

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben Nr. 19021 N

Thema

Entscheidungshilfe für produzierende kmU zur optimalen Gestaltung des Produktionssystems bei schwankenden Nachfragemengen (GeProMe)

Berichtszeitraum

01.02.2016 - 31.03.2018

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

Forschungsstelle(n)

Leibniz Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA)

Garbsen, den 03.08.2018

Niklas Rochow;
Maurice Schmidt

Ort, Datum

Name und Unterschrift des Projektleiters der (bei einem gemeinsamen Bericht federführenden) Forschungsstelle

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Stand der Forschung	2
2.1	Grundlagen zur Nachfrage und Nachfrageprognose.....	2
2.2	Grundlagen der Kapazität und Kapazitätsplanung	5
3	Darstellung der Projektergebnisse	10
3.1	Arbeitspaket 1 - Erstellung eines systematischen Vorgehens zur Produktionssystemgestaltung	11
3.2	Arbeitspaket 2 - Identifikation und Beschreibung von Maßnahmen zur Produktionssystemgestaltung sowie Kapazitätsabstimmung	19
3.3	Arbeitspaket 3 - Entwicklung eines Bewertungsmodells zur quantitativen Bestimmung der Maßnahmenkosten	23
3.4	Arbeitspaket 4 - Aufstellung von Zielfunktionen und Lösungsalgorithmen zur Identifikation optimaler Maßnahmenkombinationen und Umgestaltungszeitpunkte	25
3.5	Arbeitspaket 5 - Überführung der Ergebnisse in einen anwenderfreundlichen Software-Demonstrator und Leitfaden	32
3.6	Arbeitspaket 6 - Dokumentation, Anwendung und Verbreitung der Ergebnisse	36
4	Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen	37
5	Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU	38
6	Verwendung der Zuwendungen	39
7	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	40
8	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	41

9	Durchführende Forschungsstelle	46
10	Förderhinweis	47
11	Literaturverzeichnis.....	48
12	Anhang	54

1 Zusammenfassung

Moderne Produktionsunternehmen stehen zunehmend volatilen Märkten und damit schwankenden Nachfragemengen gegenüber. Kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) mangelt es oftmals an den notwendigen Ressourcen und Methoden zur Beherrschung dieser Turbulenzen. Ziel des IGF-Vorhabens 19021 N war es daher eine Entscheidungsunterstützung zur Planung des Produktionssystems unter der Bedingung von schwankenden Nachfragemengen für KMU zu entwickeln, sodass sie trotz der Turbulenzen zukünftig wirtschaftlich agieren und ihre langfristige Wettbewerbsfähigkeit aufrechterhalten können. Hierzu wurde ein Softwaredemonstrator entwickelt, der die Komplexität der Entscheidungsfindung für KMU verringert.

Zunächst wurde in dem Forschungsprojekt dazu ein systematisches Vorgehensmodell entwickelt welches, unter einer ganzheitlichen Betrachtung des Produktionssystems, die Planung eines wirtschaftlichen und strategisch ausgelegten Produktionssystems ermöglicht. Zur Anpassung von Produktionssystemen wurde ein umfänglicher Maßnahmenkatalog mit 21 Handlungsoptionen aufgestellt. Dabei bestehen solche, die nur in erhöhender oder reduzierender Richtung der Kapazität oder Belastung wirken. Andere Handlungsoptionen können in beide Weisen wirken. Für eine systematische Verwendung der identifizierten Maßnahmen wurden diese in einer entwickelten Kostenmatrix kategorisiert und in einem Zeitmodell beschrieben. Des Weiteren wurde ein mathematisches Modell aufgestellt, welches unter Verwendung des aufgestellten Vorgehensmodells die identifizierten Maßnahmen und Restriktionen berücksichtigt und eine kostenoptimale Handlungsempfehlung identifiziert. Die entwickelten Modelle sind in den Demonstrator implementiert worden und ermöglichen, unter Berücksichtigung der Förderung einer langfristigen Handlungsfähigkeit des Unternehmens, eine kostenminimale Produktion und Bedienung der Nachfrage des Kunden.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts ermöglichen KMU Nachfrageschwankungen in adäquater Weise zu beherrschen und somit langfristig wirtschaftlich und wettbewerbsfähig zu agieren.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Entsprechend gilt unser Dank dem Förderer und den acht Industrieunternehmen, mit denen die Ergebnisse erarbeitet und validiert wurden.

