beispielhafte Durchführung einer Anpassungsplanung für den Produktausstoss von Maschine 1 im Arbeitsgang Umformung, Durchmesserbereich 12 bis 20 Millimeter. Der dafür als nächstes notwendige Schritt ist die Erfassung und Quantifizierung der Anpassungsmassnahmen sowie natürlich auch die Bestimmung der Basiskapazität.

5.1.3 Mittelfristige Planung der Kapazitätsanpassung im Arbeitsgang Umformung in der Metalldübelfertigung

Aufgrund relativ teurer Produktionsanlagen, vor allem aber wegen der schon beschriebenen hohen kapazitiven Belastung wurden die Umformmaschinen zum Untersuchungszeitpunkt im 3-Schicht-Betrieb genutzt. Mit einem bei HILTI durchschnittlich geltenden Wert für den Verfügbarkeitsfaktor der Personalkapazität von 0.9 liegt die insgesamt *maximal verfügbare Basiskapazität* bei etwa 108 Stunden verteilt auf 15 Schichten pro Woche. Ein Vergleich mit dem in Abbildung 5.2 gezeigten Verlauf des Kapazitätsbedarfes verdeutlicht, dass dies in einigen Phasen des Planungszeitraumes zu deutlichen Überbelastungen führen würde. Insbesondere der Abbau des bestehenden Rückstandes scheint mit der bereitstehenden Basiskapazität kaum realisierbar. Entsprechend stellt sich die Frage, mit Hilfe welcher Möglichkeiten zur temporären Kapazitätserhöhung dies zu bewerkstelligen ist.

Massnahmen zur Kapazitätsanpassung im Arbeitsgang Umformung

Die generell im Arbeitsgang Umformung der Metalldübelfertigung bestehenden Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung können entweder durch eine zeitliche Verschiebung der Personaleinsatzzeit oder durch eine Erweiterung bzw. Reduktion bei der Mitarbeiterzahl oder den Betriebsmitteln erreicht werden. Eine Veränderung der Intensität in der Produktion ist aufgrund der feststehenden Arbeitsgeschwindigkeiten bei den Maschinen nicht realisierbar. Auch die Verlängerung der Einsatzzeit des Personals durch die Bezahlung von Überzeiten soll grundsätzlich vermieden werden. Vor diesem Hintergrund konnten in Zusammenarbeit mit dem Betrieb die nachfolgend kurz erläuterten Anpassungsmassnahmen ermittelt und quantifiziert werden.

Als Massnahme zur Kapazitätserhöhung mit der kürzesten Aktivierungszeit wurde die Durchführung von Zusatzschichten am Wochenende, vorzugsweise samstags, identifiziert (Massnahme 1 in Tabelle 5.1). Insgesamt können pro Woche drei zusätzliche Schichten geplant werden, wobei dies aufgrund betrieblicher Vereinbarungen nur an vier aufeinander folgenden Wochenenden möglich ist. Lohnzuschläge in Höhe von 14 Prozent sind nur bei Nachtarbeit zu berücksichtigen. Bei einem angenommenen Stundensatz von CHF 60 für einen Produktionsmitarbeiter ergeben sich dadurch Mehrkosten von CHF 65 pro zusätzliche Nachtschicht. Die maximale Nutzbarkeitsdauer dieser Massnahme wird darüber hinaus durch die obere Schranke der Arbeitszeitkonten der Mitarbeiter bestimmt. Sie liegt bei einem Wert von maximal 150 Überstunden pro Person. Weitere Parameterwerte zu dieser Massnahme sind in der unten stehenden Tabelle aufgeführt.

Nr.	Bezeichnung	ΔKAP [h/Wo]	t_{akt} [Wo]	$T_{ND,min}$ [Wo]	$T_{ND,max}$ [Wo]	KOA_{akt} [CHF]	KOA_{betr} [CHF/Wo]	$KOA_{rück}$ [CHF]	Bemerkung
1	Zusatzschichten am Samstag	+ 7.2 (pro zusätzl. Schicht)	1	1	4	0	0 bzw. 65 (je Nachtschicht)	0	Bis zu drei zusätzliche Schichten; Lohnzuschlag nur für Nachtschicht.
2	Zusatzschichten auf Ausweichmaschinen (samstags)	+ 7.2 (pro zusätzl. Schicht)	1	1	4	0	0 bzw. 65 (je Nachtschicht)	-	Bis zu sechs zusätzliche Schichten – Verfügbarkeit vorausgesetzt; Lohnzuschläge nachts.
3	Wechsel in den 4-Schicht-Betrieb	+ 36	4	12	-	2'000	1'025	2'000	Gebühren für Bewilligung eines veränderten Schichtmodells; Lohnzuschläge für 1Nacht- und 2 Sonntagsschichten.
4	Erweiterungsinvestition (neue Maschine)	+ 108	60	-	-	3'000'000	-	-	Nutzung im 3-Schicht-Betrieb
5	Freischichten	-7.2 (pro freie Schicht)	0	1	variabel	0	0 bzw. -65 (je Nachtschicht)	0	Begrenzung der Nutzbarkeitsdauer durch Arbeitszeitkonto; Einsparung von Lohnzuschlägen bei Wegfall von Nachtschichten.
6	Wechsel in einen 2-Schicht-Betrieb	- 36	2	12	-	2'000	-325	2'000	Gebühren für Bewilligung einer Veränderung d. Schichtmodells; Wegfall der Nachtzuschläge.

Tab. 5.1: Verfügbare Massnahmen zur Kapazitätsanpassung im Arbeitsgangumformung in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG

Aufgrund des bereits installierten 3-Schicht-Betriebes sind neben den Samstags-Schichten keine weiteren Massnahmen zur Verschiebung der Einsatzzeit des Personals möglich. Allerdings besteht aus Sicht der Anpassungsplanung für *Maschine 1* die Alternative, Produktionsaufträge, die sich bezüglich Bolzendurchmesser und -länge dazu eignen, auf die benachbarten *Umformmaschinen* zu verlagern. Machbar ist dies jedoch nur dann, wenn dort genügend freie Kapazitäten vorhanden sind, was jedoch infolge der schon erwähnten Ungleichbelastung der Umformmaschinen regelmässig der Fall ist. Neben der Möglichkeit, durch eine geschickte Auftragszuordnung die Basiskapazität aller Anlagen auszunutzen, können dort auch durch die Einplanung von Zusatzschichten an Samstagen zusätzliche Kapazitäten bereitgestellt werden (Massnahme 2). Dabei gelten grundsätzlich die gleichen Parameter wie für Maschine 1 (vgl. Tabelle 5.1).

Eine dritte Alternative zur Kapazitätserhöhung ist der Wechsel des Schichtmodells hin zu einem rollierenden 4-Schicht-Betrieb (Massnahme 3). Dies bedeutet, dass die Einsatzzeit der Maschine 1 um insgesamt fünf Schichten pro Woche erhöht wird, die am Samstag und Sonntag abzuleisten sind. Auf der Seite der Personalkapazität ist dafür die Beschäftigung eines weiteren Mitarbeiters erforderlich, wobei davon ausgegangen wird, dass dies unternehmensintern durch eine gegebenenfalls auch temporäre Versetzung relativ kurzfristig verwirklicht werden kann. Allerdings fallen durch die Ausdehnung der Arbeitszeit auf das Wochenende beachtliche Lohnzuschläge an. Neben dem schon erwähnten Betrag für die Samstags-Nachtschicht werden die Stundensätze für Sonntagsarbeit verdoppelt. Darüber hinaus ist der Wechsel des Schichtmodells bei HILTI bewilligungspflichtig, was mit einmaligen Aktivierungs- sowie Rücknahmekosten von jeweils CHF 2'000 verbunden ist. Erwähnt werden sollte an dieser Stelle noch, dass die mit Massnahme 1 bezeichneten Zusatzschichten im 4-Schicht-Betrieb nicht mehr möglich sind, da die dazu benötigten Zeiträume nicht mehr zur Verfügung stehen.

Der Vollständigkeit wegen soll schliesslich noch eine vierte Massnahme zur Kapazitätserhöhung betrachtet werden, die aufgrund der anhaltend hohen Auslastung der Umformmaschine 1 bei HILTI bereits in Erwägung gezogen wurde. Dies ist die Erweiterung der Betriebsmittelkapazität durch den Kauf einer weiteren Maschine und die Einstellung des dafür zusätzlich benötigten Bedienungspersonals (Massnahme 4). Der Einsatz im 3-Schicht-Betrieb würde jedoch eine Verdoppelung der Basiskapazität bewirken, da eine Rücknahme der Massnahme faktisch ausgeschlossen ist. Im Hinblick auf den im Rahmen der Fallstudie gültigen Planungszeitraum muss die Option der Erweiterungsinvestition wegen ihrer langen Aktivierungszeit ohnehin als nicht relevant angesehen werden.

Auf der Seite *Kapazitätsreduktion* stehen dem Produktionsbetrieb zwei Anpassungsmassnahmen zur Verfügung. Dies ist zunächst die Einplanung von Freischichten (Massnahme 5), die ohne Vorankündigungszeit angeordnet werden können. Die dadurch kürzere Wochenarbeitszeit der Mitarbeiter wird mit den Arbeitszeitkonten verrechnet. Prinzipiell ist es denkbar, dass in einem 3-Schicht-Betrieb alle 15 Schichten pro Woche zeitweise wegfallen können. Realistisch ist dies jedoch nicht. Allerdings ist es aus Kostengründen vorteilhaft, bevorzugt die Nachtschichten ausfallen zu lassen, da diese durch Lohnzuschläge belastet werden. Die so erzielbare Einsparung dürfte allerdings aufgrund ihres geringen Betrages insgesamt eine eher untergeordnete Rolle spielen. Eine zeitliche Nutzungsbegrenzung wird durch eine untere Schranke bei den Zeitkonten der Mitarbeiter bestimmt. Ein Arbeitszeit-Defizit von 100 Stunden wird hier als gerade noch zulässig angenommen.

Die zweite kapazitätsverringernde Massnahme ist erneut ein Wechsel des Schichtmodells. Durch die Umstellung in einen 2-Schicht-Betrieb (Massnahme 6), die mit einer Aktivierungszeit von zwei Wochen relativ kurzfristig möglich ist, kann die Kapazität deutlich verringert werden. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass der infolge einer solchen Anpassungsentscheidung frei werdende Mitarbeiter temporär oder ständig in einem anderen Betriebsbereich eingesetzt werden kann. Die notwendige Bewilligung für den Wechsel des Schichtmodells verursacht auch hier einmalige Zusatzkosten von CHF 2'000 für die Aktivierung sowie für eine gegebenenfalls später erfolgende Rücknahme. Im Gegensatz dazu resultiert aus dem Wegfall der Nachtschichten eine laufende Einsparung von Lohnzuschlägen im Vergleich zum Ausgangszustand, die als negative Zusatzkosten in Tabelle 5.1 angegeben sind.

Als Ergebnis können die oben spezifizierten Anpassungsmassnahmen in Form eines Flexibilitätsprofils dargestellt werden (siehe Abbildung 5.3). Dazu wurde bei der Anzahl der Freischichten ein Wert von maximal sechs im 3-Schichtbetrieb bzw. vier bei einer zweischichtigen Anlagennutzung angenommen.

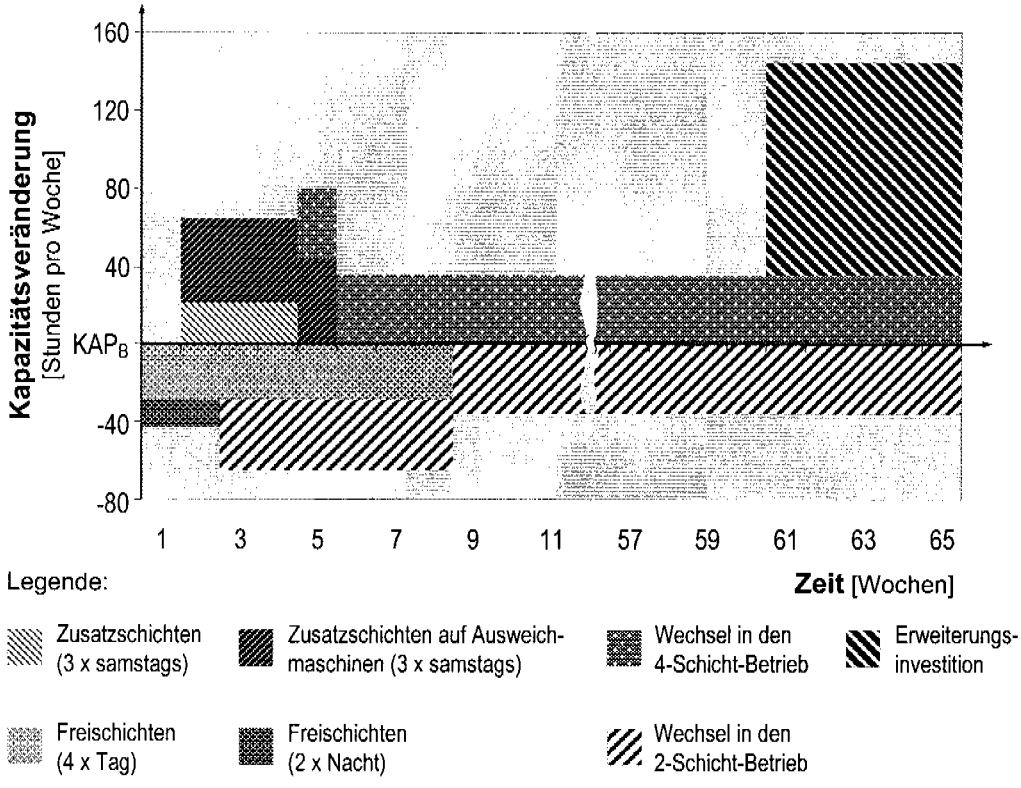


Abb. 5.3: Flexibilitätsprofil für den Arbeitsgang Umformung (Maschine 1) in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG
(Basiskapazität: 108 h pro Woche im 3-Schicht-Betrieb)

Ein Vergleich der nun bekannten Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung mit den im Kapitel 5.1.2 diskutierten Bedarfsunsicherheiten zeigt, dass zur Beherrschung der Schwankungen aufgrund von Projektgeschäften ausschliesslich die Durchführung von Zusatzschichten in Frage kommt. Bei den beiden anderen Massnahmen sind die Aktivierungszeiten eindeutig zu lang. Hingegen lässt sich bereits ohne eine detaillierte Anpassungsplanung erkennen, dass diese Massnahme nicht geeignet erscheint, um saisonale Schwankungen oder konjunkturelle Bedarfsanstiege bzw. -rückgänge auszugleichen. Hierfür eignet sich ein Wechsel des Schicht-

modells aufgrund der nicht begrenzten maximalen Nutzbarkeitsdauer vermutlich besser. Ob eine dauerhafte Veränderung der Basiskapazität durch eine relativ teure Erweiterungsinvestition notwendig erscheint, lässt sich erst anhand einer genauen Planung und Analyse der Kapazitätsanpassung über mehrere Planungszeiträume eindeutig beurteilen.

Zwei weitere Handlungsalternativen für die Durchführung des Kapazitätsabgleichs bzw. der Anpassungsplanung wurden bisher noch nicht genannt. So ist, wie schon erwähnt, die Verschiebbarkeit von Produktionsaufträgen zwischen den Umformmaschinen auch vom Vorhandensein geeigneter Umformwerkzeuge abhängig, die bei der Umrüstung von einem Produkt zu einem anderen gewechselt werden müssen. Durch die Investition in zusätzliche Werkzeugsätze könnten zur Entlastung von Maschine 1 noch mehr Aufträge den beiden anderen Anlagen zugeordnet werden. Allerdings sind die Kosten der Werkzeugbeschaffung mit Beträgen in der Grössenordnung von CHF 50'000 relativ hoch.

Darüber hinaus kann das im vorliegenden Fall tatsächlich existierende Halbfabrikate-Lager nach Umformung und Oberflächenbehandlung dazu verwendet werden, temporär ungenutzte Kapazität durch das Vorziehen von Produktionsaufträgen bzw. für das Anlegen von Pufferbeständen auszulasten. In Frage kommt dies insbesondere für regelmässig in grösseren Mengen nachgefragte Artikel, bei denen keine Gefahr besteht, dass sich während der dann kurzen Liegezeit nennenswerte Preisabschläge ergeben oder die Produkte gar nicht mehr benötigt werden. Gehen dann zu einem späteren Zeitpunkt Kapazitätsbedarfe über die Basiskapazität hinaus, können die Bestände zur Entlastung wieder abgegeben werden. Eine diesbezüglich gezielte Steuerung kann die Anpassungsplanung der Produktionskapazität in der Metalldübelfertigung in einer sinnvollen Art und Weise ergänzen.

Planung und Bewertung der Kapazitätsanpassung

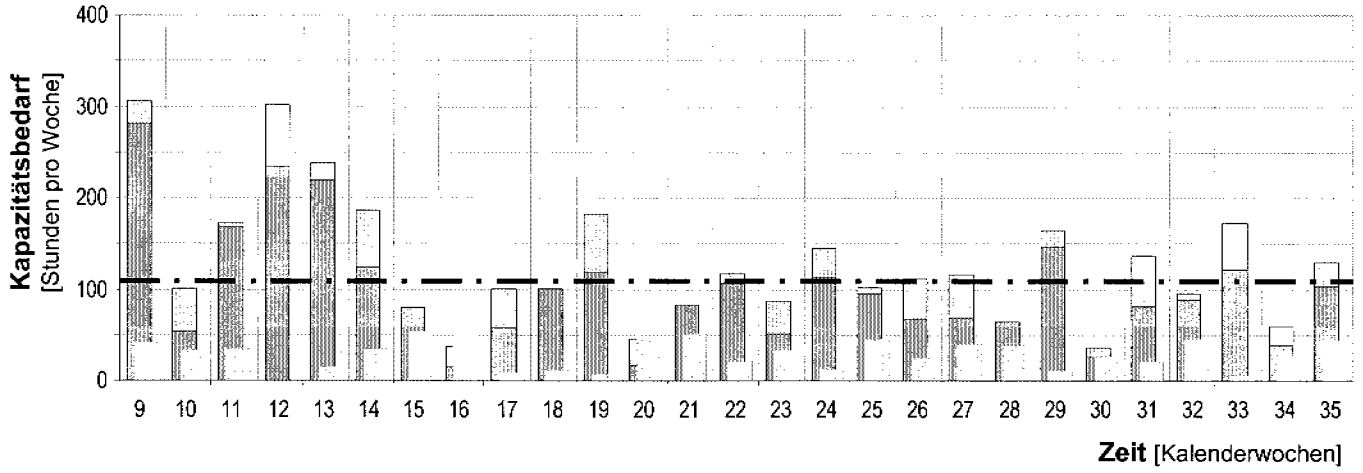
Mit den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Massnahmen ergeben sich nun eine ganze Reihe grundsätzlicher Wege, um für einen Ausgleich von Kapazitätsbedarf und bereitgestellter Produktmenge zu sorgen. In der Metalldübelfertigung bei HILTI war es bisher üblich, bevorzugt die Möglichkeit zur Durchführung kurzfristig anberaumter Samstagsschichten zu nutzen. Dies erfolgte zumeist dann, wenn grosse Bedarfsmengen, beispielsweise durch Projektaufträge, angekündigt waren oder Sicherheitsbestände auf Endproduktebene kurzfristig aufgefüllt werden mussten. Die Kapazitätsanpassung wurde damit weitgehend als Mittel zur Reaktion auf kurzfristige Bedarfsveränderungen eingesetzt. Eine mittelfristige und gezielte Anpassungsplanung für die Produktionskapazität unter Einbeziehung aller zur Verfügung stehenden Massnahmen war nicht Bestandteil des Produktionsplanungsprozesses. Vielfach erfolgte eine Reaktion auch erst dann, wenn bereits Auftragsrückstände vorlagen, was nicht zuletzt auch durch den zum Zeitpunkt der Untersuchung real vorliegenden Rückstand in der Grössenordnung von 130 Stunden – mehr als eine Wochenproduktion – zum Ausdruck kommt.

Dieser geschilderten Situation entsprechend wurde vor allem Maschine 1 zeitweise bis zur Kapazitätsgrenze und formal auch darüber hinaus belastet, ohne einen Zielwert für die Auslastung bei der Einplanung der Aufträge in Betracht zu ziehen. In Kombination mit regelmässig zugelassenen Reihenfolgevertauschungen bei den Produktionsaufträgen, die als Folge von Reaktionen auf kurzfristige Bedarfsfluktuationen zu deuten sind, resultierten daraus schliesslich teilweise lange und vor allem stark schwankende Auftragsdurchlaufzeiten sowie eine unbefriedigende Liefertreue.

In der Tat ist der Abbau des Rückstandes im hier untersuchten Beispiel zur Anpassungsplanung für Maschine 1 die grösste zu bewältigende Schwierigkeit. Angesichts der geltenden Aktivierungszeiten ist eine sofortige Bereitstellung der dafür notwendigen Kapazität nicht machbar, so dass nur ein schrittweiser Abbau realistisch ist.

Noch vor der Bestimmung konkreter Anpassungskonfigurationen kann ein Teil des in Abbildung 5.2 dargestellten Kapazitätsbedarfes für Umformmaschine 1 direkt den Umformanlagen 2 und 3 zugeordnet werden, ohne dass die dort zur Verfügung stehende Basiskapazität verändert werden muss. Im oberen Teil der Abbildung 5.4 sind diese Anteile als kleine, hellgrau schraffierte Säulen dargestellt. Der verbleibende Kapazitätsbedarf ist nun aber tatsächlich durch die Maschine 1 unter Einbeziehung der in Tabelle 5.1 genannten Anpassungsmassnahmen zu decken. Bei der Erarbeitung sinnvoller Anpassungsstrategien lassen sich nun mehrere Alternativen erkennen, die hier kurz diskutiert werden sollen.

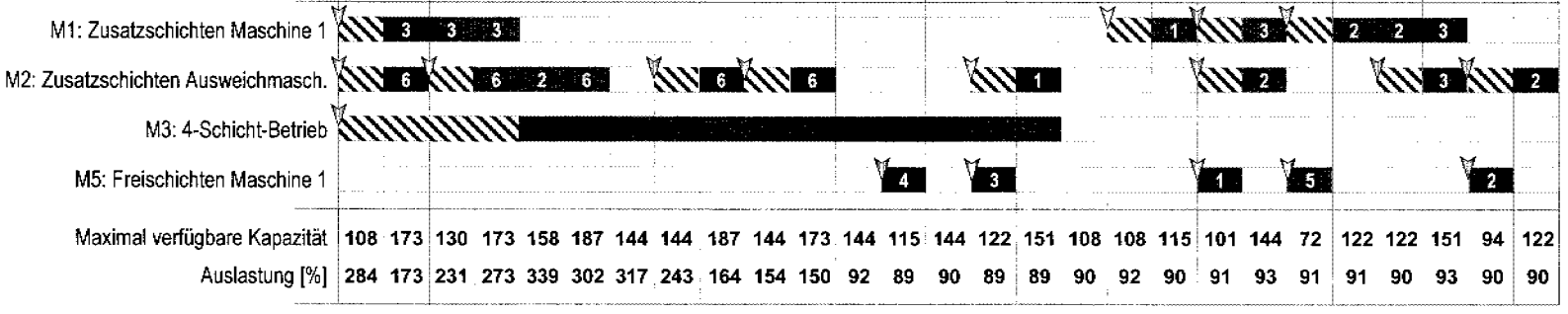
- *Anpassungsstrategie 1:* Wesentliches Element ist hier die Überlegung, auf einen Wechsel des Schichtmodells zu verzichten und die notwendigen Änderungen der Produktionskapazität ausschliesslich durch die Anordnung von Zusatz- und Freischichten zu bewerkstelligen. Dieser von HILTI bisher bevorzugte Weg besitzt den Vorteil, dass die Anpassungsmassnahmen sehr kurzfristig geplant werden können. Dabei muss vorausgesetzt werden, dass die Nutzung der Ausweichmaschinen 2 und 3 im Rahmen von Wochenend-Zusatzschichten ohne grössere Einschränkungen möglich ist, da eine Bewältigung des Kapazitätsbedarfes im Planungszeitraum sonst nicht realisierbar erscheint.
- *Anpassungsstrategie 2:* Durch einen schnellen Wechsel zum 4-Schicht-Betrieb soll der in Kalenderwoche 9 vorliegende hohe Auftragsbestand (siehe Abbildungen 5.2 und 5.4 oben) so schnell wie möglich abgebaut werden. Durch eine Aufrechterhaltung dieses Schicht-Modells über den Planungszeitraum hinaus steht so viel Kapazität zur Verfügung, dass Kapazitätsreserven im Falle einer weiteren Zunahme des Kapazitätsbedarfes bestehen und deshalb sogar Sicherheitsbestände aufgebaut werden können.
- *Anpassungsstrategie 3:* Auch in dieser Lösung, die in Abbildung 5.4 im unteren Teil detailliert wiedergegeben wird, steht der möglichst schnelle Abbau des Rückstandes durch den Wechsel zum 4-Schicht-Betrieb im Vordergrund. Im Gegensatz zu Anpassungsstrategie 2 wird diese Massnahme jedoch zum frühest möglichen Zeitpunkt wieder zurückgenommen. Die Kapazitätsanpassung im weiteren Verlauf des Planungszeitraums erfolgt dann durch eine Kombination von Zusatz- und Freischichten unter Nutzung des nachgeordneten Bestandspuffers.
- *Anpassungsstrategie 4:* Die hier als letztes vorgeschlagene Anpassungskonfiguration entspricht weitgehend der zuvor beschriebenen Lösung 3. Abweichend dazu wird allerdings der Zukauf eines zusätzlichen Umformwerkzeuges für ein relativ häufig nachgefragtes Produkt mit einem hohen Kapazitätsbedarf (ca. 26 Vorgabestunden pro Auftrag) geplant, so dass nach Ablauf der Beschaffungszeit, die mit einem Wert von etwa 12 Wochen angenommen wird, diese Aufträge regelmässig einer Ausweichmaschine zugeordnet werden können. Obwohl diese Massnahme wegen ihrer relativ langen Aktivierungszeit keinen Beitrag zum Abbau des Rückstandes leistet, entlastet sie im weiteren Verlauf die Arbeitszeitkonten der Mitarbeiter deutlich, so dass in der Folge grössere Reserven für die Reaktion auf kurzfristige Bedarfsanstiege verbleiben, die hier insbesondere durch Projektaufträge verursacht werden.



Legende:

- Bearbeitung nur durch Maschine 1
- Verschiebung auf Ausweichmaschinen im Rahmen von Zusatzschichten möglich
- Durch die Basiskapazität der Ausweichmaschinen gedeckter Kapazitätsbedarf
- Basiskapazität

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Effekt. Kapazitätsbedarf Maschine 1	307	100	173	302	238	186	80	37	101	101	182	45	83	118	87	145	102	112	116	64	164	36	137	95	172	60	130
Rückstand (am Ende der Periode)	199	126	170	299	379	378	313	206	120	77	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0
Lagerbestand (am Ende der Periode)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	32	54	44	39	27	15	42	12	42	17	32	1	25	5



	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Maximal verfügbare Kapazität	108	173	130	173	158	187	144	144	187	144	173	144	115	144	122	151	108	108	115	101	144	72	122	122	151	94	122
Auslastung [%]	284	173	231	273	339	302	317	243	164	154	150	92	89	90	89	89	90	92	90	91	93	91	91	90	93	90	90

- Aktivierungszeit
- Nutzungsperioden (Massnahmen 1, 2 und 5 mit Zahlenwert zur Anzahl der Zusatz- bzw. Freischichten)
- Spätester Aktivierungszeitpunkt

Abb.5.4: Beispielhafte Darstellung der Anpassungsplanung entsprechend Anpassungsstrategie 3 für Umformmaschine 1 in der Metalldübelfertigung bei der HILTI AG

Die oben stehende Abbildung 5.4 zeigt das Ergebnis der Anpassungsplanung entsprechend Lösungsweg 3. Neben der zeitlichen Einplanung der einzelnen Anpassungsmassnahmen, die in Form von Balkendiagrammen für die tatsächlich verwendeten Massnahmen dargestellt ist, enthält die Abbildung Zahlenwerte zum Verlauf des Kapazitätsbedarfes, des Rückstandes sowie zur Entwicklung des Pufferbestandes. Letzterer wird hier gezielt zum Ausgleich von Schwankungen genutzt. In der Abbildung wird darüber hinaus deutlich, dass es mit Hilfe von Anpassungsstrategie 3 möglich ist, den Rückstand bis zum Ende von Kalenderwoche 20 vollständig abzubauen, sofern in diesem Zeitraum keine weiteren, zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht bekannte Bedarfsmengen hinzukommen. Ausserdem gelingt es, im sich anschliessenden Zeitraum die Auslastung auf einem etwa konstanten Niveau von 90 Prozent zu halten. Aufgrund einer fehlenden Vorgabe wurde dieser Zielwert gewählt, da so mit einiger Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass eine gute Auslastung auf der einen und eine begrenzte auslastungsbedingte Wartezeit vor der Bearbeitung auf der anderen Seite zu erwarten ist.[1] Auf eine ähnliche Darstellung für die anderen Anpassungslösungen muss hier aus Platzgründen verzichtet werden.

Für einen Vergleich der vier genannten Anpassungsstrategien ist zunächst zu klären, welche Kostenarten zur Bestimmung der *Flexibilitätskosten* herangezogen werden können. Dazu ist zuerst anzumerken, dass bei der HILTI AG ohne Einschränkung der Grundsatz gilt, dass alle von den Marktorganisationen abgegebenen Bestellungen zu erfüllen sind. Auch kurzfristig lancierte Produktionsaufträge, die oftmals durch das Zustandekommen der schon mehrfach angesprochenen Projektgeschäfte anfallen, bilden dabei keine Ausnahme. Falls erforderlich, werden zu deren möglichst fristgerechter Abarbeitung andere Aufträge zurückgestellt und / oder eine Auslieferung von Teilmengen in Betracht gezogen. Demzufolge kann eindeutig festgestellt werden, dass Opportunitätskosten im vorliegenden Fall keine Rolle spielen.

Auch eine Verrechnung von Gebühren für verspätete Lieferungen (Penalen) zwischen den Produktionsbetrieben und den Marktorganisationen ist bei HILTI nicht üblich, so dass die in der hier vorgenommenen Anpassungsplanung auftretenden Auftragsrückstände keinen Niederschlag in einer vergleichenden Kostenbetrachtung finden. Der Erläuterung in Kapitel 4.3.2 folgend, verbleiben somit noch die Kosten für die Kapazitätsanpassung selbst, weiterhin Kosten für die Bestandeshaltung sowie formal auch Kosten für nicht ausgelastete Kapazitäten. Letztere sind hier jedoch ohne Bedeutung, da eine Unterauslastung bei keiner der vier oben kurz erläuterten Anpassungsstrategien vorkommt.

Neben den Flexibilitätskosten soll ausserdem die erreichte Liefertreue bzw. hier aus pragmatischen Gründen das Ausmass des nicht zu vermeidenden Rückstandes während des untersuchten Planungszeitraums als direktes Bewertungskriterium eingesetzt werden. Wie eben bereits angedeutet, kommt diesem bei HILTI eine vorrangige Bedeutung zu.

Im Hinblick auf diese beiden Vergleichsaspekte zeigt sich, dass *Anpassungsstrategie 1* mit deutlich mehr als 4000 Stunden Rückstand über alle Perioden eindeutig das schlechteste Ergebnis liefert. Tatsächlich gelingt es durch den ausschliesslichen Einsatz von Zusatz-

---

[1] Diese Annahme kann gemäss Nyhuis in etwa für solche Arbeitssysteme gelten, bei denen mittlere bis hohe Schwankungen der Belastung vorliegen, jedoch gleichzeitig eine hohe Kapazitätsflexibilität realisiert werden kann (siehe dazu Nyhuis P. / Wiendahl H.-P., Logistische Kennlinien, 2003, S. 90 f. und S. 100).

schichten erst in Kalenderwoche 28, den zu Beginn bestehenden Rückstand vollständig abzubauen. Da dieser wie erwähnt jedoch nicht in die Kostenbewertung eingeht, fallen bei dieser Lösung lediglich geschätzte CHF 5'200 für Anpassung und Bestandeshaltung (Annahme zum Zinssatz: 15 % pro Jahr) an. Ein weiterer Nachteil liegt in der Tatsache, dass sich aufgrund der intensiven Nutzung der Zusatzschichten eine hohe Belastung der Arbeitszeitkonten vorhersagen lässt, was beim bekannten Bedarfszenario bereits in den Kalenderwochen 24 und 25 zu erneuten Überbelastungen führt. Diese Situation dürfte sich weiter verschärfen, wenn kurzfristige Zusatzbedarfe anfallen, womit, wie in Abschnitt 4.1.3 geschildert, durchaus gerechnet werden muss.

Dieses Problem besteht bei allen anderen Lösungsvarianten nicht. Bei den *Anpassungsstrategien 2* und *4* kann die Zahl der insgesamt benötigten Zusatzschichten trotz Abbau des Rückstandes sogar kleiner gehalten werden, als die der Freischichten. Vor allem ist jedoch wesentlich, dass es machbar erscheint, mit den *Anpassungsstrategien 2, 3* und *4* den Rückstand bereits in Kalenderwoche 20 vollständig aufzuholen und anschliessend die Auslastung etwa konstant bei 90 Prozent zu halten. Allerdings wird anhand von Anpassungslösung 2 klar, dass im Zeitabschnitt nach dem Abbau des Rückstandes im Durchschnitt weniger als 20 Schichten benötigt werden. Im Planungsbeispiel konnte dies im Beobachtungsintervall durch Freischichten und durch den Aufbau von Pufferbeständen ausgeglichen werden. Über einen längeren Zeitraum wäre dies aber sicherlich nicht sinnvoll.

Betrachtet man schliesslich die Kosten, so zeigt sich, dass Anpassungsstrategie 2 aufgrund der Lohnzuschläge insbesondere für die Sonntagsschichten, aber auch wegen der nicht vernachlässigbaren Bestandeshaltungskosten relativ teuer ist. Mit einem Betrag von insgesamt etwa CHF 35'000 innerhalb des etwa sechs Monate langen Planungszeitraums ist der Kostenaufwand fast sechsmal so gross wie bei Lösungsvariante 1. Etwas positiver fällt das Bild für die in Abbildung 5.4 dargestellte Anpassungsstrategie 3 aus, doch auch hier liegen die Kosten für Anpassung und Bestand bei ca. CHF 21'000. Ein ähnlicher Wert wird bei Anpassungskonfiguration 4 erzielt, wobei noch ein zusätzlicher Kostenanteil für die Anschaffung des Umformwerkzeuges hinzugerechnet werden muss. Hierbei ist es jedoch nicht zulässig, die gesamten Beschaffungskosten anzusetzen, da das Werkzeug ja über Kalenderwoche 35 hinaus genutzt werden kann. Vielmehr scheint ein Betrag angemessen zu sein, der etwa der Abschreibung bezogen auf den Zeitraum der Verfügbarkeit innerhalb des Betrachtungszeitraums entspricht. Damit ergeben sich für Anpassungsstrategie 4 Flexibilitätskosten, die ungefähr im Bereich von CHF 25'000 liegen.

5.1.4 Fazit und Handlungsempfehlungen

In einer zusammenfassenden Beurteilung der Bewertungsergebnisse kann festgestellt werden, dass Anpassungslösung 1, bei der nur auf die Nutzung von Zusatzschichten gesetzt wird, trotz der erkennbaren Kostenvorteile als nicht geeignet anzusehen ist, um die im konkreten Fall vorliegenden Verlauf des Kapazitätsbedarfes zu beherrschen. Vor allem die lange Zeit, die benötigt wird, um den Rückstand abzubauen, ist für diese Einschätzung massgeblich. Geht man nun davon aus, dass die drei anderen Lösungen in etwa gleichwertig sind im Hinblick auf die Fähigkeit, die erwarteten Bedarfsschwankungen auszugleichen, kann das Argument der Kosten eingesetzt werden. Dem folgend kann auf der Grundlage der zum Betrachtungs-

zeitpunkt vorliegenden Informationen *Anpassungsalternative 3* als beste Lösung empfohlen werden.

Zieht man allerdings darüber hinaus in Erwägung, dass der Zukauf eines oder sogar mehrerer zusätzlicher Umformwerkzeuge die Freiheitsgrade zum Abgleich der Kapazitätsbelastungen zwischen den Umformmaschinen deutlich erhöht, kann Anpassungsvariante 4 zumindest als interessante Alternative angesehen werden. Gleichermassen lässt das durchgeführte Planungsbeispiel erkennen, dass eine aufwendige und teure Erweiterungsinvestition durchaus vermieden werden kann. Es ist sogar im Gegenteil davon auszugehen, dass durch ein solches Vorhaben deutliche Überkapazitäten entstehen würden, die nur durch die Erwartung einer weiteren, länger anhaltenden Bedarfszunahme zu rechtfertigen wären.

Eine Voraussetzung für den Verzicht auf eine dauerhafte Erhöhung der Basiskapazität durch eine Erweiterung bei Personal und Betriebsmitteln ist jedoch die Ausübung einer qualifizierten Anpassungsplanung für die Produktionskapazität unter Einbeziehung aller zur Verfügung stehenden Anpassungsmassnahmen. Unter Umständen ist auch in Erwägung zu ziehen, dass das bestehende Massnahmenportfolio sinnvoll erweitert werden muss. Denkbar wäre beispielsweise eine temporäre Fremdvergabe von Aufträgen oder die Schulung von weiteren HILTI-Mitarbeitern, so dass die Anlagen nicht nur vom Stammpersonal, sondern auch von zusätzlichen, temporär einsetzbaren Personen bedient werden könnten. Letzteres wäre geeignet, die kurzfristig nutzbare Kapazitätsflexibilität durch die Möglichkeit zu weiteren Zusatzschichten an Wochenenden zu steigern.

Generelles Ziel muss es jedoch sein, die Kapazitätsflexibilität nicht im wesentlichen als Instrument zur Reaktion auf drohende oder sogar schon bestehende Auftragsrückstände einzusetzen, sondern vorausschauend und damit rechtzeitig Entscheidungen im Hinblick auf notwendige Kapazitätsanpassungen zu treffen. Dies erfordert eine Ausdehnung des Betrachtungshorizontes für diese Planungsaufgabe auf mindestens drei, besser sogar auf sechs bis neun Monate, so dass vor allem Saisonalitäten, aber auch andere Bedarfsveränderungen mit mittlerer oder langer Schwankungsdauer einbezogen werden können.

Während das in diesem Abschnitt vorgestellte Fallbeispiel einer weitgehend typischen Anwendung des in den Kapitel 3 und 4 erarbeiteten Konzepts zur Konfiguration und Bewertung von Möglichkeiten zur Kapazitätsanpassung entspricht, soll nun nachfolgend eine anders gelagerte Fragestellung untersucht werden. Die in Abbildung 4.2 vorgeschlagene Vorgehensweise zur Planung und Analyse der Kapazitätsanpassung sowie der in Abbildung 4.5 dargestellte Planungszyklus sind dabei jedoch ohne wesentliche Änderungen anwendbar.

5.2 Fallstudie 2: Produktionshochlauf in der Montage von opto-elektronischen Modulen bei der FISBA OPTIK AG

Die Planung der Kapazitätsbereitstellung für ein neues Produkt ist in nahezu allen Industriebereichen eine regelmässig wiederkehrende Fragestellung. Eine Herausforderung ist dabei in der Regel die geeignete Anpassung an den Bedarfsanstieg in der Wachstumsphase eines neu eingeführten Produktes. Hinzu kommt die Schwierigkeit, die letztlich benötigte Durchschnittskapazität in der mehr oder weniger lang andauernden Reifephase, in der betrieblichen Praxis auch als Kammlinie bezeichnet, richtig abzuschätzen. Dies schliesst auch die Überlegung ein,

mit welchen weiteren Bedarfsschwankungen im Zeitverlauf zu rechnen ist, um die entsprechenden Anpassungsmassnahmen zur Verfügung stellen zu können. Bereits bestehende Erfahrungen, die möglicherweise mit Vorgängerprodukten gemacht wurden, können die erfolgreiche Bearbeitung dieser Problemstellungen deutlich vereinfachen. Ist dies, wie im vorliegenden Beispiel, nicht der Fall, müssen eine Reihe von Annahmen getroffen und gegebenenfalls Anpassungsreserven als Sicherheit eingeplant werden.

Vor diesem Hintergrund wurde von der FISBA OPTIK AG der Auftrag formuliert, alternative Konzepte zur Kapazitätsanpassung für den Produktionshochlauf eines Neuproduktes für ein gegebenes Bedarfsszenario zu erarbeiten und geeignet zu bewerten. FISBA ist ein mittelständisches Unternehmen der optischen Industrie. Mit etwa 300 Mitarbeitern werden komplexe optische bzw. opto-mechanische Systeme und Komponenten hergestellt, die unter anderem in Messgeräten, Laserwerkzeugen, aber auch in der Augenheilkunde oder in der Raumfahrt Anwendung finden. Der Sitz und Hauptproduktionsstandort des Unternehmens befindet sich in St. Gallen in der Schweiz.

5.2.1 Ausgangslage in der Montage von opto-elektronischen Modulen für die Verwendung im Spezialanlagenbau

Bei dem im Rahmen der Fallstudie betrachteten Produkt handelt es sich um ein opto-elektronisches Modul, das als kritische Komponente im Spezialanlagenbau benötigt wird. Die Produktentwicklung wurde bei FISBA OPTIK in enger Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller durchgeführt. Die Produktion erfolgt exklusiv nur für diesen Kunden. Aus Gründen der Vertraulichkeit muss hier eine genauere Benennung von Produkt und Abnehmer unterbleiben.

Derzeit wird nur eine Variante des Moduls benötigt. Bei der Herstellung können die Hauptprozesse *Mechanische Vormontage* sowie die *Modul-Endmontage* einschliesslich eines abschliessenden Funktionstests unterschieden werden. Während die Vormontage weder in technologischer noch in kapazitiver Hinsicht als problematisch angesehen werden muss, besteht die Endmontage, die vollständig unter Reinraumbedingungen abläuft, aus mehreren neuen und anspruchsvollen Arbeitsschritten. Entsprechend wurde der Betrachtungsbereich im Rahmen der Fallstudie von Beginn an auf diesen letzten Herstellungsprozess begrenzt.

Neben verschiedenen mechanischen und optischen Zukaufteilen, die in der Regel in der benötigten Qualität und in den ausreichenden Mengen verfügbar sind, wird eine optische Schlüsselkomponente mit stark schwankenden Produkteigenschaften von einem externen Lieferanten beschafft. Dies hat unter anderem zur Konsequenz, dass bereits nach einem ersten Montage-Schritt ein vorläufiger Funktionstest durchgeführt werden muss. Die Auswertung der Testergebnisse erfolgt beim Kunden, was zu einer Liegezeit in einem Zwischen-Puffer von etwa zwei Tagen führt. Liegt das Prüfergebnis im Rahmen der spezifizierten Anforderungen, folgen weitere vier Arbeitsgänge sowie schliesslich eine abschliessende Testmessung. Die Produktionslosgrösse ist in allen genannten Prozessschritten gleich gross. Abbildung 5.5 zeigt die Abfolge der Teilprozesse in der Endmontage auf deren weitergehende Erläuterung auch hier im Hinblick auf die erforderliche Geheimhaltung verzichtet werden soll.

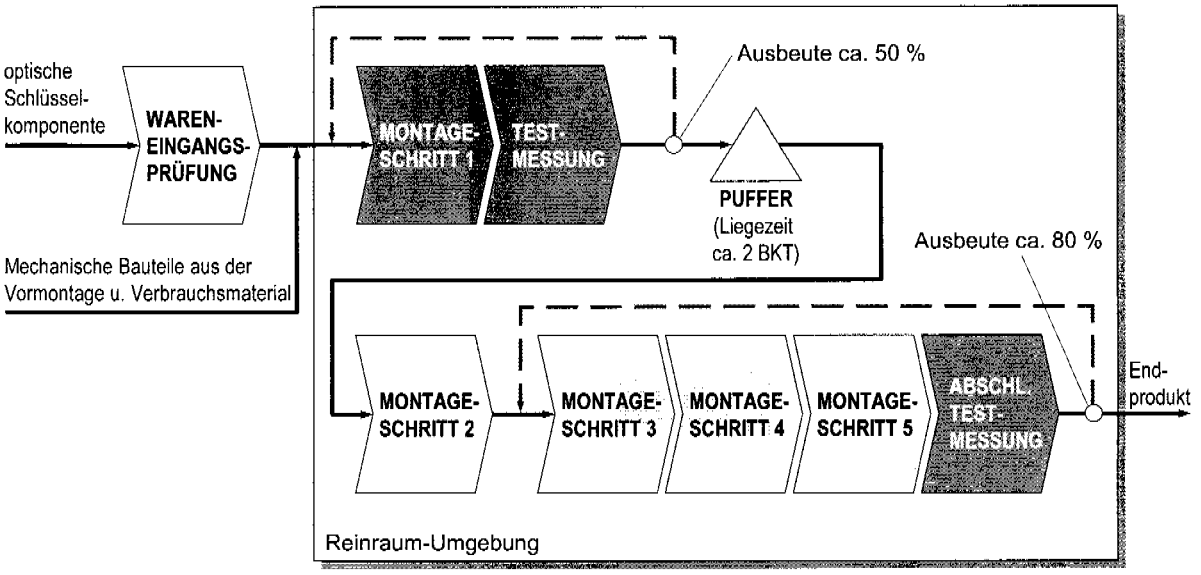


Abb. 5.5: Prozessschritte in der Endmontage bei der Herstellung von opto-elektronischen Modulen

Genügen die Resultate der Testmessung nach Montageschritt 1 oder bei der Abschlussmessung nicht den Anforderungen, ist in beiden Fällen eine Nachbearbeitung notwendig, die im Prinzip einem erneuten Prozessdurchlauf entspricht. Die Ausbeute an qualitativ guten Modulen beträgt 50 bzw. 80 Prozent. Dies bedeutet, dass hierdurch eine signifikante Mehrbelastung einiger Arbeitsgänge entsteht, die unbedingt zu beachten ist. Hinzu kommt die Tatsache, dass beide Test-Arbeitsgänge auf das selbe Arbeitssystem zugreifen und somit gemeinsam eine Produktionsressource belasten.

5.2.2 Analyse des Kapazitätsbedarfes

Der zum Zeitpunkt der Untersuchung nach Einschätzung des Betriebes realisierbare Ausstoss des Gesamtprozesses lag bei knapp 40 Prozent des mittelfristig prognostizierten Durchschnittsbedarfs. Eine vom Kunden der FISBA OPTIK AG abgegebene Bedarfsprognose machte jedoch gleichzeitig deutlich, dass der Produktausstoss innerhalb einer kurzen Frist von ca. 20 Kalenderwochen um etwa zwei Drittel gesteigert werden muss. Eine direkte Gegenüberstellung von Bedarfsentwicklung und verfügbarer Basiskapazität (siehe Abbildung 5.6) zeigt, dass temporäre, beispielsweise auf die Verlängerung oder Verschiebung der Personaleinsatzzeit zurückgreifende Massnahmen zur Kapazitätsveränderung ohne Zweifel unzureichend waren, um die geforderte Leistungssteigerung dauerhaft realisieren zu können. Im Gegensatz zu Fallbeispiel 1 wird hier jedoch nur eine Art der Bedarfsunsicherheit betrachtet, die entsprechend des in Kapitel 4.2.1 vorgeschlagenen morphologischen Schemas als Veränderung der Bedarfsmenge charakterisiert werden kann, die durch den Lebenszyklus des Produktes verursacht wird. Die Veränderung ist kurz- bis mittelfristig zu realisieren und dauerhaft aufrecht zu erhalten. Der Eintritt der Bedarfsveränderung erfolgt stetig, im Betrachtungszeitraum lediglich einmalig und ist selbstverständlich expansiver Natur.

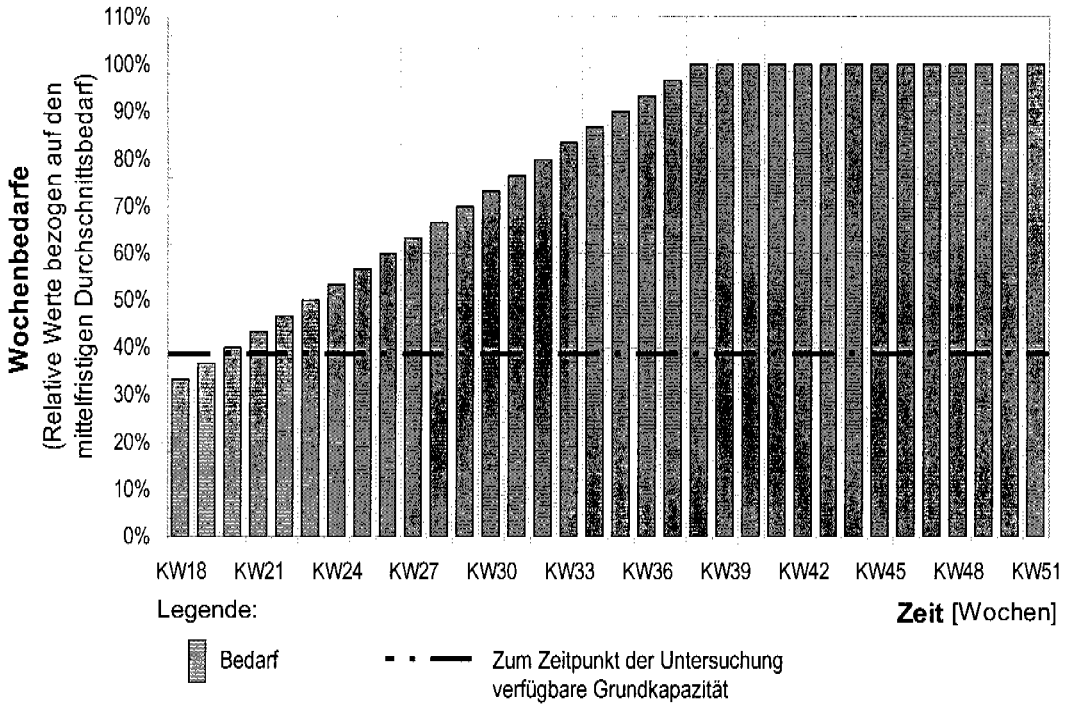


Abb. 5.6: Spezifizierter Bedarfsanstieg und installierte Basiskapazität zum Untersuchungszeitpunkt

Um die Anforderungen zur erfüllen, wurden bei FISBA verschiedene technische und organisatorische Veränderungen diskutiert, beispielsweise die Investition in zusätzliche Betriebsmittel oder die Einführung eines 3-Schicht-Betriebes. Allerdings konnte bis dahin lediglich eine grob abschätzende Kapazitätsplanung für den gesamten Montageprozess durchgeführt werden. Eine detaillierte Analyse der Grundkapazitäten sowie der individuellen Möglichkeiten zur Kapazitätserhöhung bei den einzelnen Teilprozessen lag noch nicht vor. Dies war im vorliegenden Fall jedoch unverzichtbar, da es angesichts der erwarteten Bedarfsentwicklung nicht nur darum ging, die benötigte Leistung langfristig zu möglichst geringen Kosten bereitzustellen. Ziel war es vielmehr, den Produktionshochlauf möglichst schnell und effizient zu gestalten. Wird darüber hinaus in Betracht gezogen, dass FISBA längerfristig eher mit einer weiteren Steigerung als mit einem Rückgang des Bedarfes rechnet, so rückt dies auch die Frage nach zusätzlichen Erweiterungsmöglichkeiten ins Blickfeld.

Neben der Möglichkeit einer weiteren Steigerung der durchschnittlichen Bedarfsmenge erscheinen im Hinblick auf die künftigen Veränderungen im Umfeld der Endmontage insbesondere drei weitere Aspekte relevant. Dies ist zunächst die naheliegende Vermutung, dass im Laufe der Zeit sicherlich zusätzliche Arten der Bedarfsschwankung zu beherrschen sind. Obwohl hierzu keine Informationen vorlagen, sind zusätzliche Freiheitsgrade, beispielsweise zur kurzfristigen Kapazitätsanpassung, in jedem Fall als Vorteil einer Erweiterungslösung anzusehen.

Des weiteren sind die Aussicht auf eine höhere und stabile Qualität der zugelieferten Schlüsselkomponente sowie die Auswirkung von bereits beobachteten Lerneffekten in der Endmontage auf den tatsächlichen Kapazitätsbedarf bzw. auf die erreichbare maximal mögliche Leistung gegebenenfalls von grösserer Bedeutung. Während bei der Qualität der optischen Schlüsselkomponente nach Überzeugung der FISBA OPTIK AG bestenfalls langfristig auf eine

Verbesserung gehofft werden kann, ist die Aussicht auf eine weitere Verkürzung der Einzelbearbeitungszeiten durchaus plausibel, da in allen Arbeitsgängen ein mehr oder minder grosser Anteil an Handarbeit zu verrichten ist. Allerdings lag zum Zeitpunkt der Betrachtung trotz der schon festgestellten Steigerung der Ausstossleistung durch eine zunehmende Routine der Mitarbeiter kein geeignetes Datenmaterial vor, das die Prognose einer Lernkurve erlaubt hätte. Eine spekulative Berücksichtigung dieses Sachverhalts erfolgte im Rahmen der Fallstudie nicht. Dennoch ist es unter Umständen denkbar, dass eine weitere Erhöhung des Bedarfsmittelwertes zumindest teilweise von einer Qualitätsverbesserung bei der optischen Schlüsselkomponente und durch die Ausnutzung von Erfahrungseffekten kompensiert werden kann. Eine Planung zur Bereitstellung nennenswerter Überkapazitäten kam deshalb auf der Grundlage des vorhandenen Kenntnisstandes nicht in Frage.

5.2.3 Entwurf und Bewertung alternativer Anpassungsstrategien

Neben der Ermittlung der künftigen Bedarfsanforderungen war die Untersuchung der Basiskapazitäten für die einzelnen Arbeitsgänge im betrachteten Produktionsbereich der erste Schritt bei der Durchführung des Fallstudien-Projektes bei der FISBA OPTIK AG. Dazu wurden die verfügbaren Betriebsmittel- sowie die nutzbaren Personalkapazitäten für jeden in Abbildung 5.5 gezeigten Prozessschritt abgeschätzt. Entsprechend Gleichung 2-3 (Kapitel 2.3.2) folgt daraus die maximal mögliche Leistung jedes Arbeitssystems. Auf Details soll hier aber aus Platzgründen verzichtet werden.

Bereits an dieser Stelle zeigte sich jedoch, dass vor allem von zwei Engpass-Arbeitssystemen ausgegangen werden muss. Dies waren der *Montageschritt 1* sowie die auf die selben Ressourcen zugreifenden Arbeitsgänge *Testmessung* und *Abschlussmessung* (in Abbildung 5.5 dunkel hinterlegt). Dieser Eindruck bestätigte sich durch die anschliessende Bestimmung der bestehenden Möglichkeiten zur mittelfristigen Kapazitätssteigerung für alle Arbeitssysteme der Endmontage. Aus diesem Grund wurde der Betrachtungsbereich weiter auf die genannten Engpass-Systeme eingeschränkt. Die Länge der *Planungsperiode* zur Spezifikation der Aktivierungszeiten (t_{akt}) sowie der minimalen und maximalen Nutzbarkeitsdauern ($T_{ND,\min}$ bzw. $T_{ND,\max}$) wurde auf eine Woche und der *Planungszeitraum* auf eine Zeitspanne von 34 Wochen festgelegt.

Bestimmung und Parametrierung der möglichen Massnahmen zur Kapazitätsanpassung

Für den eben genannten Zeitraum konnten grundsätzlich Erweiterungsinvestitionen einschliesslich der Aufstockung des zur Bedienung benötigten Personalbestandes sowie ein Wechsel des Schichtmodells als realisierbare Anpassungsmassnahmen identifiziert werden. Eine weitere als *Rotationsmodell* bezeichnete Massnahme nutzt die Möglichkeit, die Schichtlänge im 2-Schicht-Betrieb unter Beachtung der geltenden Arbeitszeitregelungen dauerhaft um etwa 1 bis 1.5 Stunden auszudehnen. Durch eine entsprechende Erhöhung der Mitarbeiterzahl kann geleistete Mehrarbeit rotierend durch Freischichten ausgeglichen werden.

In den Tabellen 5.2 und 5.3 sind diese Massnahmen mit ihren jeweils geltenden Parametern für den Montageschritt 1 sowie für die Test- bzw. Abschlussmessung aufgeführt. Die Länge der Aktivierungszeiten für diese Massnahmen wird entsprechend durch den Zeitaufwand für die Auswahl und Einweisung zusätzlich erforderlicher Mitarbeiter einerseits und durch die Beschaffungszeiten für die Betriebsmittel andererseits bestimmt. Ähnliches gilt für die

Abschätzung der Anpassungskosten. Neben den Investitionen in Sachmittel sind Kosten für die Einstellung und Einarbeitung eines neuen Mitarbeiters in einer Grössenordnung von CHF 10'000 zu berücksichtigen. Als relevante Anpassungskosten sind in diesem Zusammenhang auch die durch zusätzliches Personal anfallenden Lohnkosten anzusehen, da im vorliegenden Fallbeispiel alle einmaligen und laufenden Aufwendungen für verschiedene Konzepte zur Realisierung des Produktionshochlaufes als Vergleichsbasis herangezogen werden sollten. Zur Bestimmung der hinzukommenden Lohnkosten für zusätzlich benötigte Arbeitskräfte wurde ein Kostensatz von CHF 65 pro Stunde für einen Produktionsmitarbeiter angenommen. Bei einem möglichen Wechsel in den 3-Schicht-Betrieb sind darüber hinaus verschiedene kostenrelevante Zusatzbedingungen zu beachten. So wird entsprechend einer betrieblichen Regelung Nachtarbeit mit einer Zeitgutschrift auf dem Arbeitszeitkonto der betroffenen Mitarbeiter honoriert, die im Sinne von Zusatzkosten in guter Näherung als Lohnzuschlag in Höhe von 10 Prozent berücksichtigt werden kann. Ausserdem ist für den Nachtbetrieb ein zusätzlicher Schichtführer einzuplanen, was in den unten stehenden Massnahmentabellen anteilig für beide untersuchten Arbeitssysteme als laufende Zusatzkosten eingeht. Dabei wird unterstellt, dass, wenn überhaupt, die Einführung des 3-Schicht-Betriebs für Montageschritt 1 und die Test- bzw. Abschlussmessung gleichzeitig erfolgt. Zuletzt muss noch der Tatsache Rechnung getragen werden, dass sich bei drei gleich langen Schichten pro Betriebskalendertag deren Dauer von 8.4 auf 8.0 Stunden verkürzt.

Ausgangssituation für die Spezifikation der Anpassungsmassnahmen ist ein bestehender 2-Schicht-Betrieb mit jeweils zwei Arbeitsstationen für Montageschritt 1 sowie für die Test- bzw. Abschlusstestmessung. Eine Erweiterung beider Engpass-Arbeitssysteme um je eine Arbeitsstation einschliesslich des gegebenenfalls notwendigen Personals ist bereits in der Umsetzung, so dass die Aktivierungszeiten hier kürzer ausfallen. Die in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Werte für den Kapazitätsbeitrag einer Massnahme (ΔKAP) sind als relative Grössen bezogen auf die Basiskapazität des Arbeitssystems bzw. bezogen auf die aktuell installierte Kapazität angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die maximal mögliche Ausstossleistung der Test- bzw. Abschlusstestmessung zu Beginn etwa 35 Prozent über der des Montageschrittes 1 bzw. bei ca. 52 Prozent bezogen auf den künftig erwarteten Durchschnittsbedarf lag.

Nr.	Bezeichnung	ΔKAP [Stk/Wo]	t_{akt} [Wo]	$T_{ND,min}$ [Wo]	$T_{ND,max}$ [Wo]	KOA_{akt} [CHF]	KOA_{betr} [CHF/Wo]	$KOA_{rück}$ [CHF]	Bemerkung
1	3. Arbeitsstation	+ 50% bezogen auf KAP_B	(4)	> 34	-	300'000	0	-	Bereits in der Umsetzung. Kein zusätzliches Personal erforderlich.
2	Rotationsmodell (Feste Schichtverlängerung: +1.4h)	+ 17% bez. auf install. KAP	14	26	-	10'000	2'730	-	Nur einsetzbar im 2-Schicht-Betrieb! Ein zusätzlicher Mitarbeiter bei bis zu 5 Arbeitsstationen erforderlich.
3	3-Schicht-Betrieb (Verkürzung der Schichtlänge auf 8.0h)	+ 43% bez. auf install. KAP	14	> 34	-	20'000	7'070	-	2 zusätzliche Mitarbeiter erforderlich. Zeitgutschrift für Nachtarbeit – als 10% Lohnzuschlag und Schichtführer (anteilig) berücksichtigt.
4	4. u. 5. Arbeitsstation m. Personal	+ 100% bezogen auf KAP_B	16	> 34	-	620'000 (630'000)	5'460 (8'320)	-	2 bzw. im 3-Schicht-Betrieb 3 weitere Mitarbeiter erforderlich.
5	6. Arbeitsstation mit Personal	+ 50% bezogen auf KAP_B	32	> 34	-	320'000 (330'000)	5'460 (8'320)	-	2 bzw. im 3-Schicht-Betrieb 3 weitere Mitarbeiter erforderlich.

Tab. 5.2: Verfügbare Massnahmen zur Kapazitätserhöhung in Montageschritt 1 bei der Herstellung von opto-elektronischen Modulen (Anmerkung: Die reduzierten Ausbeute-Werte (50%) sind bereits eingerechnet.)

Nr.	Bezeichnung	ΔKAP [Stk/Wo]	t_{akt} [Wo]	$T_{ND,min}$ [Wo]	$T_{ND,max}$ [Wo]	KOA_{akt} [CHF]	KOA_{betr} [CHF/Wo]	$KOA_{rück}$ [CHF]	Bemerkung
1	3. Messarbeits-platz mit Personal	+ 50% bezogen auf KAP_B	(4)	> 34	-	110'000	5'460	-	Bereits in der Umsetzung. 2 zusätzliche Mitarbeiter erforderlich.
2	Rotationsmodell (Feste Schichtver-längerung: +1.4h)	+ 17% bez. auf install. KAP	14	26	-	10'000	2'730	-	Nur einsetzbar im 2-Schicht-Betrieb! Ein zusätzlicher Mit-arbeiter bei bis zu 4 Mess-plätzen erforderlich.
3	3-Schicht-Betrieb (Verkürzung der Schichtlänge auf 8.0h)	+ 43% bez. auf install. KAP	18	> 34	-	30'000	9'670	-	3 weitere Mitarbeiter (bei 3 Messarbeitsplätzen) erforder-lich. Zeitgutschrift für Nacht-arbeit – als 10% Lohnzu-schlag sowie Schichtführer (anteilig) berücksichtigt.
4	4. Messarbeits-platz mit Personal	+ 50% bezogen auf KAP_B	14	> 34	-	110'000	5'460	-	2 zusätzliche Mitarbeiter (im 2-Schicht-Betrieb) erforder-lich.

Tab. 5.3: Verfügbare Massnahmen zur Kapazitätserhöhung in der Test- bzw. Abschlussmessung bei der Herstellung von opto-elektronischen Modulen (Anmerkungen: Die Grundkapazität dieses Arbeitsganges ist um etwa 35 % grösser als die in Montageschritt 1. Die reduzierte Ausbeute von 80 % sowie die gleichzeitige Belastung durch die beiden Arbeitsgänge Testmessung und Abschlusstestmessung wurden berücksichtigt.)

Die in den oben stehenden Tabellen enthaltenen Daten können nun auch zur Erzeugung von Flexibilitätsprofilen für die beiden Arbeitssysteme verwendet werden. Die Abbildungen 5.7 und 5.8 enthalten die entsprechenden Darstellungen für den Montageschritt 1 sowie für die Test- bzw. Abschlussmessung.

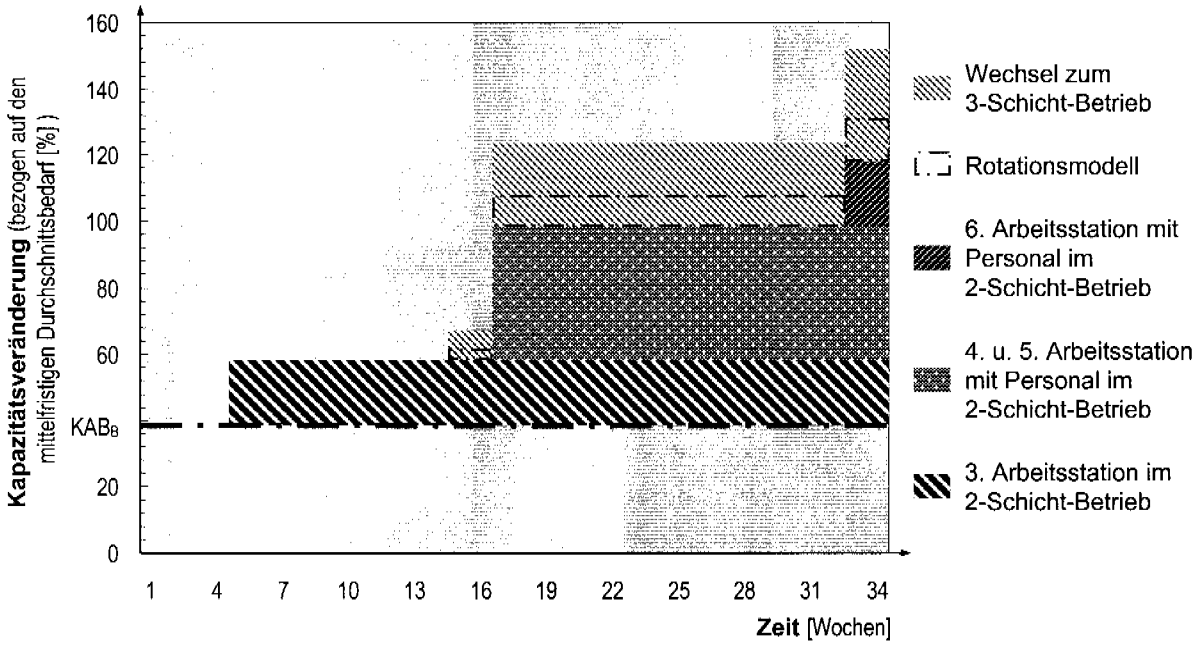


Abb. 5.7: Flexibilitätsprofil für die mittel- bis langfristige Kapazitätsanpassung in Montageschritt 1

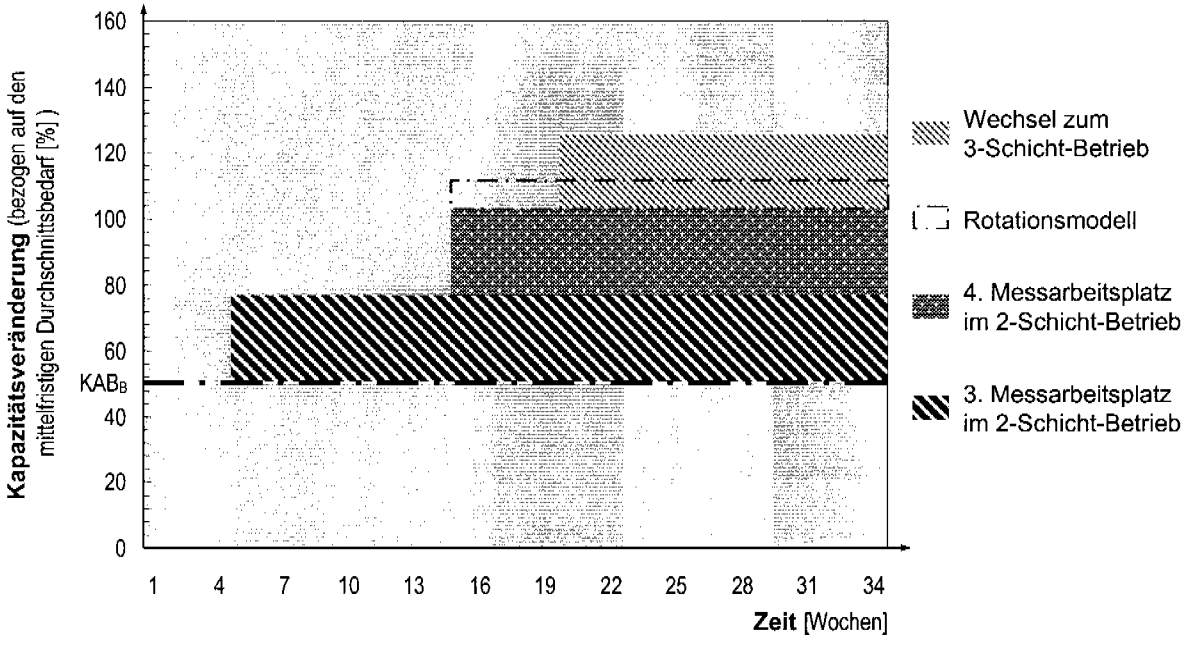


Abb. 5.8: Flexibilitätsprofil für die mittel- bis langfristige Kapazitätsanpassung im Arbeitsgang Test- bzw. Abschlussmessung

Zum besseren Verständnis der Bilder soll hier noch darauf hingewiesen werden, dass die in den Tabellen 5.2 und 5.3 angegebenen relativen Zahlenwerte für die Erweiterungen bei den Betriebsmitteln sich auf die zu Anfang bestehende Basiskapazität beziehen, was einer

Nutzung im 2-Schicht-Betrieb entspricht. Dagegen gilt für die Massnahmen zur Ausdehnung der Nutzungsdauer der Anlagen durch den Wechsel des Schichtmodells oder durch das Rotationsmodell, dass die spezifizierten Werte Bezug auf die jeweils aktuell installierte Kapazität nehmen. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass der absolute Kapazitätsbeitrag durch eine Verlängerung der Nutzungsdauer natürlich auch von der Anzahl der verfügbaren Produktionsanlagen abhängig ist. Dies erklärt, warum die Kapazitätserhöhung durch den 3-Schicht-Betrieb bei Montageschritt 1 beispielsweise in Woche 34 sehr viel grösser ist als in Woche 16.

Ausserdem ist zu beachten, dass die Anpassungsmassnahmen Rotationsmodell und Wechsel in den 3-Schicht-Betrieb nicht gleichzeitig aktiv sein können, da ja bei einer dreischichtigen Produktionsweise keine Möglichkeit besteht, die Schichtdauer zu verlängern. Im Sinne einer maximalen Kapazitätsveränderung ist jedoch dem Wechsel des Schichtmodells aufgrund seines grösseren Kapazitätsbeitrages Priorität einzuräumen. Position und Höhe der Balken für das Rotationsmodell, das als Alternative zum 3-Schicht-Betrieb angesehen werden kann, sind dennoch als Strich-Punkt-Linien in die Diagramme eingetragen.

Auf die Einbeziehung der durchaus existierenden kurzfristig realisierbaren Anpassungsoptionen, die im vorliegenden Fallbeispiel ausnahmslos durch eine Verschiebung oder temporäre Verlängerung der Personaleinsatzzeit erreichbar sind, wird an dieser Stelle verzichtet. Der Grund dafür ist die schon erwähnte Tatsache, dass diese Massnahmen wegen ihrer stark begrenzten maximalen Nutzbarkeitsdauer keinen substanziellen Beitrag zum Produktionshochlauf leisten können.

Konfiguration und Bewertung von Strategien für den Produktionshochlauf

Auf der Grundlage der genannten Anpassungsmassnahmen lassen sich nun drei verschiedene Anpassungsstrategien entwickeln, die grundsätzlich geeignet erscheinen, den mittelfristig geforderten Kapazitätsbedarf zu decken. Sie unterscheiden sich vor allem in der Festlegung des Schichtmodells sowie in der Frage ob, ein Rotationsmodell zum Einsatz kommen soll oder nicht. Tabelle 5.4 gibt die Konfiguration der alternativen Anpassungswege wieder.

Nr.	Bezeichnung	Gewählte Anpassungsmassnahmen	
1	2-Schicht-Betrieb *ohne* Rotationsmodell	Montage-schritt 1	Installation von 4 weiteren Arbeitsstationen mit 4 zusätzlichen Mitarbeitern (Massnahmen 1, 4 und 5).
		Test- bzw. Abschluss-messung	Installation von zwei weiteren Arbeitsstationen mit 4 zusätzlichen Mitarbeitern (Massnahmen 1 und 4).
2	2-Schicht-Betrieb *mit* Rotationsmodell	Montage-schritt 1	Installation von 3 weiteren Arbeitsstationen mit 2 zusätzlichen Mitarbeitern und Einführung des Rotationsmodells mit einem zusätzlichen Mitarbeiter (Massnahmen 1, 2 und 4).
		Test- bzw. Abschluss-messung	Installation von zwei weiteren Arbeitsstationen mit 4 zusätzlichen Mitarbeitern sowie des Rotationsmodells mit einem zusätzlichen Mitarbeiter (Massnahmen 1, 2 und 4).
3	3-Schicht-Betrieb	Montage-schritt 1	Installation von 2 weiteren Arbeitsstationen und Einführung 3-Schicht-Betriebe mit insgesamt 5 zusätzlichen Mitarbeitern und einem Schichtführer (Massnahmen 1, 3 und 4 teilweise).
		Test- bzw. Abschluss-messung	Installation einer weiteren Arbeitsstation und 3-Schicht-Betrieb mit insgesamt 5 zusätzlichen Mitarbeitern (Massnahmen 1 und 3).

Tab. 5.4: Alternative Anpassungsstrategien für den Montageschritt 1 und die Test- bzw. Abschlussmessung

Die nachfolgende Abbildung 5.9 zeigt schliesslich die zeitliche Einplanung der Anpassungsmassnahmen für beide Engpass-Arbeitssysteme bei der Umsetzung der Anpassungsstrategie Nr. 2 sowie den Verlauf der dadurch erzielten maximal verfügbaren Kapazität. Auf gleichartige Darstellungen für die beiden anderen Anpassungskonfigurationen wird auch hier wegen des sonst zu gross und unübersichtlich werdenden Umfanges der Fallstudie verzichtet.

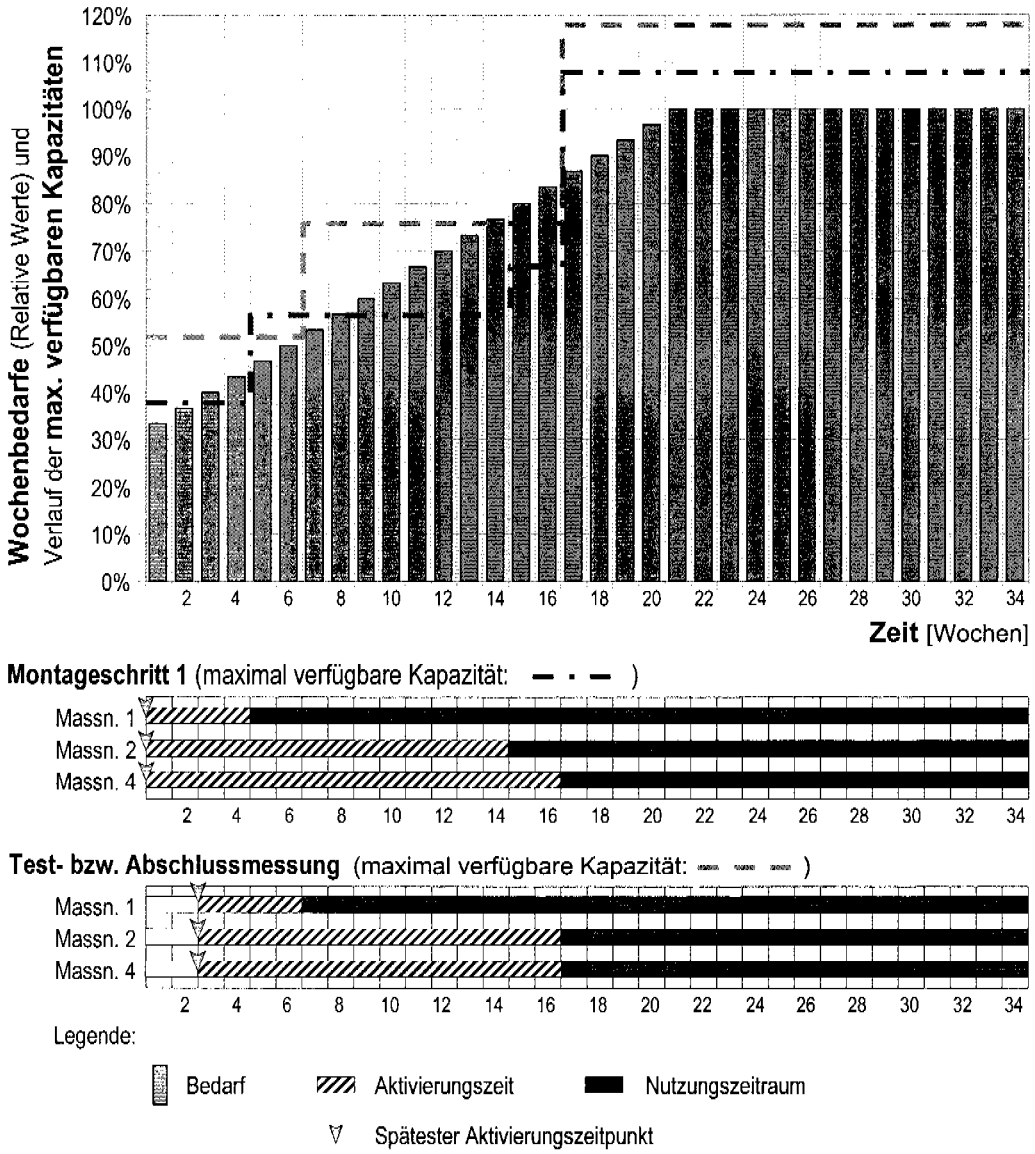


Abb. 5.9: Zeitliche Einplanung der Massnahmen und resultierender Verlauf der maximal verfügbaren Kapazität für die Anpassung im 2-Schicht-Betrieb mit Rotationsmodell

Die oben stehende Abbildung verdeutlicht einerseits, dass es möglich ist, mit der prognostizierten Bedarfsentwicklung Schritt zu halten. Gleichzeitig ist aber auch erkennbar, dass Zeitabschnitte mit einer Unterdeckung des Kapazitätsbedarfes nicht vermieden werden können. Verantwortlich dafür ist die zu Beginn geringe Basiskapazität in Montageschritt 1 sowie die benötigten Aktivierungszeiten für die Implementierung von Kapazitätserweiterungen an diesem Arbeitssystem. Auch durch den Einsatz einer der beiden anderen Anpassungskonfigurationen kann dieses Problem nicht umgangen werden. Tabelle 5.5 stellt die relevanten Bewertungsparameter für einen direkten Vergleich der möglichen Erweiterungsstrategien gegenüber. Zur Bestimmung der insgesamt anfallenden Anpassungskosten wurden die entsprechenden Aufwendungen für beide Arbeitssysteme zusammengefasst. Als weitere Bewertungskriterien werden die insgesamt zusätzlich benötigten Mitarbeiter, die Anzahl der Perioden im Planungszeitraum mit zu geringer Kapazität, die maximal mögliche Ausstossleistung in derselben Zeit (34 Wochen) sowie die schliesslich im Endzustand erreichbare durchschnittliche Auslastung herangezogen.

	2-Schicht-Betrieb *ohne* Rotationsmodell (Nr. 1)	**2-Schicht-Betrieb *mit* Rotationsmodell (Nr. 2)**	**3-Schicht-Betrieb (Nr. 3)**
Aktivierungskosten (Investitionen, Neueinstellungen)	CHF 1'460'000	CHF 1'160'000	CHF 790'000
Zusätzliche Personalkosten (laufend ab Woche 21)	CHF 21'840	CHF 21'840	CHF 30'520
Anzahl zusätzlich benötigter Mitarbeiter	8	8	10 + 1 Schichtführer
Anzahl der Perioden mit Kapazitätsunterdeckung	23	10	12
Max. mögl. Leistung im Planungszeitraum (kumuliert)	1'512 Stk	1'682 Stk	1'650 Stk
Auslastung im Endzustand (Zeitpunkt des Erreichens)	90% / 98% (Wo 33) (Montageschritt 1 / Testmessung)	92% / 84% (Wo 17) (Montageschritt 1 / Testmessung)	92% / 92% (Wo 19) (Montageschritt 1 / Testmessung)

Tab. 5.5: Bewertung der entwickelten Anpassungsstrategien für den Produktionshochlauf bei der Herstellung opto-elektronischer Module

Eine vergleichende Diskussion der Resultate erfolgt im nun folgenden Abschnitt. Dabei sollen neben den in Tabelle 5.5 genannten Daten auch die nach der Umsetzung der Anpassungsstrategien bestehenden Möglichkeiten zur kurzfristigen Kapazitätsveränderung in die Beurteilung einbezogen werden.

5.2.4 Diskussion der Bewertungsergebnisse und Handlungsempfehlung

Die zunächst grundsätzliche Erkenntnis aus dem Vergleich der drei entwickelten Anpassungsstrategien ist, dass der geforderte Produktionshochlauf in allen Fällen im Planungszeitraum realisiert werden kann. Allerdings gelingt es mit Hilfe von *Anpassungskonfiguration 1* erst in Woche 33, die geforderte mittelfristige Durchschnittskapazität zu erreichen, wobei die Auslastung des Arbeitssystems Test- bzw. Abschlussmessung auch danach noch sehr hoch wäre. Die Installation eines vierten Messarbeitsplatzes würde jedoch zu einer erheblichen Überkapazität führen, weshalb diese Option auch nicht in Betracht gezogen wurde. Auch ohne diese zusätzliche Erweiterung sind die Aktivierungskosten bei Anpassungsstrategie 1 am

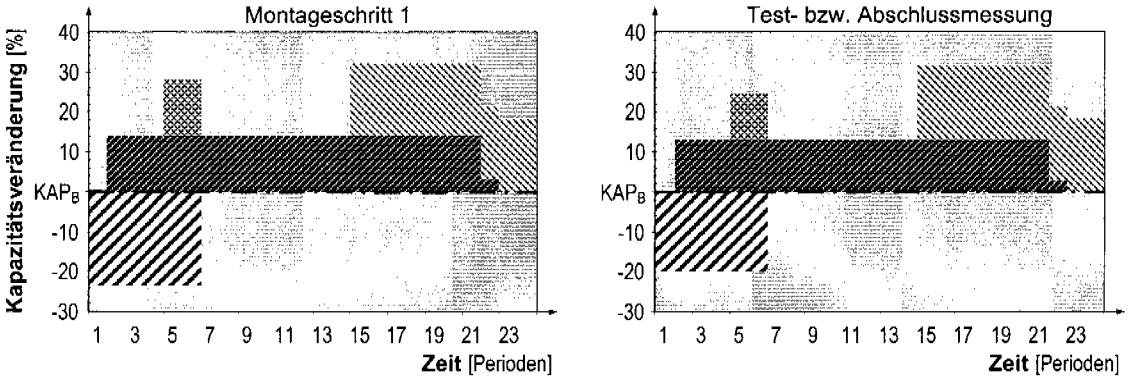
grössten, da in Montageschritt 1 vier zusätzliche, also insgesamt sechs Arbeitsstationen notwendig sind.

Durch die Nutzung des Rotationsmodells kann in *Lösungsvariante 2* auf die Einrichtung einer 6. Arbeitsstation verzichtet werden. Dies reduziert die notwendigen Investition gegenüber Anpassungsstrategie 1 um einen Betrag von CHF 300'000. Zugleich wird die Bereitstellung der geforderten Kapazität innerhalb von 17 Wochen ermöglicht, was auch anhand der vergleichsweise geringen Zahl an Perioden mit Kapazitätsunterdeckung deutlich wird. Die Anzahl der zusätzlich benötigten Mitarbeiter ist mit insgesamt acht gleich hoch wie in Anpassungskonfiguration 1. Unter Umständen erscheint es sogar denkbar, dass auf die Umsetzung des Rotationsmodells beim Arbeitssystem Test- bzw. Abschlussmessung zunächst verzichtet werden kann. Dies würde den Bedarf an zusätzlichem Personal um einen Mitarbeiter auf sieben reduzieren.

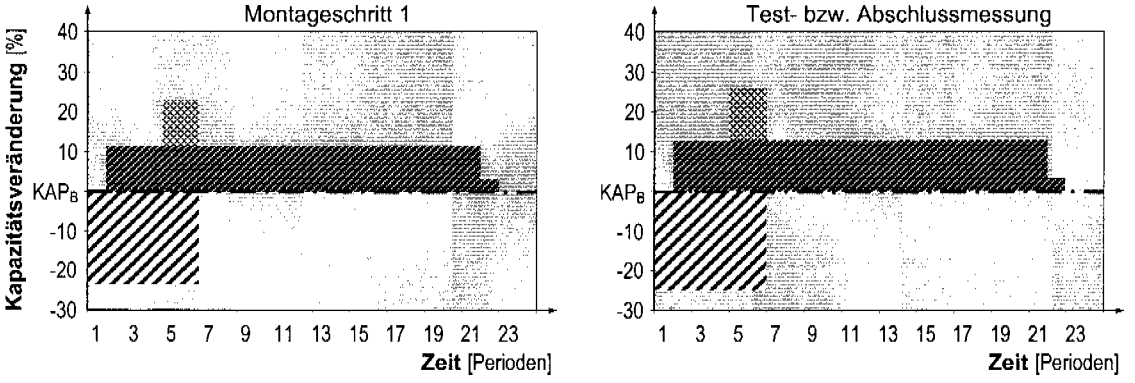
Im Gegensatz dazu ist die insgesamt erforderliche Mitarbeiterzahl in *Lösungskonzept 3* am grössten. Mit insgesamt zehn zusätzlichen Produktionsmitarbeitern und einem Schichtführer liegen die laufenden Zusatzkosten um mehr als CHF 8'000 über den entsprechenden Werten der beiden anderen Anpassungskonfigurationen. Der durchaus deutliche Vorteil bei den Aktivierungskosten für Investitionen und Personalbeschaffung muss deshalb relativiert werden. Im Hinblick auf die erzielten Ergebnisse bei der Auslastung, den Zeitpunkt des Erreichens der Maximalkapazität sowie auf die Anzahl der Perioden im Überlastzustand besteht eine weitgehende Übereinstimmung mit Lösungsalternative 2.

Zusammenfassend läst sich feststellen, dass *Anpassungsstrategie 2* auf der Basis der zum Untersuchungszeitpunkt bestehenden Sachlage eindeutig als die am besten geeignete Lösung empfohlen werden kann. Dies gilt um so mehr, wenn in Betracht gezogen wird, dass sich der scheinbare Kostenvorteil, der wegen der geringeren Investitionsaufwendungen im untersuchten Planungszeitraum auf der Seite von Anpassungskonfiguration 3 liegt, im weiteren Zeitverlauf zugunsten der empfohlenen Lösungsvariante umkehren wird. Gegen Anpassungsstrategie 1 spricht neben den höchsten Investitionskosten vor allem die im Vergleich zu Lösung 2 lange Dauer, die benötigt wird, um den Produktionshochlauf zu realisieren sowie die im Endzustand noch immer knappe Kapazität in der Test- bzw. Abschlussmessung.

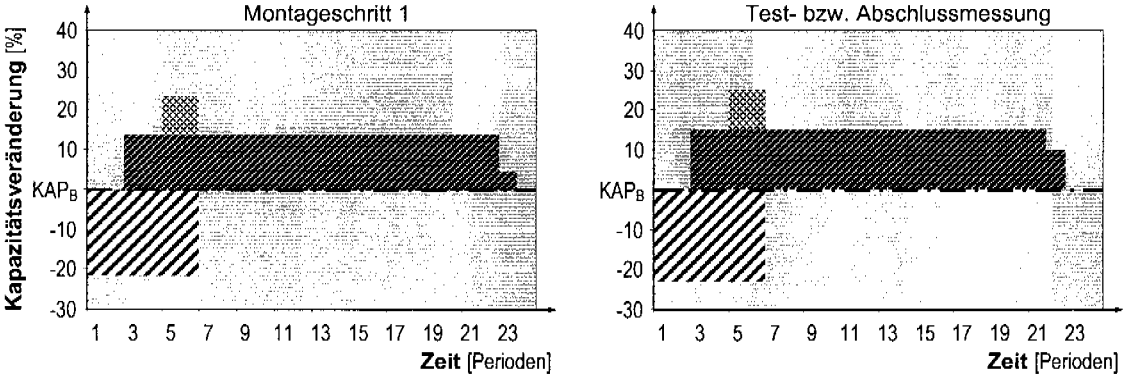
Obwohl der folgende Aspekt nicht unmittelbar zu den in Kapitel 4.3.2 vorgeschlagenen Bewertungskriterien zählt, soll zum Abschluss noch ergänzend diskutiert werden, welche kurzfristige Kapazitätsflexibilität jeweils im Anschluss an eine Realisierung der drei oben genannten Anpassungsstrategien zur Verfügung stehen würde. Als kurzfristig aktivierbare Massnahmen kommen bei FISBA ausschliesslich Möglichkeiten zur Verschiebung oder temporären Erweiterung bzw. Verkürzung der Einsatzzeit bei Personal und Betriebsmitteln in Frage (siehe Abbildung 5.10). Konkret handelt es sich dabei um die Verlängerung von Schichten oder die Durchführung von Zusatzschichten an Wochenenden sowie um Freischichten zum Kapazitätsabbau. Die Erhöhung der Schichtdauer kann mit einer Vorlaufzeit von mindestens drei Betriebskalendertagen relativ kurzfristig realisiert werden. Dagegen muss die Ankündigung zusätzlicher Schichten an Wochenenden mindestens eine Arbeitswoche zuvor erfolgen, bei Sonntagsschichten sind sogar zwei Wochen notwendig.



a): Anpassungsstrategie 1 (Basiskapazitäten bezogen auf den erwarteten Durchschnittsbedarf – Montageschritt 1: 112 %, Test- / Abschlussmessung: 102 %)



b): Anpassungsstrategie 2 (Basiskapazitäten bezogen auf den erwarteten Durchschnittsbedarf – Montageschritt 1: 108 %, Test- / Abschlussmessung: 118 %)



c): Anpassungsstrategie 3 (Basiskapazitäten bezogen auf den erwarteten Durchschnittsbedarf – Montageschritt 1: 108 %, Test- / Abschlussmessung: 108 %)

Legende

- Freischichten (2 bzw. im 3-Schicht-Betrieb 3 pro Woche)
- Schichtverlängerung oder Samstag-Kurzschichten (2 bzw. 3 im 3-Schicht-Betr. pro Woche)
- Sonntag-Kurzschichten (2 pro Woche)
- Rotationsmodell (nur in Anpassungsstrategie 1 möglich)

Abb. 5.10: Flexibilitätsprofile für die kurzfristige Kapazitätsanpassung nach Umsetzung der in Tabelle 5.4 beschriebenen Anpassungsstrategien 1 bis 3 (*Hinweis:* Die Werte für die Kapazitätsänderung sind jeweils auf den erwarteten Durchschnittsbedarf bezogen.)

Zu beachten ist bei den oben genannten Massnahmen, dass gemäss betrieblicher Vereinbarungen jeder Mitarbeiter insgesamt nur 5 Überstunden pro Woche leisten darf. Dies bedeutet, dass bei voller Ausnutzung der Schichtdauern von Montag bis Freitag an den Wochenenden nur Kurz-Schichten eingeplant werden können (siehe Abbildung 5.10). Die Beschränkung der wöchentlichen Mehrarbeit bedeutet auch, dass die Sonntag-Kurzschichten, deren maximale Nutzbarkeitsdauer ohnehin auf zwei aufeinander folgende Wochen limitiert ist, nicht vom Stammpersonal der betroffenen Arbeitssysteme ausgeführt werden kann. Der Grund dafür ist die plausible Annahme, dass diese Mitarbeiter in der selben Arbeitswoche bereits Überstunden oder die Samstag-Kurzschicht geleistet haben. Insgesamt folgt aus dieser Betrachtung, dass sich der Kapazitätsbeitrag durch längere Schichtdauern oder Samstag-Kurzschichten bezogen auf eine Woche nicht unterscheidet. Aus diesem Grund wurden beide Massnahmen in den Diagrammen in Abbildung 5.10 zusammengefasst, wobei im Fall von Anpassungsstrategie 3 aufgrund des dreischichtigen Arbeitszeitmodells natürlich keine Schichtverlängerungen möglich sind. Die maximal mögliche Nutzbarkeit der genannten Massnahmen wird, abgesehen von den Sonntags-Kurzschichten, durch Ober- und Untergrenzen von Arbeitszeitkonten festgelegt. Bei FISBA OPTIK besteht die Regelung, dass maximal 100 Über- und 50 Minusstunden pro Mitarbeiter noch als zulässig gelten.

Auf die Erläuterung weiterer Details sowie auf die Betrachtung von Kostendaten soll an dieser Stelle verzichtet werden. Vielmehr zeigt der direkte Vergleich zwischen den gefundenen Lösungskonzepten für den Produktionshochlauf, dass im Hinblick auf die kurzfristig einsetzbaren Reaktionsmöglichkeiten nur relativ geringe Unterschiede auszumachen sind. Lediglich bei Anpassungsstrategie 1 existiert natürlich die Option, durch eine gegebenenfalls auch temporäre Einführung des Rotationsmodells, einen deutlichen Kapazitätszuwachs zu erzielen. Dennoch lässt sich hieraus nicht ableiten, dass die oben ausgesprochene Empfehlung für die Umsetzung von Anpassungsstrategie 2 grundsätzlich in Frage gestellt werden muss.

Für diese favorisierte Anpassungslösung soll abschliessend noch das resultierende Flexibilitätsprofil zur Darstellung der maximal möglichen Ausstosserhöhung des Gesamtsystems im kurzfristigen Bereich wiedergegeben werden. Dazu wurden zunächst die Durchlaufzeiten an den einzelnen Arbeitsgängen (siehe Abbildung 5.5) grob abgeschätzt. Weiterhin wurde die Modul-Montage zur Vereinfachung der Betrachtung in zwei Abschnitte aufgeteilt, wobei angenommen wird, dass die Kapazität des ersten durch den Montageschritt 1 sowie die des zweiten durch diejenige der Abschlusstestmessung bestimmt wird. Einschliesslich der Liegezeit im Pufferlager nach Montageschritt 1 und erster Testmessung liegt die Durchlaufzeit im ersten Fertigungsabschnitt bei etwa einer Arbeitswoche. Im zweiten Abschnitt, der die Montageschritte 2 bis 5 und den relativ aufwendige Arbeitsschritt der Abschlussmessung umfasst, ist sie vermutlich etwas kürzer. Allerdings wurde zur Bestimmung des Verlaufs des resultierenden Flexibilitätsprofils ebenfalls eine Woche als Durchlaufzeit angenommen.

Darüber hinaus ist es im vorliegenden Fall wesentlich, die unterschiedlichen Basiskapazitäten zu beachten, die als Ergebnis der Implementierung von Anpassungsstrategie 2 zu erwarten sind. Gemeinsam mit den beiden in Abbildung 5.10b) gezeigten Einzelprofilen sowie den abgeschätzten Durchlaufzeiten für die Montageabschnitte ergibt sich schliesslich der in Abbildung 5.11 gezeigte Verlauf der maximal möglichen Erhöhung des Produktausstosses im kurzfristigen Planungsbereich. Zugleich wird anhand des Bildes erkennbar, dass die voraussichtlich bestehende Kapazitätsflexibilität der Test- bzw. Abschlussmessung wegen der schon vergleichsweise hohen Basiskapazität kaum genutzt werden kann.

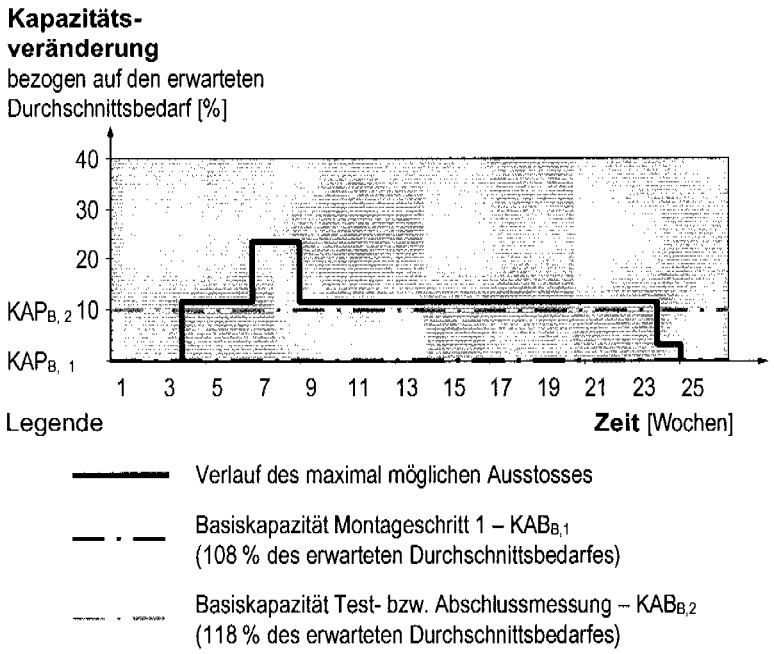


Abb. 5.11: Resultierendes Flexibilitätsprofil für die maximal mögliche Erhöhung des Produktausstosses in der Montage opto-elektronischer Module im kurzfristigen Bereich nach Umsetzung von Anpassungsstrategie 2

Ob die hier ermittelten Reaktionsmöglichkeiten auf kurzfristig eintretende Bedarfsschwankungen tatsächlich ausreichen werden, konnte während der Durchführung und Ausarbeitung der Fallstudie nicht beurteilt werden, da noch keinerlei Informationen zu künftigen Bedarfsunsicherheiten vorlagen. Sollten die vorhandenen Mittel nicht ausreichen, könnte eine Anhebung der Obergrenze für die Überstundenzahl pro Woche die Fähigkeit zur kurzfristigen Ausstosserhöhung spürbar verbessern. Darüber hinaus scheint es denkbar, Bedarfsschwankung durch die Nutzung des schon bestehenden Zwischenpuffers auszugleichen. Auch die gezielte Ausbildung von Mitarbeitern (mehr als mindestens nötig) an den als Engpass geltenden Arbeitssystemen ist eine geeignete Lösung, da so sichergestellt werden kann, dass Ausfallzeiten wegen Urlaub oder Krankheit usw. gering bleiben und ausreichend Personal für Wochenend-Zusatzschichten verfügbar ist.

6 Schlussbetrachtung

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit werden Lösungen bereitgestellt, um verschiedene Möglichkeiten zur Veränderung der Kapazität in der industriellen Produktion transparent darstellen und Anpassungsstrategien planen und bewerten zu können. Ziel der entwickelten Hilfsmittel ist es, durch den zielgerichteten, effizienten Einsatz von Anpassungsmassnahmen eine möglichst konstante Auslastung von Arbeits- bzw. Produktionssystemen sicherzustellen. Die Konstanz der Ressourcenauslastung ist eine Voraussetzung für das Erreichen in etwa gleichbleibender Durchlaufzeiten und damit eine wesentliche Einflussgrösse bei der Realisierung einer hohen Liefertreue. Aus diesem Blickwinkel leistet die Arbeit einen Beitrag zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Produktionsbetrieben.

Als dazu notwendige Grundlage wurde zunächst ein Modellierungsansatz geschaffen, mit dessen Hilfe Schwankungen des Kapazitätsbedarfes sowie Massanahmen zur Kapazitätsveränderung in einer miteinander vergleichbaren Weise beschrieben werden können. Dabei wurde erkannt, dass nicht ausschliesslich die Höhe einer Schwankung bzw. die des Kapazitätsbeitrages einer Anpassung von Belang sind, sondern auch zeitliche Randbedingungen und Kostenaspekte eine massgebliche Rolle spielen. Konkret handelt es sich dabei um Fristen, die einerseits zwischen dem Erkennen von Bedarfsschwankungen und deren Eintritt vergehen sowie andererseits um diejenigen, die zur Aktivierung von Anpassungsmassnahmen notwendig sind. Weiterhin sind die Zeitdauern relevant, die Schwankungen bestehen bzw. Anpassungen aufrecht erhalten werden müssen oder können. Zudem sind die im Zusammenhang mit einer mehr oder weniger bedarfsgerechten Kapazitätsanpassung anfallenden Zusatzkosten einzubeziehen. Schliesslich formt sich daraus ein mehrdimensionales Gesamtbild zur Flexibilität der Produktionskapazität, das von wichtiger Bedeutung für deren Planung und zweckmässigen Einsatz ist.

Hier liegt gleichzeitig ein wesentlicher Unterschied zu den heute verfügbaren Instrumenten zur Produktionsplanung und der damit verbundenen Handlungsweise in Produktionsbetrieben. Da in der Regel eine im Hinblick auf die zeitlichen Randbedingungen differenzierte Betrachtungsweise der bereitstehenden Massnahmen ausbleibt, erfolgt zumeist eine überwiegend intuitive Auswahl und Einplanung von Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung. Ein zielgerichteter und effizienter Einsatz von Anpassungsmassnahmen ist so natürlich nur schwer sicherzustellen.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten Methoden und Lösungskonzepte lassen sich in zwei Teile gliedern, die jedoch eng miteinander verbunden sind. Durch die als erstes vorgeschlagene Darstellung von Flexibilitätsprofilen besteht eine einfache Möglichkeit, die schnellstmögliche und maximale Veränderungsfähigkeit eines Produktionssystems transparent zu machen. Dazu werden die Informationen zum Kapazitätsbeitrag einer Massnahme mit denjenigen zur benötigten Aktivierungszeit sowie zur maximal möglichen Nutzungsdauer graphisch miteinander verknüpft. Die zunächst für die Analyse der Kapazitätsflexibilität

einzelner Arbeitssysteme entwickelte Darstellungsart veranschaulicht zugleich, wie die vorhandenen Anpassungsmöglichkeiten zusammenwirken können. Damit soll insbesondere die Beantwortung der Frage unterstützt werden, ob ein Arbeitssystem in der Lage ist, die künftig erwarteten Schwankungen des Kapazitätsbedarfes abzudecken. Dieser Sachverhalt steht auch bei der Erweiterung auf die Abschätzung resultierender Flexibilitätsprofile bzw. Hüllkurven für den möglichen Produktausstoss verketteter Arbeitssysteme im Mittelpunkt. Hierbei wird zudem der Tatsache Rechnung getragen, dass die Durchführung einer Kapazitätserhöhung an einem Arbeitssystem erst dann sinnvoll ist, wenn die dafür zusätzlich benötigte Menge an Material vom Vorgänger-Arbeitssystem bereitgestellt wurde. Insbesondere im kurzfristigen Planungshorizont erhält so die Durchlaufzeit entscheidenden Einfluss auf die Veränderungsfähigkeit eines Gesamtsystems. Ein entsprechend erzieltes Ergebnis ist nicht nur für die Planung der Produktion in einem Betrieb interessant, sondern unter Umständen auch als Information für potenzielle Abnehmer wertvoll.

Als zweiter Lösungsteil wird ein Verfahren zur Planung von Strategien zur Kapazitätsanpassung entworfen. Neben einer Empfehlung für einen groben Prozessablauf gehört dazu vor allem ein detailliertes Planungskonzept zur Konfiguration und Bewertung von Anpassungslösungen. Zudem werden verschiedene Hinweise als Hilfestellung bei der Ermittlung relevanter Schwankungen des Kapazitätsbedarfes sowie zur Bestimmung von Kapazitätsbedarfsniveaus gegeben. Mit Hilfe der abschliessenden Fallstudien konnte gezeigt werden, dass ein mögliches Anwendungsspektrum über die Unterstützung des Kapazitätsabgleichs in der mittelfristigen Produktionsplanung hinaus auch zur Konzeption von Kapazitätshochläufen eingesetzt werden kann. Nicht zuletzt wurde durch die Fallstudien offensichtlich, dass bereits ein nicht zu unterschätzender praktischer Nutzwert allein durch die strukturierte Erfassung der beschreibenden Parameter zu den verfügbaren Anpassungsmöglichkeiten erzielt werden kann.

6.2 Ausblick

Obwohl eine grundsätzliche Tauglichkeit des erarbeiteten Lösungskonzeptes im Rahmen der Fallstudien nachgewiesen werden konnte, bleibt festzustellen, dass das vollständige Nutzenpotenzial der vorgeschlagenen Ansätze und Methoden letztlich nur durch die Umsetzung in robuste und anwenderfreundliche Softwarewerkzeuge erschlossen werden kann. Dazu sind im Prinzip zwei verschiedene Wege denkbar, die aus heutiger Sicht gleichermassen vielversprechend erscheinen. Dies ist zum einen die Entwicklung einer eigenständigen Softwarelösung, die in der betrieblichen Praxis unter anderem für generelle Analysen von Anpassungsstrategien beispielsweise für regelmässig wiederkehrende Bedarfsmuster oder, wie in Fallstudie 2, zur Planung von Produktionsanläufen eingesetzt werden kann. Im Rahmen der Anfertigung der vorliegenden Dissertation wurde in Zusammenarbeit mit einem Softwareunternehmen, der *flexis AG* in Stuttgart (Deutschland), ein entsprechender Prototyp entwickelt. Dieser verfügt über die wesentlichen Funktionen zur Erfassung von Anpassungsmassnahmen, zur Darstellung von Flexibilitätsprofilen für einzelne Arbeitssysteme sowie über die Möglichkeit zur interaktiven Anpassungsplanung. Auf weitergehende Details muss hier jedoch verzichtet werden.

Ein wesentlicher Vorteil eines solchen unabhängigen Werkzeuges ist sicherlich die relativ einfache und schnelle Umsetzbarkeit. Nachteilig ist dagegen die fehlende Anbindung an in der

Praxis üblicherweise bestehende Planungs- und Steuerungsinstrumente. Die Versorgung der Software zur Planung der Kapazitätsanpassung mit Bedarfsdaten sowie die Rückübertragung der Planungsergebnisse und damit auch die unmittelbare Einbindung in die zumeist täglich ablaufenden Produktionsplanungsprozesse wird dadurch deutlich erschwert. Zwar könnten hierfür geeignete Schnittstellen geschaffen werden – der zur Realisierung benötigte Aufwand würde jedoch vermutlich deutlich zunehmen.

Als zweiter Weg ist deshalb durchaus auch vorstellbar, die vorgeschlagene Methode zur Erfassung von Anpassungsmassnahmen sowie das darauf aufbauende Planungsvorgehen zur Kapazitätsanpassung in Softwaresysteme zur Produktionsplanung und -steuerung zu integrieren. Softwareanbieter sind ausdrücklich eingeladen, Möglichkeiten zur Ergänzung der eigenen Produkte um die hier erarbeiteten Ansätze zu prüfen und gegebenenfalls umzusetzen. Unabhängig vom einzuschlagenden Weg zur softwaretechnischen Realisierung sind im Anhang dieser Arbeit die wichtigsten Funktionen und Abläufe grob spezifiziert.

Im Sinne einer Weiterentwicklung des bestehenden Lösungskonzepts im Zusammenhang mit einer informationstechnischen Unterstützung scheint die Implementierung einer automatisierten Anpassungsplanung durch einen Optimierungsalgorithmus eine naheliegende Erweiterung zu sein. Machbar wäre dies beispielsweise durch die Festlegung der Auslastung und des Liefertreuegrades als Randbedingungen sowie durch die Formulierung einer Zielfunktion für die Flexibilitätskosten (Kosten für die Anpassung und Anpassungsmängel, vgl. Kapitel 4.3.2), die es zu minimieren gilt. Allerdings haben die in den Fallstudien gesammelten Erfahrungen gezeigt, dass Praktiker eher daran interessiert sind, eigene Anpassungslösungen zu konfigurieren und die schnell bewerten zu können.

Unter Umständen aussichtsreicher ist es deshalb, die bereits in Kapitel 3.3.2 erwähnte Möglichkeit weiterzuverfolgen, die Idee der Abschätzung resultierender Flexibilitätsprofile für verkettete Arbeitssysteme auf betriebsübergreifende Lieferketten zu übertragen. Hierzu ist eine geeignete Vergröberung der Betrachtung notwendig, so dass anstatt einzelner Arbeitssysteme ganze Produktionsbereiche oder sogar Stufen einer Supply Chain als Einheit untersucht werden können. Eine wesentliche Schwierigkeit ist dabei vermutlich die korrekte Bestimmung von einzelnen Schritten der Kapazitätsveränderung entsprechend des hier zugrunde gelegten Modellierungsansatzes. Gelingt dies jedoch, können auf relativ einfache und schnelle Weise Informationen zur geschätzten Kapazitätsflexibilität ganzer Lieferketten gewonnen werden.

Anhang

A.1 Grobspezifikation eines Softwarewerkzeuges zur Planung und Bewertung der Kapazitätsanpassung

Anknüpfend an den in der Schlussbetrachtung gewährten Ausblick auf eine mögliche Unterstützung des Konzepts zur Anpassungsplanung für die Produktionskapazität sollen im folgenden wesentliche Elemente und Funktionen einer Softwarelösung im Sinne eines *Lastenheftes* spezifiziert werden.[1] Ergänzt wird dies durch einige Hinweise und konkrete Vorschläge zur Darstellung von Benutzeroberflächen und Planungsergebnissen, die auf Erfahrungen aus der Entwicklung eines Softwareprototypen in Zusammenarbeit mit der flexis AG (www.flexis.de) beruhen.

A.1.1 Zielbestimmung

Hohe Unsicherheiten beim Kundenbedarf, die unter anderem zu ausgeprägten Schwankungen des Kapazitätsbedarfes führen, verbunden mit der Anforderung immer kürzere Lieferzeiten zu realisieren, zwingen produzierende Betriebe in wachsendem Masse zur einer bedarfsgerechten, temporären Anpassung ihrer Produktionskapazitäten. Das hier beschriebene Softwarewerkzeug soll Produktionsbetriebe dabei unterstützen, die zur Verfügung stehenden Mittel und Massnahmen zur Kapazitätsanpassung zielgerichtet und betriebswirtschaftlich effizient einzusetzen. Als Ergebnis der Anpassungsplanung soll feststehen, in welchen Zeiträumen eine Kapazitätsanpassung notwendig ist, um ein bestimmtes Szenario des Kapazitätsbedarfes zu erfüllen und welche Massnahmen bzw. Massnahmenkombinationen dazu sinnvoll einzusetzen sind.

A.1.2 Mögliche Einsatzbereiche

Die Aufgabe, die verfügbaren Produktionskapazitäten an Bedarfsmengen anzupassen, ergibt sich in vielen Betrieben im Rahmen des Kapazitätsabgleichs, der Teil des MRPII-Konzeptes ist. Dabei steigt die Komplexität erheblich, wenn der Kapazitätsbedarf aufgrund verschiedener Ursachen erheblichen und unregelmässigen Veränderungen unterworfen ist sowie gleichzeitig eine Anzahl unterschiedlicher Einzelmassnahmen zur Kapazitätsveränderung zur Verfügung stehen. Entsprechend steigt der Nutzwert eines Werkzeuges zur Anpassungsplanung mit der Vielfalt der Arten der zu beherrschenden Bedarfsschwankungen und der Anzahl der Optionen, die zur Kapazitätsveränderung eingesetzt werden können. Solche Rahmenbedingungen sind insbesondere in der industriellen Serienfertigung komplexer Industriegüter, beispielsweise der Automobil- und Automobilzulieferindustrie oder in der Elektro- und Elektronikindustrie, anzutreffen. Die Veränderungen der Kapazitätsbedarfe werden dort häufig nicht nur durch

[1] Siehe Balzert H., Software-Technik, 2000, S. 62 f. zu Inhalten und Struktur eines Lastenheftes.

verschiedene Schwankungszyklen der Bedarfsmengen insgesamt, sondern auch durch Verschiebungen beim nachgefragten Produkt- und Variantenspektrum sowie durch die Einführung bzw. durch den Auslauf neuer Produkte verursacht. Auf der anderen Seite stehen insbesondere durch flexible Arbeitszeitregelungen, Schichtmodelle sowie durch den Einsatz von Teilzeit- oder Fremdarbeitskräften usw. in der Regel zahlreiche Möglichkeiten zur Kapazitätsveränderung bereit.

Da künftige Bedarfszahlen für die vom betrachteten Produktionssystem verarbeiteten Produkte und Produktvarianten eine wesentliche Eingangsinformation bei der Durchführung der Anpassungsplanung ist, ist deren mehr oder weniger genaue Kenntnis eine Voraussetzung. In der betrieblichen Praxis ist dies jedoch häufig nur im kurz- bis mittelfristigen Bereich realistisch. Aus diesem Grund ist der zeitliche Anwendungsbereich eines Softwarewerkzeuges zur Anpassungsplanung in der Regel, aber nicht zwangsläufig, ebenfalls auf die kurz- und mittelfristige Planungshorizont beschränkt.

Grundsätzlich denkbar ist es auch, die Anwendung des hier spezifizierten Planungswerkzeuges auf die hochvolumigen (diskontinuierlichen) Linienproduktion beispielsweise in der Lebensmittelindustrie oder auf die Herstellung von Spezialchemikalien in sogenannten Mehrzweckbetrieben[1] auszudehnen. Voraussetzung ist, dass auch hier im Rahmen der Produktionsplanung verschiedene Alternativen zur Anpassung der Produktionskapazität in Frage kommen. Dem gegenüber erscheint das in dieser Arbeit vorgeschlagene Konzept und damit auch eine mögliche Softwarelösung für den Bereich der kontinuierlichen Produktion zum Beispiel in der chemischen Industrie kaum nützlich, da hier üblicherweise keine bzw. nur sehr wenige Möglichkeiten zur kurz- und mittelfristigen Skalierung des Produktausstosses existieren.

Unabhängig von Branche und Länge des Planungszeitraumes sind Produktionsleiter oder andere für die Produktionsplanung und -abwicklung verantwortliche Mitarbeiter in einem Produktionsbetrieb als potenzielle Anwender der Software vorgesehen.

A.1.3 Übersicht und Umgebung

Die wesentlichen Eingangsinformationen zur Durchführung der Anpassungsplanung sind, wie oben schon angemerkt, die künftig erwartete Bedarfsdaten zu allen Produkten, die vom betrachteten Produktions- bzw. Arbeitssystem bearbeitet werden. Grundsätzlich müssen diese vom Anwender per Hand eingegeben und gegebenenfalls auch geändert werden können. Bei einer grösseren Zahl von Produkten und / oder längeren Planungsdauern kann der dazu nötige Aufwand allerdings beträchtlich sein. Ausserdem besteht die Gefahr, dass bei einer manuellen Eingabe einer grösseren Anzahl an Zahlenwerten Fehler unterlaufen können.

---

[1] Ein Mehrzweckbetrieb ist ein System von Produktionsanlagen (z.B. Reaktoren, Kristallisationsapparate, Destillationskolonnen oder Trockner), die über ein konfigurierbares Rohrleitungsnetz miteinander verbunden werden können. Dies erlaubt eine nahezu beliebige Kombination von Teilanlagen und Apparaten, so dass die Herstellung eines breiten Produktspektrums möglich wird. Allerdings sind die Apparategrössen und damit auch die produzierbaren Produktmengen zumeist klein im Vergleich zu grossen Produktionsanlagen, die nur zur Herstellung eines Produktes (Mono- oder Einproduktbetriebe) werden.

Entsprechend erscheint es sinnvoll, Bedarfsdaten auch über eine Datenschnittstelle zu einer Datenquelle (zum Beispiel ein bestehendes PPS-System) einlesen zu können. Alternativ dazu ist es auch denkbar, anstelle einer Software-Schnittstelle auf ein einfaches Datenformat zurückzugreifen, das sich zum Export der Daten aus der Datenquelle und zum Import in das Werkzeug zur Anpassungsplanung eignet. Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von *CSV-Dateien* (Character Separated Values oder Comma Separated Values). Bei diesen einfachen Textdateien können die einzelnen Werte strukturierter Datensätze aus Tabellen oder Listen durch Trennzeichen (Komma, Semikolon etc.) getrennt dargestellt und gespeichert werden.

Neben den Bedarfsdaten ist die Eingabe weiterer Informationen zum Produktionssystem, den verfügbaren Anpassungsmassnahmen sowie zu den verarbeiteten Produkten notwendig. Diese müssen einmalig zu Beginn der Anpassungsplanung bestimmt und manuell eingegeben werden. Abbildung A.1 zeigt als Übersicht, welche Informationsarten als Input benötigt und welche Output-Informationen vom Softwarewerkzeug als Ergebnis geliefert werden sollen.

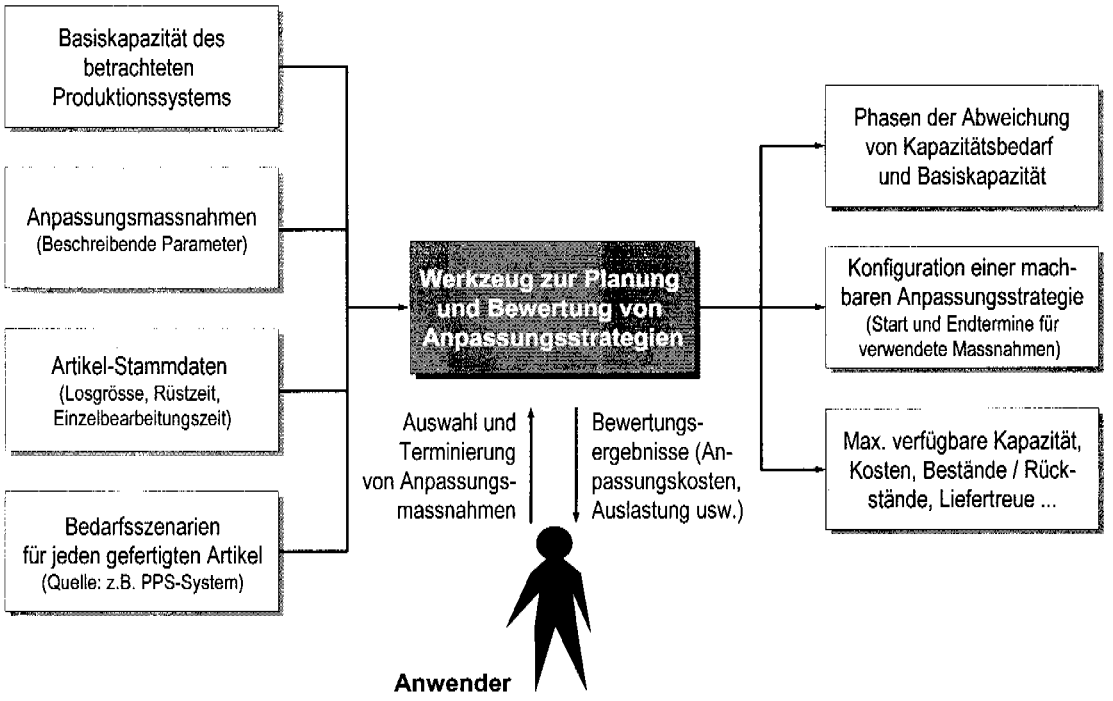


Abb. A.1: Übersicht zu Input- und Output-Informationen des Softwarewerkzeuges

Die Konfiguration, das heisst Auswahl und Terminierung von Anpassungsmassnahmen, erfolgt durch den Anwender. Auf der Basis von Zwischenergebnissen für die Bewertungsgrössen Anpassungskosten, Rückstand, Auslastung usw. kann die Anpassungslösung durch den Anwender iterativ verbessert werden. Als Ergebnisse werden zunächst die Zeitabschnitte identifiziert, in denen der Kapazitätsbedarf von der bereitstehenden Basiskapazität erheblich abweicht. Weiterhin steht als Resultat fest, welche Anpassungen in welchen Zeiträumen benötigt werden, wann die entsprechenden Massnahmen zu aktivieren sind und welche maximal verfügbare Kapazität damit insgesamt erzielt wird. Ergänzt wird dies durch die Informationen zu Kosten (Anpassung, Rückstände bzw. Lieferausfälle wegen fehlender Kapazität) sowie zu Liefertreue und Auslastung.

Im Hinblick auf die Verwertung der Planungsergebnisse kann es bei einer regelmässigen Anwendung des Werkzeugs sinnvoll sein, verschiedene Ergebnisse der Anpassungsplanung an ein übergeordnetes Planungssystem zurückzugeben. Dies gilt insbesondere für den effektiven Verlauf der Kapazität, so dass beispielsweise Liefertermine und Produktionspläne bestätigt werden können sowie Start- und Endtermine von Anpassungsmassnahmen einschliesslich der verursachten Anpassungskosten. Letztere werden gegebenenfalls für die Nachkalkulation von Aufträgen benötigt. Für diesen Datentransfer sind entsprechende Schnittstellen zum einem PPS- oder ERP-System vorzusehen.

A.1.4 Funktionen

Bevor in diesem Abschnitt die wichtigsten Funktionen des Software erläutert werden, soll zunächst eine grobe Beschreibung des Arbeitsablaufes beim Einsatz des Werkzeuges erfolgen. Abbildung A.2 zeigt dazu die wesentlichen Teilschritte, die jeweils mit kurzen Erklärungen versehen sind.

In diesem ersten Arbeitsschritt werden eine oder mehrere Ressourcen (Produktionssysteme mit nachgeordnetem Pufferlager) angelegt bzw. geändert, für die eine Anpassungsplanung durchgeführt werden soll.

Für jede Ressource müssen Massnahmen zur Kapazitätsveränderung spezifiziert werden. Einzelne Massnahmen (z.B. Arbeitszeitmodelle) können auch für mehr als nur eine Ressource gelten.

Szenarien für Bedarfsdaten werden zunächst unabhängig von einer verarbeitenden Ressource eingegeben bzw. eingelesen. Die Angabe erfolgt hier in jedem Fall in Mengeneinheiten pro Periode.

Angabe von artikelspezifischen Daten, die zur Berechnung der tatsächlichen Belastung von Produktionsressourcen sowie zur Kostenermittlung bei der Bewertung von Anpassungsstrategien benötigt werden.

Funktion zur Berechnung des Kapazitätsbedarfes für eine Produktionsressource aus Bedarfsszenarien eines oder mehrerer Artikel.

Erstellung einer Anpassungsstrategie für eine Produktionsressource und ein Szenario des Kapazitätsbedarfes durch die Auswahl und Terminierung von Anpassungsmassnahmen.

Funktion zur Bewertung der zuvor konfigurierten Anpassungsstrategien durch die Bestimmung des Verlaufes der maximal verfügbaren Kapazität, der Auslastung und Liefertreue sowie der Flexibilitätskosten.

Abb. A.2: Arbeitsablauf bei der Anwendung des Software-Werkzeuges zur Planung und Bewertung von Anpassungsstrategien

Die beiden in der oben stehenden Abbildung dunkel unterlegten Teilschritte des Arbeitsablaufes sollen nun noch weitergehend betrachtet werden, da es sich dabei um wesentliche, Resultate erzeugende Funktionen handelt, die von der Software übernommen werden.

Bestimmung des Kapazitätsbedarfes für eine Ressource (Funktion)

In Abbildung A.3 ist die Funktion „Bestimmung des Kapazitätsbedarfes für eine Ressource" mit den zugehörigen Input- und Outputdaten dargestellt. Inhalt der Programmfunktion ist die Berechnung des tatsächlichen Kapazitätsbedarfes für eine Ressource in einem festgelegten Planungszeitraum. Wie in Kapitel 4.2.2 erläutert, folgt dieser *nicht* unmittelbar aus der einfachen Aufsummierung der Bedarfsmengen aller im gleichen Zeitraum von einem Produktionssystem verarbeiteten Produkte. Vielmehr sind die jeweiligen Werte für die *spezifische Auftragszeit* pro Mengeneinheit eines Produktes bzw. einer Produktvariante zu beachten, die sich gemäss Gleichung 4-1 aus der Einzelbearbeitungszeit sowie der Rüstzeit und Losgrösse je Artikel ergibt. Ergebnis der Funktion ist eine Datentabelle, die jeder Periode des Planungszeitraumes *einen* Bedarfswert zuweist, der in Zeit- oder normierten Mengeneinheiten formuliert ist.

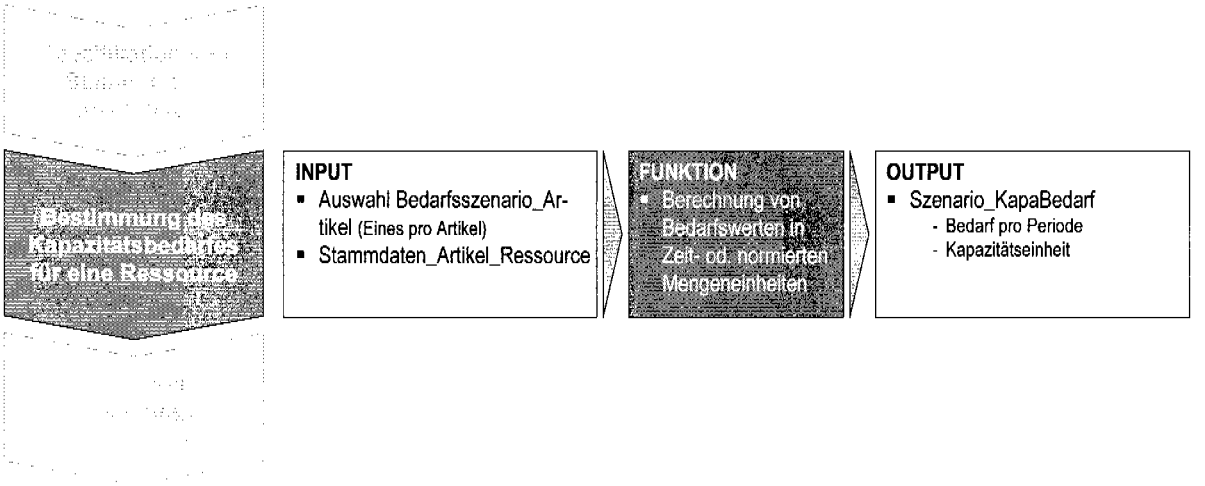


Abb. A.3: Input, Inhalt und Output der Funktion „Bestimmung des Kapazitätsbedarfes für eine Ressource" im Arbeitsablauf bei der Anwendung des Software-Werkzeuges

Bei der Ausführung der Funktion wird einem bestehenden oder neu angelegten Datensatz eines Szenarios für den Kapazitätsbedarf (Daten-Objekt „Szenario_KapaBedarf", siehe Kapitel A.2.5) zunächst eine Ressource und anschliessend ein oder mehrere Artikel durch die Auswahl von Bedarfszenarien zugeordnet. Dabei ist darauf zu achten, dass die Werte für die *Planungsperiode* bei allen Bedarfsszenarien (Artikel) mit dem des zu bestimmenden Szenarios für den Kapazitätsbedarf sowie mit dem der Produktionsressource übereinstimmen. Dies gilt ebenfalls für die Festlegung der Einheit für die *Kapazitätsmessung* (Stunden oder ME), die bei der zugeordneten Ressource und der Kapazitätsbedarfs-Szenario identisch sein muss.

Die hier anstelle einer festen Zuordnung von Artikeln zu Ressourcen vorgeschlagene Auswahl von Bedarfsszenarien ermöglicht es, ähnlich wie in Fallstudie 1, Produktbedarfe unterschiedlichen, parallel arbeitenden Maschinen zuzuweisen, falls dies in einem Anwendungsfall den real vorhanden Möglichkeiten entspricht. Unter Umständen muss es dabei ebenfalls möglich

sein, die Bedarfsmengen einzelner Artikel nicht für den gesamten Planungszeitraum, sondern für ausgewählte Perioden auf andere Produktionsressourcen zu verschieben.

Bewertung von Anpassungsstrategien (Funktion)

Bei der Bewertung einer vom Anwender konfigurierten Anpassungsstrategie für eine Produktionsressource und ein bestimmtes Szenario des Kapazitätsbedarfes wird zunächst die insgesamt maximal verfügbaren Kapazität (Basiskapazität und Anpassungsmassnahmen) berechnet. Dies schliesst eine vorangestellte Prüfung der spezifizierten Anpassungsstrategie im Hinblick auf die Einhaltung der zeitlichen Restriktionen und Prioritätsregeln beim Massnahmeneinsatz ein. Unter Berücksichtigung von Bestandsänderungen im Pufferlager (nach Bearbeitung) können so die Auslastung pro Periode sowie gegebenenfalls anfallende Rückstände ermittelt werden. Gemeinsam mit den Kosten für den Einsatz von Anpassungsmassnahmen kann nun eine Bestimmung der im Planungszeitraum insgesamt anfallenden Flexibilitätskosten (vgl. Kapitel 4.3.2) erfolgen.

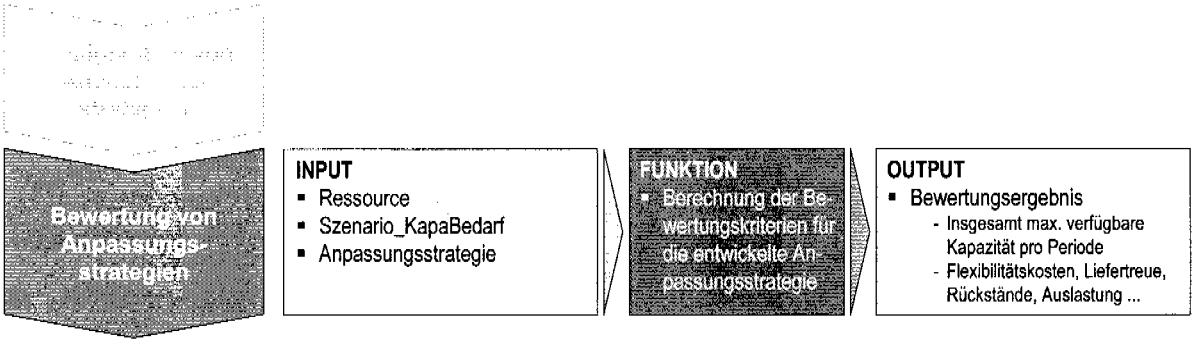


Abb. A.4: Input, Inhalt und Output der Funktion „Bewertung von Anpassungsstrategien"

Im Anschluss an die Bewertung kann der Benutzer auf der Basis der vorliegenden Resultate entscheiden, ob die erarbeitete Anpassungsstrategie weiter verbessert werden soll. Ist dies notwendig, wird der Arbeitsschritt „Konfiguration von Anpassungsstrategien" erneut durchlaufen, dem wiederum die „Bewertung von Anpassungsstrategien" folgt. Zusätzlich können auch eine oder mehrere Alternativ-Strategien entworfen und die Bewertungsergebnisse miteinander verglichen werden. Den Abschluss der von der Software unterstützten Vorgehensweise insgesamt bildet schliesslich die Auswahl einer aus Sicht des Anwenders besten Anpassungslösung. Der Anwender verfügt damit über die Kenntnis, welche Anpassungsmassnahmen zu welchen Zeitpunkten zu aktivieren bzw. zurückzunehmen sind, wann Pufferbestände auf- und wieder abgebaut werden sollen und mit welchen Kosten dieses Handeln verbunden ist. Zudem können Kunden oder Abnehmer frühzeitig über realisierbare Liefermengen zu bestimmten Terminen oder über Lieferverspätungen informiert werden, falls sich diese trotz Kapazitätsanpassung nicht vermeiden lassen.

Erzeugung von Kapazitätshüllkurven (Zusatzfunktion)

Obwohl die Berechnung und Darstellung von Hüllkurven für einfache und resultierende Flexibilitätsprofile nicht explizit zum Arbeitsablauf bei der Planung und Bewertung von Strategien zur Kapazitätsanpassung gehört, soll dies hier im Sinne einer zusätzlichen Funktionalität noch kurz beschrieben werden.

Die Berechnung von einfachen und resultierenden Flexibilitätsprofilen erfolgt entsprechend der in den Abbildung 3.5 und 3.11 (Kapitel 3.3) wiedergegebenen Algorithmen. Als Eingangsinformationen muss beim Anlegen eines Flexibilitätsprofils zunächst spezifiziert werden, auf welche Produktionsressource Bezug genommen wird. Anschliessend müssen diejenigen Anpassungsmassnahmen ausgewählt werden, die dieser Ressource zur Verfügung stehen und auch berücksichtigt werden sollen. Dabei ist sicherzustellen, dass nur solche Anpassungsmassnahmen einbezogen werden, bei denen eine Übereinstimmung bezüglich der Länge der *Planungsperiode* sowie der geltenden *Kapazitätseinheit vorliegt*. Dagegen kann die Länge des Intervalls, für das ein Flexibilitätsprofil erstellt werden soll, unabhängig vom Planungszeitraum festgelegt werden, der bei der Durchführung der Anpassungsplanung betrachtet wird. Abbildung A.5 zeigt die Zusatzfunktion in der bereits oben verwendeten Form.

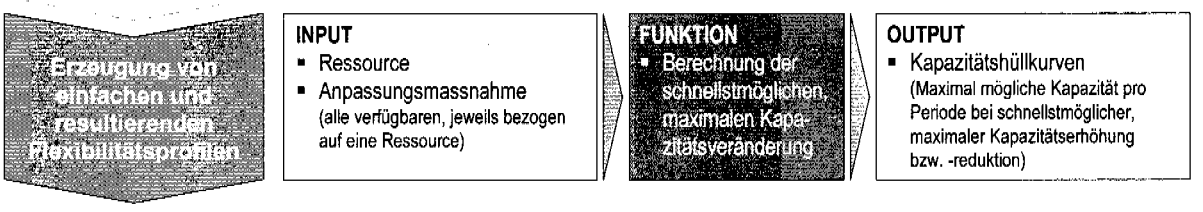


Abb. A.5: Input, Inhalt und Output der Zusatzfunktionen zur Erzeugung von Flexibilitätsprofilen für einzelne Arbeitssysteme sowie von resultierenden Flexibilitätsprofilen für verkettete Ressourcen

Zur Erzeugung resultierender Flexibilitätsprofile muss zusätzlich spezifiziert werden, welche Arbeitssysteme (Ressourcen) in welcher Reihenfolge mit einander verknüpft sind. Die Auswahl der Anpassungsmassnahmen erfolgt individuell für jede Ressource. Mit Hilfe der zum Daten-Objekt „Ressource" gehörenden Informationen zum Anfangsbestand des Pufferlagers und der mittleren Durchlaufzeit können schliesslich die Werte für den maximal möglichen Ausstoss des Gesamtsystems pro Periode berechnet und graphisch dargestellt werden.

A.1.5 Daten

In diesem Kapitel werden ausschliesslich solche (Haupt-)Daten aufgeführt, die bei der Benutzung des Softwarewerkzeuges spezifiziert bzw. erzeugt und längerfristig gespeichert werden sollen. Aus derzeitiger Sicht sind dies insgesamt 9 Daten-Objekte, die jeweils über mehrere Attribute (Merkmale) verfügen. Allerdings soll damit nicht ausgeschlossen werden, dass im Rahmen einer Implementierung noch weitere Datenobjekte bzw. weitere Attribute zu bereits bestehenden Daten-Objekten hinzukommen können. Dies gilt insbesondere für die Frage, ob bei der Bestimmung der von Basiskapazität, Kapazitätsbedarf und insgesamt maximal verfügbarer Kapazität (nach Anpassung) ein *Betriebskalender* erforderlich ist. Dieser berücksichtigt unter anderem die für einen Produktionsbetrieb oder ein Werk gültigen

Feiertage, Werksferien usw., so dass eine Planung mit einer höheren Genauigkeit erfolgen kann. Im hier erarbeiteten Grobkonzept wird zunächst auf die Einbeziehung eines Betriebskalenders verzichtet, was jedoch nicht bedeuten soll, dass dies generell zulässig ist.

Die Erläuterung der Daten-Objekte, deren Bezeichnungen bereits bei der oben stehenden Spezifikation der wichtigsten Programm-Funktionen eingeführt wurde, erfolgt mittels der nachfolgend aufgeführten Tabellen, teilweise ergänzt durch Anmerkungen.

Daten-Objekt	Ressource
Attribute	**Erläuterung**
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette.
Planungsperiode	Länge der Planungsperiode (BKT, Woche, Monat).
Kapazitätseinheit	Art der Kapazitätsmessung (normierte ME, Stunden), beinhaltet die Festlegung eines *Referenzartikels* für die Formulierung normierter Mengeneinheiten.
Basiskapazität	Basiskapazität des betrachteten Arbeitssystems als Zahlenwert entsprechend der gewählten Kapazitätseinheit bezogen auf eine Planungsperiode.
Auslastungszielbereich	Angestrebter Wertebereich für die Auslastung, der durch die Kapazitätsanpassung erzielt werden soll (z.B. 85 – 95 %).
Anfangsbestand	Zahlenwert des Bestandes entsprechend der gewählten Kapazitätseinheit, der zu Beginn der Anpassungsplanung im nachgelagerten Pufferlager enthalten ist.
Durchlaufzeit	Durchschnittliche Länge der Material-Durchlaufzeit bei konstanter Auslastung im Zielbereich; Ganzzahliges Vielfaches der Planungsperiode.
Lagerzins	Zinssatz der zur Berechnung der Bestandeshaltungskosten benötigt wird; Zahlenwert in Prozent.
Penale	Gebühren die gegebenenfalls von einem Kunden oder Abnehmer pro Mengeneinheit und Periode in Rechnung gestellt werden; Zahlenwert in GE / Periode.
Kosten Unterlast	Geldbetrag, der pro Kapazitätseinheit (ME oder Stunde) unterhalb des Zielwertes für die zu erbringende Leistung verrechnet werden kann; Zahlenwert in GE pro Kapazitätseinheit und Periode.

Tab. A.3: Daten-Objekt *Ressource* mit insgesamt 10 Attributen

Die Eingabe der Datenelemente für die Produktionsressource erfolgt am besten über ein Dialogfeld. Dabei wird durch die Zuweisung eines festen Wertes für die Basiskapazität für alle Perioden im Planungszeitraum davon ausgegangen, dass diese tatsächlich konstant bleibt. Dies ist allerdings nicht in jedem Fall gegeben. Deshalb kann es unter Umständen auch notwendig sein, die Daten zur Basiskapazität als Tabelle (Kapazitätswert, Periode) anzugeben.

Die Angabe zur durchschnittlichen Durchlaufzeit wird nur für die Erzeugung resultierender Flexibilitätsprofile für die Steigerung des maximal möglichen Produktausstosses benötigt. Ist diese Zusatzfunktion nicht gewünscht, kann auf dieses Attribut verzichtet werden.

Bei der Bestimmung des Kostensatzes pro Mengen- oder Zeiteinheit und Periode in Unterlast ergibt sich der untere Zielwert für die zu erbringende Leistung als Produkt aus der unteren Grenze des angestrebten Wertebereiches für die Auslastung und der tatsächlich bestehenden maximal möglichen Kapazität (nach Anpassung).

Daten-Objekt	Anpassungsmassnahme
Attribute	**Erläuterung**
Bezug Ressource	Verknüpfungen zu allen Produktionsressourcen, für die die Anpassungsmassnahme eingesetzt werden kann.
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette.
Planungsperiode	Länge der Planungsperiode (BKT, Woche, Monat).
Kapazitätseinheit	Art der Kapazitätsmessung (normierte ME, Stunden), beinhaltet die Festlegung eines *Referenzartikels* für die Formulierung normierter Mengeneinheiten.
Massnahmen-Typ	Einordnung des Wertes für die Kapazitätsveränderung als relative oder absolute Grösse und Bezug auf die Basiskapazität oder die aktuell installierte Gesamtkapazität (Typen 1 bis 4).
Kapazitätsveränderung	Zahlenwert der absoluten (ME, Stunde) oder relativen (Prozent) Kapazitätsveränderung.
Aktivierungszeit	Zahlenwert zur Aktivierungszeit als ganzzahliges Vielfaches einer Planungsperiode.
Minimale Nutzbarkeitsdauer	Zahlenwert der minimalen Nutzbarkeitsdauer als ganzzahliges Vielfaches einer Planungsperiode.
Maximale Nutzbarkeitsdauer	Zahlenwert der maximalen Nutzbarkeitsdauer als ganzzahliges Vielfaches einer Planungsperiode.

Tab. A.4a: Daten-Objekt Anpassungsmassnahme mit insgesamt 13 Attributen (Fortsetzung in Tabelle A.4b)

Daten-Objekt	Anpassungsmassnahme
Attribute	**Erläuterung**
Aktivierungskosten	Zahlenwert für einmalig bei der Aktivierung einer Massnahme anfallende Kosten in GE.
Laufende Kosten	Zahlenwert für die laufend (pro Periode) anfallenden Kosten, wenn die Anpassungsmassnahme aktiv ist (in GE).
Rücknahmekosten	Zahlenwert für einmalig bei der Rücknahme einer Massnahme anfallende Kosten in GE.
Mehrfachverwendbarkeit	Häufigkeit, mit der eine bestimmte Massnahme innerhalb *einer Planungsperiode* eingesetzt werden kann; Ganze Zahl.

Tab. A.4b: Daten-Objekt Anpassungsmassnahme mit insgesamt 13 Attributen

Ergänzend zu den Tabellen A.4 a und b sollen noch zwei Hinweise zu einzelnen Attributen des Daten-Objektes folgen.

Die Einführung der Mehrfachverwendbarkeit beschreibt, wie oft eine Anpassungsmassnahme unverändert in einer Planungsperiode eingesetzt werden kann. So können beispielsweise innerhalb einer Woche zwei und mehr Zusatzschichten durchgeführt werden. Auch eine Schichtverlängerung kann zwischen 0.5 und 2 Stunden pro Arbeitstag liegen. Um nun zu vermeiden, dass jede mögliche Zusatzschicht oder jede halbe Überstunde als einzelne Massnahme spezifiziert werden muss, kann ein geeigneter Wert für eine mögliche Mehrfachverwendung eingesetzt werden, was alle Freiheitsgrade bei der Kapazitätsskalierung offen lässt.

Der zweite Hinweis betrifft das Datenelement „Massnahmen-Typ". Dieses legt fest, ob der Wert der Kapazitätsänderung als relative Grösse mit einem Bezug zur Basiskapazität bzw. zur installierten Kapazität einschliesslich Anpassungsmassnahmen aufzufassen ist oder ob es sich um einen absoluten Kapazitätsbeitrag handelt. Insgesamt können vier Massnahmen-Typen unterschieden werden:

Typ 1: Relative Kapazitätsveränderung ausschliesslich bezogen auf die Basiskapazität, dies könnte beispielsweise die Erhöhung oder Reduktion einer Taktzeit sein.

Typ 2: Absolute Kapazitätsveränderung, die jedoch auch von anderen Anpassungsmassnahmen beeinflusst werden kann. Bespiele hierfür ist die Beschaffung zusätzlicher Betriebsmittel oder die Veränderung der Mitarbeiterzahl.

Typ 3: Relative Kapazitätsveränderung, welche sich auf die zum Einsatzzeitpunkt installierte Kapazität (Basiskapazität sowie aktive Anpassungsmassnahmen der Typen 1 u. 2) bezieht. Dies können z.B. Veränderungen der Einsatzzeit durch Zuatzschichten oder Überstunden sein.

Typ 4: Absolute Kapazitätsveränderung, die unabhängig von allen anderen Massnahmen oder der vorhandenen Basiskapazität wirkt, was u.a. auf die temporäre Fremdvergabe von Aufträgen oder Wertschöpfungsanteilen zutrifft.

Die Eingabe der Informationen sollte ebenfalls um eine Dialogfeld erfolgen (siehe dazu auch Kapitel A.2.6).

Das in der nächsten Tabelle beschriebene Daten-Objekt zu den Bedarfsdaten auf der Ebene von Artikeln bzw. Artikel-Nummern ist eine wesentliche Eingangsinformationen für das Software-Werkzeug. Die Bedarfsermittlung selbst und damit auch die Durchlaufterminierung von Aufträgen gehört entsprechend nicht zu den Aufgaben des hier spezifizierten Planungswerkzeuges. Die Eingabe erfolgt durch ein Dialogfeld, wobei es sinnvoll erscheint, die Bedarfsdaten selbst aus einer Datenquelle einlesen zu können.

Daten-Objekt	Bedarfssznario_Artikel
Attribute	**Erläuterung**
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette.
Planungsperiode	Festlegung der Länge der Planungsperiode (BKT, Woche, Monat).
Starttermin	Zeitpunkt in der Zukunft, an dem das Bedarfsszenario beginnen soll.
Bedarfsdaten	Zahlenpaare (Periode, Bedarfswert) zum Artikel-Bedarf in Tabellenform; Angabe der Bedarfswerte in ME.

Tab. A.5: Daten-Objekt *Bedarfsszenario_Artikel* mit insgesamt 4 Attributen

Das in der nächsten Tabelle beschriebene Datenobjekt wird zur Bestimmung von Szenarien für den Kapazitätsbedarf benötigt. Es bezieht sich immer auf einen Artikel und eine Ressource. Mit Hilfe des Produktwertes (z.B. Herstellkosten) pro Artikel kann zudem ein Durchschnittswert einer Kapazitätseinheit (ME oder Stunde) für ein Szenario des Kapazitätsbedarfes berechnet werden. Dieser Wert der Kapazitätseinheit geht schliesslich in die Berechnung der Bestandeshaltungskosten bei der Bewertung von Anpassungsstrategien ein.

Die Eingabe der Informationen erfolgt über ein Dialogfeld. Die korrekte Zuordnung von Artikel und Ressource sollte durch die Anzeige von Auswahllisten unterstützt werden.

Daten-Objekt	Stammdaten_Artikel_Ressource
Attribute	**Erläuterung**
Bezug Artikel	Verknüpfungen zum Artikel, für den die Stammdaten gelten sollen.
Bezug Ressource	Verknüpfung zur Ressource, für die die Stammdaten gelten sollen.
Losgrösse	Zahlenwert der Losgrösse, die für die Verarbeitung des gewählten Artikels auf der gewählten Ressource vorgesehen ist; Ganze Zahl.
Rüstzeit	Zeitbedarf in Minuten, der zur Vorbereitung der Bearbeitung des gewählten Artikels auf der gewählten Ressource zu berücksichtigen ist.
Einzelzeit	Zeitbedarf in Minuten, der zur Verarbeitung einer Mengeneinheit des gewählten Artikels auf der gewählten Ressource notwendig ist.
Produktwert	Monetärer Wert (in GE) einer Mengeneinheit des gewählten Artikels, nachdem der Bearbeitung auf der gewählten Ressource.

Tab. A.6: Daten-Objekt *Stammdaten_Artikel_Ressource* mit insgesamt 6 Attributen

Das Szenario des Kapazitätsbedarfes für eine Ressource wird gemäss Abbildung A.3 als Ergebnis von der Software erzeugt. Dazu muss jedoch zuvor ein entsprechender Datensatz angelegt und der Bezug zu einer Ressource und ein oder mehreren Artikeln und deren Bedarfsszenarien hergestellt werden. Dabei ist darauf zu achten, das eine Übereinstimmung hinsichtlich der *Planungsperiode* bei der Ressource sowie bei den Bedarfsszenarien der Artikel besteht. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass im Zeitraum, der durch den Starttermin und die Planungsdauer definiert wird, bei allen Bedarfsszenarien der ausgewählten Artikel tatsächlich Daten vorliegen.

Daten-Objekt	Szenario_KapaBedarf
Attribute	**Erläuterung**
Bezug Ressource	Verknüpfung zur Ressource, für die das Szenario des Kapazitätsbedarfes gelten soll; Eingabeinformation.
Bezug Bedarfs-szenario	Verknüpfung zu ein oder mehreren Bedarfsszenarien (Artikel), aus denen sich der Kapazitätsbedarf ergibt; Eingabeinformation.
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette; Eingabeinformation.

Tab. A.7a: Daten-Objekt *Szenario_Kapazitätsbedarf* mit insgesamt 10 Attributen (Fortsetzung in Tabelle A.7b)

Daten-Objekt	Szenario_KapaBedarf
Attribute	**Erläuterung**
Planungsperiode	Festlegung der Länge der Planungsperiode (BKT, Woche, Monat); Muss mit den Werten der zugeordneten Ressource und Bedarfszenarien übereinstimmen; Eingabeinformation.
Planungsdauer	Länge des Beobachtungsintervalls in der Zukunft für das die Anpassungsplanung durchgeführt werden soll; Der Wert ist ein ganzzahliges Vielfaches der Planungsperiode; Eingabeinformation.
Kapazitätseinheit	Festlegung der Art der Kapazitätsmessung (normierte ME, Stunden), bei Mengeneinheiten mit Referenz-Artikel; Eingabeinformation.
Starttermin	Datum, mit dem das Szenario des Kapazitätsbedarfes beginnen soll; Eingabeinformation.
Kapazitätsbedarf	Zahlenpaare (Periode, Wert) zum Kapazitätsbedarf in Tabellenform; Die Werte des Kapazitätsbedarfs (in normierten ME oder Stunden, entsprechend der gewählten Kapazitätseinheit) pro Periode *werden berechnet.*
Anfangsrückstand	Zahlenwert des Rückstandes (in normierten ME oder Stunden), der zu Beginn des Betrachtungsintervalls besteht; Eingabeinformation.
Wert_KapaEinheit	Gewichteter Durchschnittsbetrag für eine Kapazitätseinheit (normierte ME oder Stunde); Wird berechnet!

Tab. A.7b: Daten-Objekt *Szenario_Kapazitätsbedarf* mit insgesamt 10 Attributen

Das Anlegen bzw. Ändern eines Datensatzes für ein Szenario des Kapazitätsbedarfes sowie die Dateneingabe sollte über ein Dialogfeld erfolgen, von dem aus auch die Berechnung der Datenelemente *Kapazitätsbedarf* und *Wert_KapaEinheit* angestossen werden kann. Die Ausgabe insbesondere der Wertepaare für den Kapazitätsbedarf kann als Tabelle und / oder als graphische Darstellung erfolgen (siehe dazu auch Kapitel A.2.6).

Nachdem Ressourcen und Anpassungsmassnahmen bekannt sind, kann gemäss Abbildung A.2 die Erarbeitung einer Anpassungsstrategie erfolgen. Diese muss zunächst angelegt und mit der Ressource, dem zu bearbeitenden Szenario des Kapazitätsbedarfes sowie den zur Verfügung stehenden Anpassungsmassnahmen verknüpft werden. Diese zu Beginn stattfindende Zuordnung sollte zur Vermeidung von Eingabefehlern durch die Anzeige von Auswahllisten unterstützt werden.

Daten-Objekt	Anpassungsstrategie
Attribute	**Erläuterung**
Bezug Ressource	Verknüpfung zur Ressource, für die das Szenario des Kapazitätsbedarfes gelten soll; Eingabeinformation.
Bezug Szenario_KapaBedarf	Verknüpfung zum Kapazitätsbedarf für den die Konfiguration einer Anpassungsstrategie durchgeführt wird.
Bezug-Anpassungsmassnahme	Verknüpfung zu allen Massnahmen, die bei der Erstellung einer Anpassungsstrategie für die gewählte Ressource eingesetzt werden können.
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette.
Begin_Ende_Anzahl	Tabelle mit Datentrippeln (Datum, Datum, Wert) zu den Start- und Endterminen (Datum) und einem Zahlenwert für die Einsatzzahl (ganze Zahl) für jede gewählte Massnahme für jeden Einsatz innerhalb des Beobachtungsintervalls.
Bestandsveränderung	Tabelle mit Zahlenpaaren (Periode, Wert), mit denen eine Zu- oder Abnahme des Pufferbestandes nach der Bearbeitung in jeder Periode spezifiziert wird; Angabe in Kapazitätseinheiten entsprechend der Spezifikation in der zugeordneten Ressource.

Tab. A.8: Daten-Objekt *Anpassungsstrategie* mit insgesamt 7 Attributen

Ergänzend zu Tabelle A.8 soll noch ein Hinweis zum Datenelement „Bestandsveränderung" gegeben werden. Obwohl es durchaus denkbar erscheint, im Falle einer zu geringen Auslastung, die gesamte Überschusskapazität automatisch in eine Bestandserhöhung umzusetzen bzw. im Falle einer Überbelastung den Bestand soweit wie notwendig abzubauen, soll hier empfohlen werden, dass eine Bestandsveränderung vom Anwender spezifiziert werden muss. Nur so lassen sich Anpassungsstrategien unter Einbeziehung des Bestandspuffers gezielt konfigurieren. Wie in Tabelle A.8 vorgeschlagen, kann dies durch die Angabe von Werten zur Bestandsveränderung pro Periode erfolgen. Das Vorzeichen bestimmt, ob es sich um eine Ein- oder Auslagerung handeln soll. Als Vorgabe kann für alle Perioden zunächst der Wert „0" eingesetzt werden.

Daten-Objekt	Bewertungsergebnis
Attribute	**Erläuterung**
Bezug-Anpassungs-strategie	Verknüpfung zur Anpassungsstrategie, für die das Bewertungsergebnis erzeugt wird; Wird vom Programm erstellt!
Kapazitätsverlauf	Zahlenpaare (Periode, Wert) zur insgesamt maximal verfügbaren Kapazität in Tabellenform; Der Kapazitätswert wird in der Kapazitäts-einheit angegeben, die für die Ressource spezifiziert wurde. Wird berechnet!
Aktivierungszeit-punkte	Liste von Aktivierungszeitpunkten (Datum) für jede ausgewählte Anpassungsmassnahme der bewerteten Anpassungsstrategie. Wird erzeugt!
Flexibilitätskosten	Zahlenwert der Gesamtkosten über den Planungszeitraum für Anpassung, Bestandeshaltung, Penalen etc.; Angabe in GE; Wird von der Software berechnet!

Tab. A.9: Daten-Objekt *Bewertungsergbnis* mit insgesamt 4 Attributen

Die Ausgabe der Ergebnisdaten kann graphisch (Kapazitätsverlauf), als Tabellen (Kapazitätsverlauf, Aktivierungszeitpunkte) sowie als einzelne Kennzahl erfolgen.

Neben den genannten Datenelementen sollten bei der Berechnung der Bewertungsergebnisse weiterhin Kennzahlen zur Liefertreue, den einzelnen Kostenarten (Anpassungskosten, Penalen usw.) sowie Datentabellen bzw. Graphen zum Verlauf von Auslastung, Rückstand und Bestand erzeugt und angezeigt werden. Diese sind notwendig, um den Planer bei der Konfiguration, Verbesserung und Auswahl von Anpassungsstrategien zu unterstützen. Eine längerfristige Speicherung dieser Daten oder eine Rückübertragung zu einem übergeordneten Planungssystem erscheint aus derzeitiger Sicht dagegen nicht notwendig.

Abschliessend sollen noch die Daten-Objekte vorgestellt werden, die als Resultat der Funktion „Erzeugung von Kapazitätshüllkurven" bestimmt werden.

Daten-Objekt	Einfaches_Flexibilitätsprofil
Attribute	**Erläuterung**
Bezug-Ressource	Verknüpfung zur Ressource, für die das Szenario des Kapazitäts-bedarfes gelten soll; Eingabeinformation!
Bezug-Massnahme	Verknüpfung zu den Massnahmen, die der gewählten Ressource zur Verfügung stehen. Eingabeinformation!

Tab. A.10a: Daten-Objekt *Einfaches_Flexibilitätsprofil* mit insgesamt 7 Attributen (Fortsetzung in Tabelle A.10b)

Daten-Objekt	Einfaches_Flexibilitätsprofil
Attribute	**Erläuterung**
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette. Eingabeinformation!
Planungsperiode	Festlegung der Länge der Planungsperiode (BKT, Woche, Monat); Muss mit dem Wert der zugeordneten Ressource übereinstimmen; Eingabeinformation!
Planungsdauer	Anzahl Perioden, für die die Kapazitätshüllkurve des einfachen Flexibilitätsprofils erzeugt werden soll. Ganze Zahl.
Kapazitätsverlauf Erhöhung	Zahlenpaare (Periode, Wert) zur insgesamt maximal verfügbaren Kapazität (nur Massnahmen zur *Kapazitätserhöhung* berücksichtigt) in Tabellenform; Der Kapazitätswert wird in der Kapazitätseinheit angegeben, die für die Ressource spezifiziert wurde. Wird berechnet!
Kapazitätsverlauf Reduktion	Zahlenpaare (Periode, Wert) zur insgesamt maximal verfügbaren Kapazität (nur Massnahmen zur *Kapazitätsreduktion* berücksichtigt) in Tabellenform; Die Kapazitätswerte wird in der Kapazitätseinheit angegeben, die für die Ressource spezifiziert wurde. Wird berechnet!

Tab. A.10b: Daten-Objekt *Einfaches_Flexibilitätsprofil* mit insgesamt 7 Attributen (Fortsetzung in Tabelle A.10b)

Hinweis: Das eigentliche, im Kapitel 3.3 erläuterte Flexibilitätsprofil stellt nicht nur den Verlauf der maximal möglichen Kapazität (Kapazitätshüllkurve) bei einer schnellstmöglichen, maximalen Kapazitätserhöhung oder -reduktion dar, sondern zeigt auch die zeitbezogene Lage der einzelnen Massnahmen. Die in den Tabellen A.10 und A.11 grob erläuterten Datenobjekte beziehen sich jedoch nur auf die Darstellung der Hüllkurven für die maximal verfügbare Kapazität bzw. Ausstoss pro Periode.

Daten-Objekt	Resultierendes_Flexibilitätsprofil
Attribute	**Erläuterung**
Bezug-Reihenfolge-Ressourcen	Verknüpfung zu allen Ressourcen, die in die Ermittlung der Hüllkurve einbezogen werden soll, einschliesslich Spezifikation einer Reihenfolge (Ressourcenliste). Eingabeinformation!
Bezug-Massnahmen-Ressource	Verknüpfung zu den Massnahmen, die den gewählten Ressource jeweils zur Verfügung stehen. Eingabeinformation!

Tab. A.11a: Daten-Objekt *Resultierendes_Flexibilitätsprofil* mit insgesamt 6 Attributen (Fortsetzung in Tabelle A.11b)

Daten-Objekt	Resultierendes_Flexibilitätsprofil
Attribute	**Erläuterung**
Bezeichnung	Benennung durch eine Zeichenkette. Eingabeinformation!
Planungsperiode	Festlegung der Länge der Planungsperiode (BKT, Woche, Monat); Muss mit den Werten der zugeordneten Ressourcen übereinstimmen; Eingabeinformation!
Planungsdauer	Anzahl Perioden, für die die Hüllkurve des resultierenden Flexibilitätsprofils erzeugt werden soll. Ganze Zahl.
Verlauf_Ausstoss Erhöhung	Zahlenpaare (Periode, Wert) zur insgesamt maximal möglichen Ausstoss des Gesamtsystems (nur Massnahmen zur *Kapazitätserhöhung* berücksichtigt) in Tabellenform; Die Kapazitätswerte wird in der Kapazitätseinheit angegeben, die für die Ressource spezifiziert wurde. Wird berechnet!

Tab. A.11b: Daten-Objekt *Resultierendes_Flexibilitätsprofil* mit insgesamt 6 Attributen

Das Anlegen bzw. Ändern von Flexibilitätsprofilen sollte mit Hilfe eines Benutzerdialoges erfolgen, der auch die Eingabe der Werte für die zu spezifizierenden Datenelemente erlaubt. Auswahllisten können auch hier die korrekte Zuordnung von Ressourcen und Anpassungsmassnahmen erleichtern. Ebenfalls sollte in diesem Benutzerdialog auch die Berechnung gestartet werden können. Die Ausgabe der Ergebnisse kann graphisch (Kapazitätshüllkurve) oder als Tabelle erfolgen.

A.1.6 Benutzeroberflächen und Ergebnisdarstellung

Obwohl der in Zusammenarbeit mit der flexis AG entworfene Softwareprototyp nicht über alle in den oben stehenden Abschnitten beschriebenen Funktionalitäten verfügt, sollen hier einige Abbildungen von Benutzeroberflächen und Ergebnisdarstellungen gezeigt werden. Sie sollen weniger als Vorgabe, sondern vielmehr als Vorschlag verstanden werden, wie eine mögliche Realisierung einer anwenderfreundlichen Software aussehen kann. Es sei deshalb noch einmal darauf hingewiesen, dass die nachfolgend abgebildeten Screenshots nicht in jedem Detail die in den Kapiteln A.2.4 und A.2.5 spezifizierten Funktionen und Daten-Objekten wiedergeben.

Abbildung A.6 zeigt eine Benutzeroberfläche mit einer Liste mit bereits spezifizierten Anpassungsmassnahmen sowie ein geöffnetes Dialogfeld zum anlegen oder ändern von Anpassungsmassnahmen. Zusätzlich sind beispielhaft zwei Drop-Down-Menüs für die Auswahl der gültigen Planungsperiode sowie des Massnahmentyps etwas vergrössert eingefügt. Eine in der Liste ausgewählte (markierte) Massnahme kann diese mit Hilfe der am unteren Rand erkennbaren Schaltflächen geöffnet oder gelöscht werden.

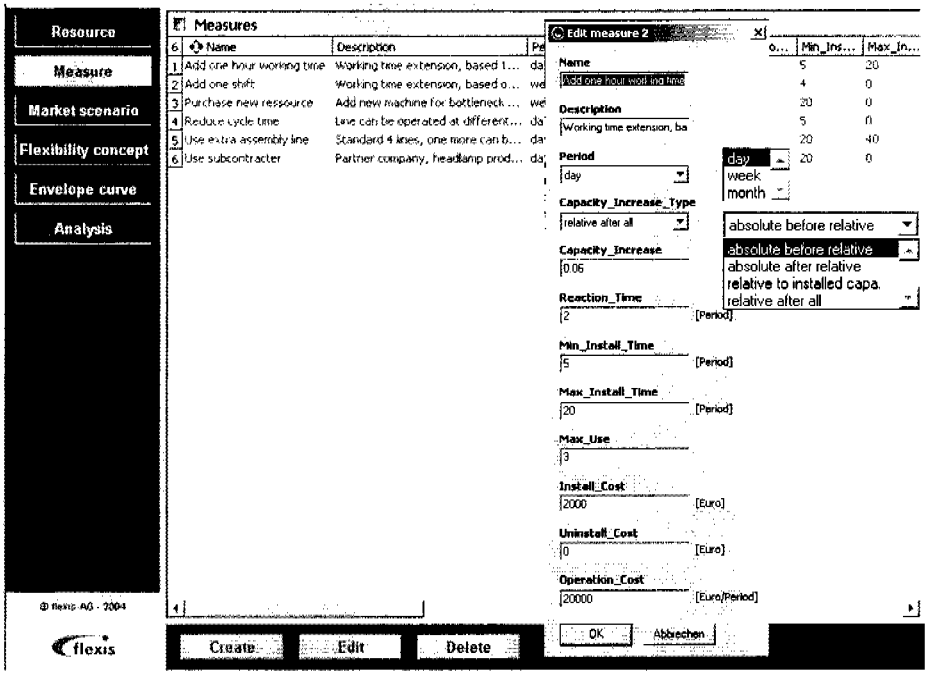


Abb. A.6: Anlegen und spezifizieren von Anpassungsmassnahmen

Im linken Feld der Arbeitsoberfläche des Softwareprototypen sind mehrere Schaltflächen zu sehen, die in der Reihenfolge des geplanten Arbeitsablaufes angeordnet sind und damit dem Benutzer ein intuitives Navigieren ermöglichen.

Die nächste Abbildung enthält die Arbeitsoberfläche für das Anlegen, Einlesen und Darstellen von Bedarfsszenarien. Die in Kapitel A.2.5 erläuterte Funktion zur Erstellung von Szenarien für den Kapazitätsbedarf aus mehreren Bedarfsszenarien für einzelne Artikel ist im hier vorgestellten Softwareprototyp nicht implementiert.

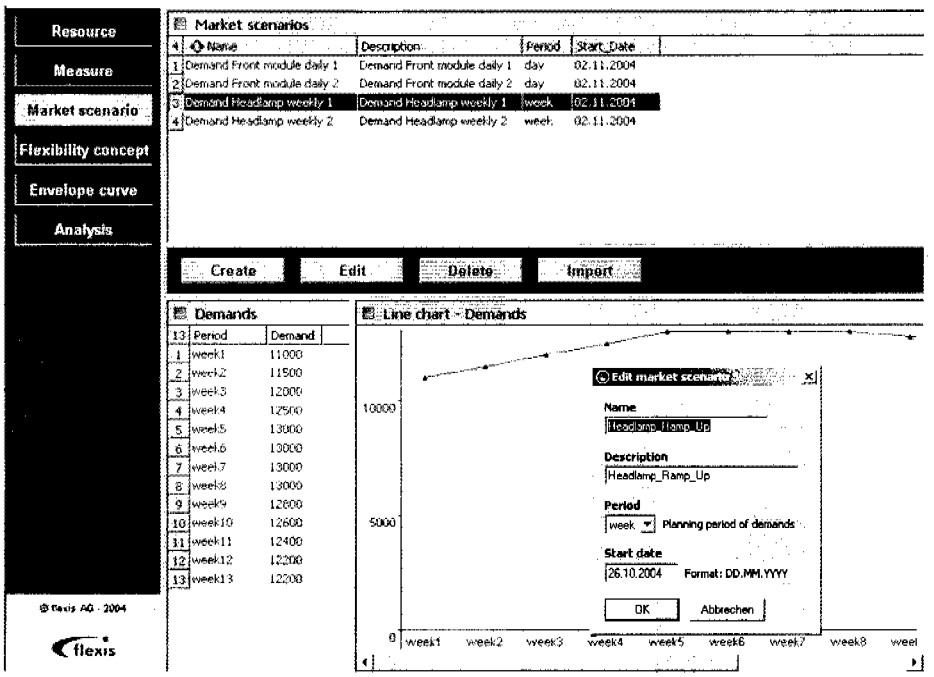


Abb. A.7: Eingabe und Anzeige von Bedarfsdaten in Tabellen- und Diagrammform

Abbildung A.8 zeigt ein Beispiel für die Darstellung von Kapazitätshüllkurven. Neben der graphischen Darstellung sind im unteren Teil der Oberfläche die zum Flexibilitätsprofil gehörenden Anpassungsmassnahmen aufgelistet, die in der prototypischen Lösung einen Arbeitsschritt zuvor ausgewählt werden.

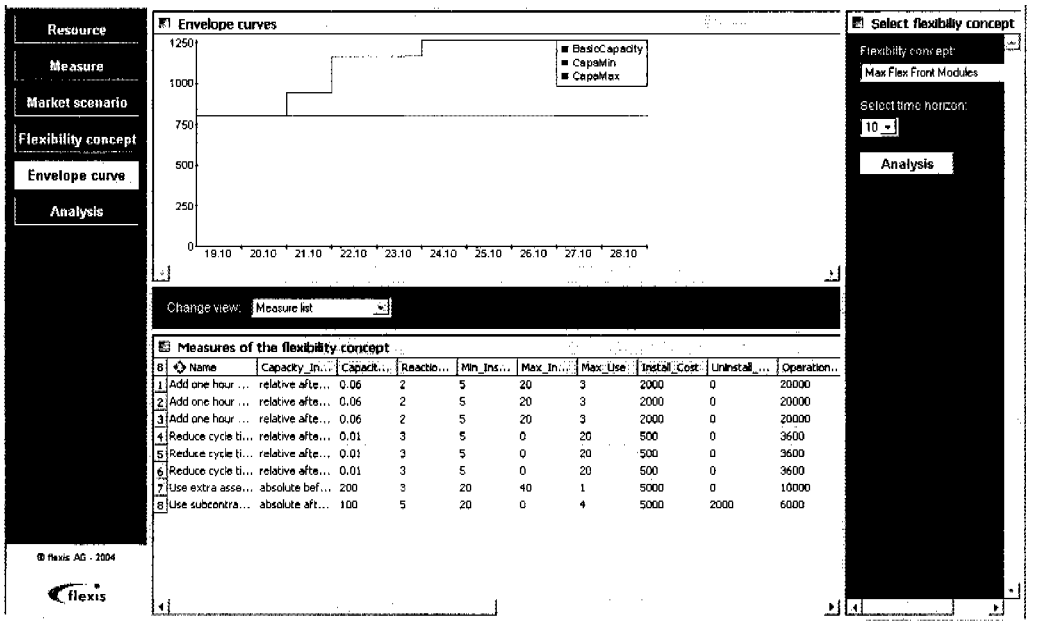


Abb. A.8: Darstellung von Kapazitätshüllkurven

Bei Abbildung A.9 handelt es sich schliesslich um die Arbeitsoberfläche für das Konfigurieren von Anpassungsstrategien sowie für die Anzeige von Bewertungsergebnissen. Im oberen Bildteil wird der Bedarfsverlauf (Säulen) und die bereitgestellte maximal verfügbare Kapazität (Linie) dargestellt, so dass sehr schnell erkennbar ist, in welchen Phasen des Planungszeitraums ein Handlungsbedarf für eine Anpassung besteht.

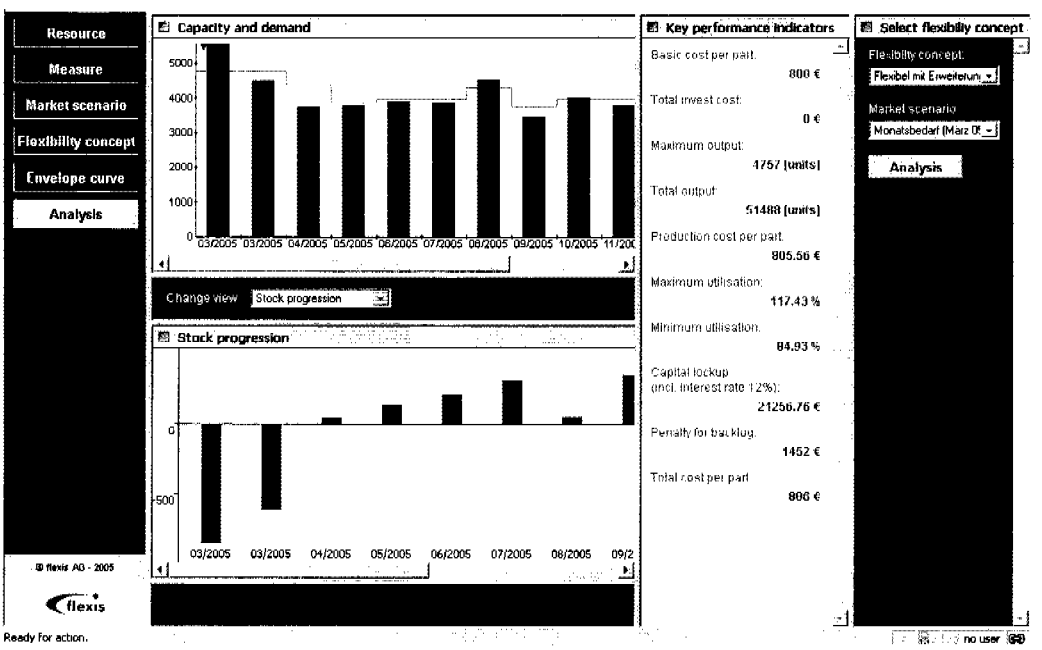


Abb. A.9: Konfiguration von Anpassungsmassnahmen und Anzeige von Bewertungsergebnissen

Das rechte Fenster der Benutzeroberfläche enthält einige Kennzahlen, die als Resultat der Bewertung einer Anpassungsstrategie ausgegeben werden. Die dort konkret aufgeführten Grössen sind lediglich als Beispiele anzusehen, da es vermutlich von einer fallspezifischen Beurteilung abhängt, welche Bewertungskriterien als sinnvoll anzusehen sind.

Im unteren Teil der Oberfläche wird in Abbildung A.9 der sich ergebende Verlauf von Bestand und Rückstand angezeigt. Durch einen Wechsel der Ansichten für dieses Feld können alternativ auch die aktiven Massnahmen als *Gantt Chart* (Abbildung A.10 oben) angezeigt oder *Auswahllisten für Massnahmen* (Abbildung A.10 unten) für die Konfiguration von Anpassungsstrategien bereitgestellt werden. Die Festlegung von Start- und Endterminen für die einzuplanenden Anpassungsmassnahmen erfolgt über ein Dialogfeld, das hier nicht abgebildet ist. Dieses kann über einen Doppel-Klick auf die gewünschte Massnahme (Gantt-Chart-Balken oder Zeile in der Massnahmenliste) geöffnet werden.

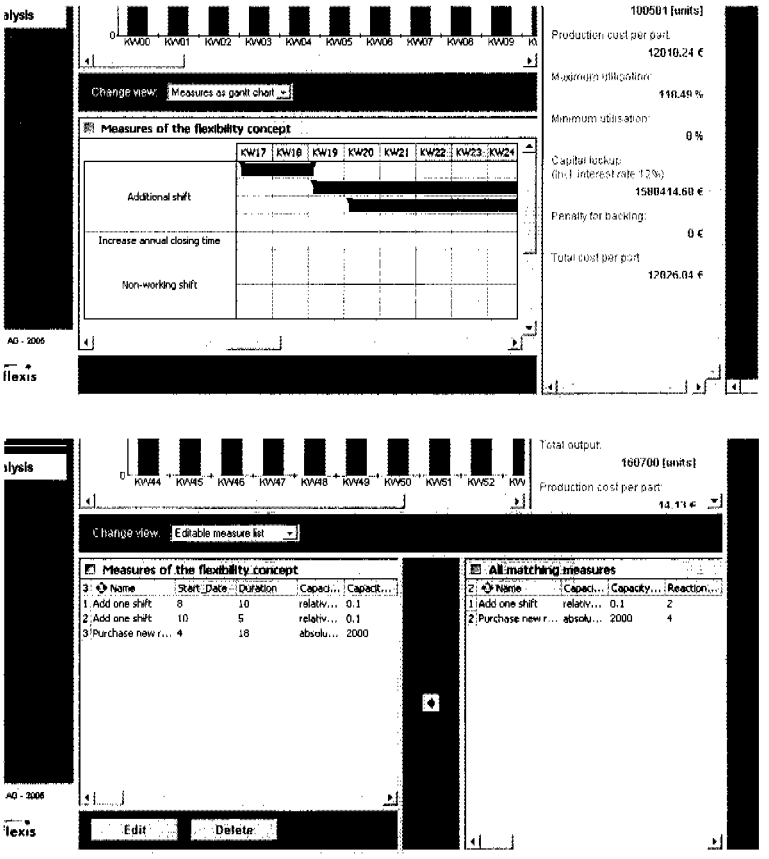


Abb. A.10: Alternative Ansichten für den unteren Teil der Benutzeroberfläche bei der Konfiguration und Bewertung von Anpassungsstrategien

Auf die Darstellung und Erläuterung weiterer Details zum Software-Prototypen wird hier aus Platzgründen abgesehen.

A.1.7 Qualitätsaspekte

Zur Vervollständigung der vorliegenden Grobspezifikation soll noch auf die wichtigsten Qualitätsanforderungen hingewiesen werden, denen ein Software-Werkzeug zur Planung und Bewertung von kurz- und mittelfristigen Anpassungsstrategien für die Produktionskapazität genügen sollte. Nach DIN ISO 9126 können die folgenden Qualitätsmerkmale als massgeblich bei der Softwareentwicklung gelten[1]:

- *Funktionalität:* Vorhandensein der spezifizierten Funktionen, die geeignet sind, die vorgesehenen Aufgabe zu lösen und richtige Ergebnisse mit einer hinreichenden Genauigkeit zu liefern. Der unberechtigte Zugriff auf Programme und Daten wird verhindert.
- *Zuverlässigkeit:* Geringe Versagenshäufigkeit durch Fehlerzustände, Fehlertoleranz bzw. Robustheit gegenüber Softwarefehlern oder fehlerhaften Eingaben usw. Fähigkeit zur schnellen und einfachen Wiederherstellbarkeit von Leistung und Daten bei einem Versagen der Software.
- *Benutzbarkeit:* Gute Verständlichkeit von Konzept und Anwendung für einen Benutzer. Anwendung kann schnell und einfach erlernt werden. Die Bedienung ist einfach und intuitiv.
- *Effizienz:* Angemessenes Verhältnis zwischen Leistungsniveau der Software und eingesetzten Betriebsmitteln. Kurze Antwort- und Verarbeitungszeiten usw.
- *Änderbarkeit:* Geringer Aufwand, um Mängel und Versagensursachen zu bestimmen sowie Verbesserungen vornehmen oder Fehler beseitigen zu können. Möglichkeit zur Anpassung an neue Anforderungen der Umgebung. Begrenzter Aufwand zur Prüfung der geänderten Software.
- *Übertragbarkeit:* Möglichkeit, die Software an eine veränderte Umgebung (Daten-Schnittstellen, Hardware etc.) anzupassen. Geringer Aufwand zur Installation der Software in einer festgelegten Umgebung. Fähigkeit der Software, mit begrenztem Aufwand in einer anderen als den ursprünglich vorgesehenen Umgebungen eingesetzt zu werden.

In der nachfolgenden Tabelle werden die genannten Qualitätsmerkmale für das hier spezifizierte Software-Werkzeug relativ zu einander priorisiert. Da im vorliegenden Fall das Hauptaugenmerk auf einer einfachen, schnell zu bedienenden und auf einfachen Personalcomputern lauffähigen Lösung liegt, stehen vor allem die Benutzbarkeit und die Funktionalität im Vordergrund. Es ist aber durchaus denkbar, dass sich die gewählten Präferenzen bei den Qualitätsmerkmalen im konkreten Anwendungsfall unter Umständen verschieben können.

---

[1] Siehe dazu auch Balzert H., Software-Technik, 2000, S. 1102 f.

Qualitätsmerkmal	sehr wichtig				unwichtig
Funktionalität		●			
Zuverlässigkeit			●		
Benutzbarkeit	●				
Effizienz			●		
Änderbarkeit		●			
Übertragbarkeit				●	

Tab. A.12: Relative Priorisierung bei den Qualitätsanforderungen an die Software zur Planung und Bewertung von Anpassungsstrategien für die Produktionskapazität

A.1.8 Abschlussbemerkungen

Je nach Einsatzbereich kann es für einen Anwender wertvoll sein, wenn das Software-Werkzeug in der Lage ist, selbständig Vorschläge für Anpassungsstrategien zu entwickeln. Dies kann durch die Erweiterung des Programms um einen Optimierungsalgorithmus realisiert werden, der beispielsweise Zielwerte für die Auslastung und die Liefertreue als Restriktionen berücksichtigt und als Zielfunktion die insgesamt in einem Planungszeitraum anfallenden Flexibilitätskosten verwendet, die natürlich so gering wie möglich ausfallen sollen. In Bezug auf den in Abbildung A.2 dargestellten Arbeitsablauf bedeutet dies, dass die Schritte *Konfiguration* einer Anpassungsstrategie und *Bewertung* zusammengefasst und von der Software vollständig übernommen werden. Das erzielte Ergebnis ist dann vom Benutzer nur noch im Hinblick auf seine Plausibilität und Tauglichkeit zu prüfen.

Literaturverzeichnis

APICS DICTIONARY Eleventh Edition [APICS Dictionary, 2005], APICS – The Association for Operations Management: APICS Dictionary. The industry standard for more than 3'500 terms and definitions, Alexandria (Virginia, USA), 2005

ASIM-FACHGRUPPE 4.5.6 [Leitfaden, 1997]: ASIM-Fachgruppe 4.5.6: Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik, in *ASIM-Mitteilungen*, Heft Nr. 58, 1997

BALOFF, NICHOLAS [Learning curve, 1971]: Extension of the learning curve – some empirical results, in *Operations Research Quarterly*, 22, 1971 (4), Seiten 329 - 340

BALZERT, HELMUT [Software-Technik, 2000]: Lehrbuch der Software-Technik, Bd. 1 Software-Entwicklung, 2. Aufl., Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2000

BAUMGARTEN, HELMUT / THOMS, JACK [Trends und Strategien, 2002]: Trends und Strategien in der Logistik. Supply Chains im Wandel, Broschüre zu den Ergebnissen einer Umfrage des Instituts für Technologie und Management, Bereich Logistik der TU Berlin, 2002

BAUMGARTEN, HELMUT / DARKOW, INGA-LENA [Konzepte im SCM, 2002]: Konzepte im Supply Chain Management, in Busch, Axel / Dangelmaier Wilhelm (Hrsg.): *Integriertes Supply Chain Management. Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse*, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 2004

BAUMGARTEN, HELMUT / KLINKNER, RAIMUND / SOMMER-DITTRICH, THOMAS [Simulationsgestützte Adaptionsplanung, 2004]: Kontinuierliche simulationsgestützte Adaptionsplanung für logistische Systeme, in *PPS Management*, 9, 2004 (3), Seiten 29 - 33

BEACH, R. / MUHLEMANN, A.P. / PRICE, D.H.R. / PATERSON, A. / SHARP, J.A. [Review, 2000]: A review of manufacturing flexibility, in *European Journal of Operational Research*, 122, 2000, Seiten 41 - 57

BECHTE, WOLFGANG [Belastungsorientierte Auftragsfreigabe, 1984]: Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 70, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1984

BREITHAUPT, JAN-WILHELM [Rückstandsorientierte Produktionsregelung, 2001]: Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen. Grundlagen und Anwendung, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 571, Düsseldorf: VDI Verlag, 2001

BEHRBOHM, PETER [Flexibilität, 1985]: Flexibilität in der industriellen Produktion. Grundüberlegungen zur Systematisierung und Gestaltung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität, Europäische Hochschulschriften, Reihe V, Bd. 614, Frankfurt a. M., Bern, New York: Peter Lang, 1985

BROWNE, J. / DUBOIS, D. / RATHMILL, K., SETHI, S.P. / STECKE, K.E. [Classification of FMS, 1984]: Classification of Flexible Manufacturing Systems, in *The FMS Magazine*, 2, 1984 (2), Seiten 114 - 117

BÜRKNER, STEPHAN / SCHMITT, MICHAEL / ROSCHER, JÖRG / FRIESE, MARKUS [Flexibility evaluation, 2005]: Methods for flexibility evaluation in the automotive industry, in *Proceedings of the 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005)*, 22. und 23. September 2005 in München, Seiten 447 - 451

COENENBERG, ADOLF G. [Kostenrechnung, 2003]: Kostenrechnung und Kostenanalyse, 5., überarb. und erw. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2003

CHRISTOPHER, M. [Agile Supply Chain, 2000]: The agile supply chain: Competing in volatile Markets, in *Industrial Marketing Management*, 29, 2000 (1), Seiten 37 - 44

CORSTEN, HANS [Produktionsmanagement, 1994]: Gestaltungsbereiche des Produktionsmanagement, in Corsten, Hans (Hrsg.): *Handbuch Produktionsmanagement: Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen*, Wiesbaden: Gabler, 1994, Seiten 5 - 21

DAMISCH, PETER NICOLAI [Wertorientiertes Flexibilitätsmanagement, 2002]: Wertorientiertes Flexibilitätsmanagement durch den Realoptionsansatz, Wiesbaden: Universitäts-Verlag, 2002

DELURGIO, STEPHEN, A. [Forecasting principles, 1998]: Forecasting principles and application, Boston (Massachusetts, USA): Irwin / McGraw-Hill, 1998

DIXON, J. ROBB [Measuring manufacturing flexibility, 1992]: Measuring manufacturing flexibility: An empirical investigation, in *European Journal of Operational Research*, 60, 1992, Seiten 131 - 143

EVERSHEIM, WALTER / SCHAEFER, FRIEDRICH-WILHELM [Planung des Flexibilitätsbedarfs, 1980]: Planung des Flexibilitätsbedarfs von Industrieunternehmen, in *Die Betriebswirtschaft (DBW)*, 40, 1980 (2), Seiten 229 - 248

EVERSHEIM, WALTER / SCHUH GÜNTHER (Hrsg.) [Betriebshütte, 1996]: Produktion und Management «Betriebshütte», 7. völlig neu bearb. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996

FINE, CHARLES H. [Clockspeed, 1998]: Clockspeed – Winning industry control in the age of temporary advantage, Reading (Massachusetts, USA): Perseus Books, 1998

FORRESTER, J.W. [Industrial dynamics, 1958]: Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers, in *Harvard Business Review*, 36, 1958 (4), Seiten 37 - 66

GOLDMAN, STEVEN L. / NAGEL, ROGER N. / PREISS, KENNETH / WARNECKE, HANS-JÜRGEN [Agil im Wettbewerb, 1996]: Agil im Wettbewerb. Die Strategien der virtuellen Organisation zum Nutzen der Kunden, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1996

GERWIN, DONALD [Research on flexibility, 1987]: An agenda for research on the flexibility of manufacturing processes, in *International Journal of Operations an Production Management*, 7, 1987 (1), Seiten 38 - 49

GERWIN, DONALD [Strategic perspective, 1993]: Manufacturing flexibility: a strategic perspective, in *Management Science*, 39, 1993 (4), Seiten 395 - 410

GOMERSALL, A. [Einführung vom MES, 2004]: Treibende Faktoren für die Einführung von MES, in *Integriertes Fertigungsmanagement mit Manufacturing Execution System (MES)*, VDI-Berichte 1847, Tagung Leonberg, 29. und 30. Juni 2004, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004, Seiten 39 - 48

GOTTSCHALK, LUTZ / ILIEV, NIKOLAI / GÜNTHER, SÖREN [Manufacturing flexibility, 2004]: Manufacturing Flexibility. A concept for visualisation and analysis of adaptation strategies in manufacturing, in *Proceedings of the Global Project and Manufacturing Management Symposium in Siegen (Deutschland)*, 6. bis 7. Mai 2004, Seiten 181-194

GOTTSCHALK, LUTZ / KÖNIG, ROLAND [Bedarfsunsicherheiten beherrschen, 2004]: Bedarfsunsicherheiten durch flexible Kapazitäten beherrschen, in *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 99, 2004 (12), Seiten 715 - 719

GOTTSCHALK, LUTZ / SCHEIDEGGER, PATRICK [Kapazitätsplanung für Mehrzweckanlagen, 2004]: Produktions- und Kapazitätsplanung für Mehrzweckanlagen in der chemischen Industrie, in *CHEManager*, 13, 2004 (22), Seite 18

DE GREIFF, MALTE [Prognose von Lernkurven, 2001]: Die Prognose von Lernkurven in der manuellen Montage unter besonderer Berücksichtigung der Lernkurven von Grundbewegungen, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 592, Düsseldorf: VDI Verlag, 2001

GÜNTHER, HANS-OTTO / STRAUSS, CHRISTINE [Personaleinsatzplanung, 1994]: Flexible Schicht- und Personaleinsatzplanung, in Corsten, Hans: *Handbuch Produktionsmanagement: Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen*, Wiesbaden: Gabler, 1994, Seiten 943 - 962

GUPTA, D. [Measurement and valuation, 1993]: On measurement and valuation of manufacturing flexibility, in *International Journal of Production Research*, 31, 1993 (12), Seiten 2947 - 2958

GUPTA, D. / BUZACOTT, J.A. [Understanding flexibility, 1989]: A Framework for understanding flexibility of manufacturing systems, in *Journal of Manufacturing Systems*, 8, 1989 (2), Seiten 89 - 97

GUPTA, YASH P. / GOYAL SAMEER [Concepts and measurements, 1989]: Flexibility of manufacturing systems: Concepts and measurements, in *European Journal of Operations Research*, 43, 1989, Seiten 119 - 135

GUTENBERG, ERICH [Betriebswirtschaftslehre, 1967]: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1: Die Produktion, 13. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1967

HAMMER, MICHAEL / CHAMPY, JAMES [Business Reengineering, 1994]: Business Reengineering: Die Radikalkur für das Unternehmen, deutsche Übersetzung der englischen Originalausgabe „Reengineering the Corporation", 2. Aufl., Frankfurt / Main: Campus, 1994

HERNÁNDEZ MORALES, ROBERTO [Systematik der W., 2003]: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16, Nr. 149, Düsseldorf: VDI Verlag, 2003

HIEBER, RALF [Supply Chain Management, 2002]: Supply Chain Management. A collaborative performance measurement approach, Diss., Zürich: vdf Hochschulverlag, 2002

HOITSCH, HANS-JÖRG [Produktionswirtschaft, 1993]: Produktionswirtschaft. Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre, 2., überarb. und erw. Aufl., München: Vahlen, 1993

DE JONG, JOHANNES R. [Fertigkeit, 1960]: Fertigkeit, Stückzahl und benötigte Zeit, Sonderheft der REFA-Nachrichten, 2. überarb. Aufl., herausgegeben vom Verband für Arbeitsstudien REFA e.V., Darmstadt: 1960

KALUZA, BERND [Kapazität und Flexibilität, 1994]: Rahmenentscheidungen zu Kapazität und Flexibilität produktionswirtschaftlicher Systeme, in Corsten, Hans (Hrsg.): *Handbuch Produktionsmanagement: Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen*, Wiesbaden: Gabler, 1994, Seiten 51 - 71

KERN, WERNER [Messung industrieller Fertigungskapazitäten, 1962]: Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihre Ausnutzung. Grundlagen und Verfahren, Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag, 1962

KERN, WERNER [Kapazität und Beschäftigung, 1975]: Kapazität und Beschäftigung, in Wittmann, Waldemar et al. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*, 5. Aufl., Bd. 2, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, Spalten 2083 - 2089

KIRCHNER, SÖREN / WINKLER, RALPH / WESTKÄMPER, ENGELBERT [Unternehmensstudie, 2003]: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen, in *wt Werkstattstechnik online*, 93, 2003 (4), Seiten 254 - 260

KOCH ECKART [Internationale Wirtschaftsbeziehungen, 1998]: Internationale Wirtschaftsbeziehungen, Band 2: Internationale Wirtschafts- und Finanzbeziehungen, 2. völlig überarb. und erw. Aufl., München: Vahlen, 1998

KUHN, AXEL / HELLINGRATH, BERND [Supply Chain Management, 2002]: Supply Chain Management. Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2002

LANGE, RONNY [MES, 2004]: Anforderungen und Trends bei modernen Manufacturing Execution Systemen, in *Journal of the University of Applied Sciences*, Mittweida, 2004 (2),

LAY, GUNTER / MIES, CLAUDIA [PRODUKTIONSINNOVATIONSERHEBUNG, 1997]: Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung (Nr. 5): Neue Arbeitszeitmodelle haben das Experimentierstadium in den Betrieben verlassen, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), 1997

LAY, GUNTER / MEIER, HORST / SCHRAMM, JÜRGEN / WERDING, ARNDT [Betreiben statt Verkaufen, 2003]: Betreiben statt Verkaufen. Stand und Perspektiven neuer Geschäftsmodelle für den Maschinen- und Anlagenbau, in *Industrie Management*, 19, 2003 (4), Seiten 9 - 14

LÖDDING, HERMANN [Fertigungssteuerung, 2005]: Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2005

LUCZAK, HOLGER (Hrsg.) [Servicemanagement, 1999]: Servicemanagement mit System. Erfolgreiche Methoden für die Investitionsgüterindustrie, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1999

MERTENS, PETER [Informationsverarbeitung, 2000]: Integrierte Informationsverarbeitung 1. Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie, 12., neu bearb. Aufl., Wiesbaden: Gabler, 2000

MODEREGGER, HERMANN A. [Arbeitszeitsysteme, 1998]: Flexible Arbeitszeitsysteme, in *Industrie Management*, 14, 1998 (4), Seiten 64 - 66

NARAIN, RAKESH / YADAV, R.C. / SARKIS, JOSEPH / CORDEIRO, JAMES J. [Strategic implications of flexibility, 2000]: The strategic implications of flexibility in manufacturing systems, in *International Journal of Agile Management Systems*, 2000 (2/3), Seiten 202 - 213

NYHUIS, PETER / WIENDAHL, HANS-PETER [Logistische Kennlinien, 2003]: Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 2., erw. und neu bearb. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2003

PFOHL, HANS-CHRISTIAN [Risiken und Chancen, 2002]: Risiken und Chancen: Strategische Analyse in der Supply Chain, in Pfohl, Hans-Christian (Hrsg.): *Risiko- und Chancenmanagement in der Supply Chain*, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2002, Seiten 1 - 56

PFOHL, HANS-CHRISTIAN [Logistikmanagement, 2004]: Logistikmanagement. Konzeption und Funktionen, 2. vollst. überarb. und erw. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2004

PIBERNIK, RICHARD [Flexibilitätsplanung, 2001]: Flexibilitätsplanung in Wertschöpfungsnetzwerken, Wiesbaden: Universitäts-Verlag, 2001

PORTER, MICHAEL E. [Competition, 1986]: Competition in global industries, Boston (Massachusetts, USA): Harvard Business School Press, 1986

PORTER, MICHAEL E. [Wettbewerbsvorteile, 2000]: Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten, deutsche Übersetzung der englischen Originalausgabe „Competitive advantage", 6. Aufl., Frankfurt / Main: Campus, 2000

RABE, MARKUS [Einführung Simulation]: Einführung, in Kuhn, Axel / Rabe, Markus (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik – Fallbeispielsammlung, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1998, Seiten 1 - 10

REINHART, GUNTHER / DÜRRSCHMIDT, STEPHAN / HIRSCHBERG, ARND / SELKE CARSTEN [Reaktionsfähigkeit, 1999]: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen – Eine Antwort auf turbulente Märkte, in *Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 94, 1999 (1/2), Seiten 21 - 24

REINHART, GUNTHER / DÜRRSCHMIDT, STEPHAN / KRÜGER, ALEXANDER [Montagesysteme, 1999]: Stückzahlflexible Montage- und Logistiksysteme - Integrierte Planung kapazitätsflexibler Systeme, in *wt Werkstattstechnik,* 89, 1999 (9), Seiten 413 - 418

SCHEER, AUGUST-WILHELM [Wirtschaftsinformatik, 1995]: Wirtschaftsinformatik, Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse, 6., durchgesehene Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1995

SHEWCHUK, JOHN P. / MOODIE, COLIN L. [Manufacturing flexibility, 1998]: Definition and classification of manufacturing flexibility types and measures, in *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 10, 1998, Seiten 325 - 349

SCHOLTISSEK, PETER [Simulationsprüfstand, 1996]: Simulationsprüfstand für Logistikkonzepte der Produktion, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 377, Düsseldorf: VDI Verlag, 1996

SCHÖNSLEBEN, PAUL [Informationsmanagement, 2001]: Integrales Informationsmanagement. Informationssysteme für Geschäftsprozesse – Management, Modellierung, Lebenszyklus und Technologie, 2., vollst. überarb. und erw. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001

SCHÖNSLEBEN, PAUL [Logistikmanagement, 2004]: Integrales Logistikmanagement. Planung und Steuerung der umfassenden Supply Chain, 4., überarb. und erw. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2004

SCHNEEWEISS, CHRISTOPH [Planung, 1992]: Planung, 2. Konzepte der Prozess- und Modellgestaltung, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1992

SCHUH, GÜNTHER / MILLARG, KAI / GÖRANSON, ÅSA [Virtuelle Fabrik, 1998]: Virtuelle Fabrik. Neue Marktchancen durch dynamische Netzwerke, München / Wien: Hanser, 1998

SCHUH, GÜNTHER / SESTERHENN, MARC / KÖNIG, Roland [Lebenszyklusgestaltung, 2003]: Lebenszyklusgestaltung kollaborativer Produktionssysteme. Am Beispiel des durch die EU geförderten Forschungsprojekts LicoPro. In *Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 98, 2003 (1-2), Seiten 17 - 21

SEILER, ARMIN [Accounting, 1999]: Accounting – BWL in der Praxis I, 2. Auflage, Zürich: Orell Füssli, 1999

SEILER, ARMIN [Marketing, 2001]: Marketing – BWL in der Praxis, 6., überarbeitete Auflage, Zürich: Orell Füssli, 2001

SETHI, ANDREA KRASA / SETHI, SURESH PAL [Survey, 1990]: Flexibility in Manufacturing: A Survey, in *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2, 1990, Seiten 289 - 328

SLACK, NIGEL [Flexibility, 1983]: Flexibility as a manufacturing objective, in *International Journal of Operations and Production Management*, 3, 1983 (3), Seiten 4 - 13

SPECK, KURT / KISSELOFF, IRINA [Trends und Challenges, 2005]: Trends und Challenges 2005, Ergebnisse einer Befragung schweizerischer Wirtschaftsexperten aus Wissenschaft und Praxis, in *io new management*, 74, 2005 (1-2), Seiten 28 - 31

SUAREZ, FERNANDO F. / CUSUMANO, MICHAEL A. / FINE CHARLES H. [Study of flexibility, 1995]: An empirical study of flexibility in manufacturing, in *Sloan Management Review*, Fall 1995, Seiten 25 - 32

SUAREZ, FERNANDO F. / CUSUMANO, MICHAEL A. / FINE CHARLES H [Flexibility and performance, 1991]: Flexibility and performance: A literature critique and strategic framework, Massachusetts Institute of Technology, Sloan School, White Paper # 3298-91-BPS, May 29, 1991

SUPPLY CHAIN COUNCIL [SCOR-Model, 2003]: Supply Chain Council: Supply Chain Operations Reference Model, Version 6.0, Pittsburgh (Pennsylvania, USA), 2003

DE TONI A. / TOCHIA S. [Manufacturing flexibility, 1998]: Manufacturing flexibility: a literature review, in *International Journal of Production Research*, 36 (6), 1995, Seiten 1587 - 1617

ULRICH, PETER / HILL, WILHELM [Wissenschaftstheoretische Grundlagen, 1976]: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil II), in *WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 5, 1976 (8), Seiten 345 - 350

ULLRICH, GÜNTER [Wirtschaftliches Anlernen, 1995]: Wirtschaftliches Anlernen in der Serienmontage – Ein Beitrag zur Lernkurventheorie, Aachen: Shaker, 1995

VERBECK, ALEXANDER / ZIEGENBEIN, ARNE / ERNI, PHILIPPE [Risiken reduzieren, 2003]: Risiken bei der Beschaffung gezielt reduzieren (Teil 1), in *io new management*, 72, 2003 (11), Seiten 50 - 55

WARNECKE, HANS-JÜRGEN [Fraktale Fabrik, 1996]: Die fraktale Fabrik. Revolution in der Unternehmenskultur, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1996

WESTKÄMPER, ENGELBERT [Produktion in Netzwerken, 1997]: Produktion in Netzwerken, in Schuh, Günther / Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): *Komplexität und Agilität. Steckt die Produktion in der Sackgasse?*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1997, Seiten 277 - 291

WESTKÄMPER, ENGELBERT / ZAHN, ERICH / BALVE, P. / TILEBEIN, M. [Ansätze zur Wandlungsfähigkeit, 2000]: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen . Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld, in *wt Werkstattstechnik online*, 90, 2000 (1/2), Seiten 22 - 26

WIENDAHL, HANS-PETER [Fertigungsregelung, 1997]: Fertigungsregelung: Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells, München / Wien: Hanser, 1997

WIENDAHL, HANS-PETER / BREITHAUPT, JAN-WILHELM [Kapazitätshüllkurven, 1998]: Kapazitätshüllkurven – Darstellung flexibler Kapazitäten mit einem einfachen Beschreibungsmodell, in *Industrie Management*, 14, 1998 (4), Seiten 34 - 37

WIENDAHL, HANS-PETER / BREITHAUPT, JAN-WILHELM / HERNÁNDEZ, ROBERTO [Rationalisierungspotenziale, 2000]: Logistische Rationalisierungspotenziale mittels flexibler Kapazitäten erschliessen, in *wt Werkstattstechnik online*, 90, 2000 (4), Seiten 144 - 148

WIENDAHL, HANS-PETER [Wandlungsfähigkeit, 2002]: Wandlungsfähigkeit – Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik, in *wt Werkstattstechnik online*, 92, 2002 (4), Seiten 122 - 127

WINDT, KATJA [Engpassorientierte Fremdvergabe, 2001]: Engpassorientierte Fremdvergabe in Produktionsnetzen, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 579, Düsseldorf: VDI Verlag, 2001

WRIGHT, T.P. [Cost of airplanes, 1936]: Factors affecting the cost of airplanes, in *Journal of the aeronautical sciences*, 3, 1936 (2), Seiten 122 - 128

ZÄPFEL, GÜNTHER [Produktionswirtschaft, 1982]: Produktionswirtschaft. Operatives Produktionsmanagement, Berlin / New York: Walter de Gruyter, 1982

ZÄPFEL, GÜNTHER [Logistikmanagement, 2001]: Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, 2. unwesentl. veränd. Aufl., München, Wien: Oldenbourg, 2001

ZELENOVICH, D.M. [Flexibility, 1982]: Flexibility: A condition for effective production systems, in *International Journal of Production Research*, 20, 1982 (3), Seiten 319 - 337

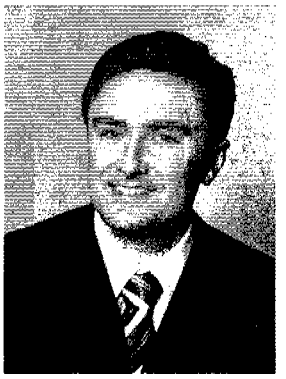
ZHANG, QINGYU / VONDEREMBSE, MARK A. / LIM, JEEN-SU [Manufacturing flexibility, 2003]: Manufacturing flexibility: defining an analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction, in *Journal of Operations Management*, 21, 2003, Seiten 173 - 191

ZSIDISIN, GORGE, A. [Supply Risk, 2003]: Managerial Perceptions of Supply Risk, in *The Journal of Supply Chain Management*, 39, Winter 2003, Seiten 14 - 25

ZIEGENBEIN, ARNE / NIENHAUS, JÖRG / VERBECK, ALEXANDER / ALARD, ROBERT [Robust planning, 2003]: Robust Planning – Coping with Uncertainty in Production Networks, in *Proceedings of the 9th International Conference in Manufacturing Excellence*, Melbourne (Australia), 2003

ZIEGENBEIN, ARNE / NIENHAUS, JÖRG [Supply Chain Risks, 2004]: Coping with supply chain risks on strategic, tactical and operational level, in *Proceedings of the Global Project and Manufacturing Management Symposium*, Siegen, 6. - 7. Mai 2004, Seiten 181-194

Lebenslauf des Autors



Persönliche Daten

Name	Lutz Gottschalk
Geboren am	29. April 1971 in Freiberg
Zivilstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

Berufliche Laufbahn

seit November 2005	Leitender Mitarbeiter bei der Bayer Technology Service GmbH im Fachbereich Process Development, Conceptual Design in Leverkusen (Deutschland).
Mai 2001 bis November 2005	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Unternehmenswissenschaften (***BWI***) der ETH Zürich. *Arbeitsschwerpunkte* in den Bereichen Planung und Analyse flexibler Produktionssysteme, Fertigungssteuerung sowie im Supply Chain Management.
September 1998 bis April 2001	Leitender Mitarbeiter in der Technischen Entwicklung der Bayer AG, Fachbereich Fluidverfahrenstechnik in Leverkusen (Deutschland). *Arbeitsschwerpunkte:* Entwicklung und Auslegung von Thermischen Trennverfahren im Rahmen von Investitions- und Optimierungsprojekten, Trouble Shooting.

Ausbildung

1992 bis 1998	Maschinenbaustudium an der RWTH Aachen, Vertiefungsrichtung Verfahrenstechnik. *Studienschwerpunkte*: Wärmeübertragung, Strömungstechnik, Rauchgasreinigung.
1992	Abitur am Weidiggymnasium in Butzbach (bei Frankfurt am Main, Deutschland)

Zürich, November 2005