2 Stand der Forschung

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Begrifflichkeiten und Grundlagen des Forschungsprojekts erörtert. Dazu wird in Kapitel 2.1 das zugrunde gelegte Verständnis von Nachfrage und den damit einhergehenden Begrifflichkeiten vermittelt. Des Weiteren werden in Abschnitt 2.2 die Grundlagen der Kapazität von Produktionssystemen aufgezeigt. Es folgt eine Beschreibung und Definition des Begriffs Kapazitätsstruktur als Leistungsgebilde, welches durch Maßnahmen der Kapazitätsabstimmung beeinflusst werden kann.

2.1 Grundlagen zur Nachfrage und Nachfrageprognose

Moderne Produktionsunternehmen agieren auf zunehmend volatilen Märkten. Die technologischen Entwicklungen und Anforderungen an Unternehmen, zum Beispiel kürzer werdende Produktlebenszyklen sowie starke Nachfrageschwankungen und die zunehmende Internationalisierung des Umfelds, stellen dabei nur einige Faktoren dieser Entwicklung dar. Rahmenbedingungen dieser Art werden als Turbulenzen bezeichnet (Westerkämper & Zahn 2009: 9), welche sich vor allem durch ihre nur begrenzte Prognosefähigkeit auszeichnen (Schaefer 1996: 1587). Neben diesen externen Faktoren lassen sich auch solche der inneren Organisation, wie zum Beispiel eine schwankende Verfügbarkeit oder Leistung von Ressourcen, als Turbulenzen identifizieren (Westerkämper & Zahn 2009: 9). Das Produktionssystem erfährt durch diese Einflüsse, welche WIENDAHL als Wandlungstreiber bezeichnet, einen Veränderungs- bzw. Anpassungsdruck (Wiendahl et al. 2005: 9f.). Zahlreiche Studien weisen dazu aus, dass zu den einflussreichsten Turbulenzarten insbesondere die Veränderungen der Nachfrage zählt¹. Die Nachfrageveränderungen als Ursache für Turbulenzen stellt somit den Fokus dieses Forschungsprojekts dar.

In der Literatur werden zur Beschreibung dieser Veränderungen verschiedene Begriffe wie zum Beispiel Nachfrage, Bedarf oder Absatz verwendet (Schäfer 1966: 368ff, Reinhart et al. 1999b: 413ff., Wiendahl 2010: 301ff.). Zwischen diesen Begriffen wird im Folgenden nicht unterschieden, da die Annahme getroffen wird, dass die an das Unternehmen gestellte Nachfrage vollständig gedeckt wird. Der Bedarf der Kunden,

¹ Vgl. Spath et al. 2001: 62; Kirchner et al. 2003: 255; Schnetzler et al. 2006: 23; Handfield et al. 2013: 15 und Kersten et al. 2017: 19

welcher als Nachfrage an das Unternehmen gestellt wird, entspricht folglich mit einer zeitlichen Verzögerung dem Absatz. Für die Produktion bedeutet die Nachfrage, in Form von Aufträgen mit verschiedenen Produkten und Stückzahlen, eine Belastung die das Produktionssystem aufnehmen muss.

Nachfrageveränderungen sind generell zwischen zwei Hauptmerkmalen zu differenzieren. Es kann eine einmalige Veränderung in Form einer Verschiebung oder einer zyklischen Schwankung auftreten. Eine Verschiebung kann nach SCHÄFER diskontinuierlich, das heißt durch ein plötzliches Auftreten, oder kontinuierlich, somit durch ein stetiges Wachstum oder Gefälle, charakterisiert sein (Schäfer 1966: 345ff.). Im Allgemeinen werden diese Verschiebungen auch als Trend bezeichnet. Zyklische Schwankungen können sich hingegen in regelmäßigen oder unregelmäßigen Rhythmen darstellen und bilden eine laufende Veränderung ab (Schäfer 1966: 345 ff., 368f.). In der folgenden Abbildung 2.1 sind die verschiedenen Nachfrageveränderungen kategorisiert sowie deren Erscheinungsform schematisch dargestellt.

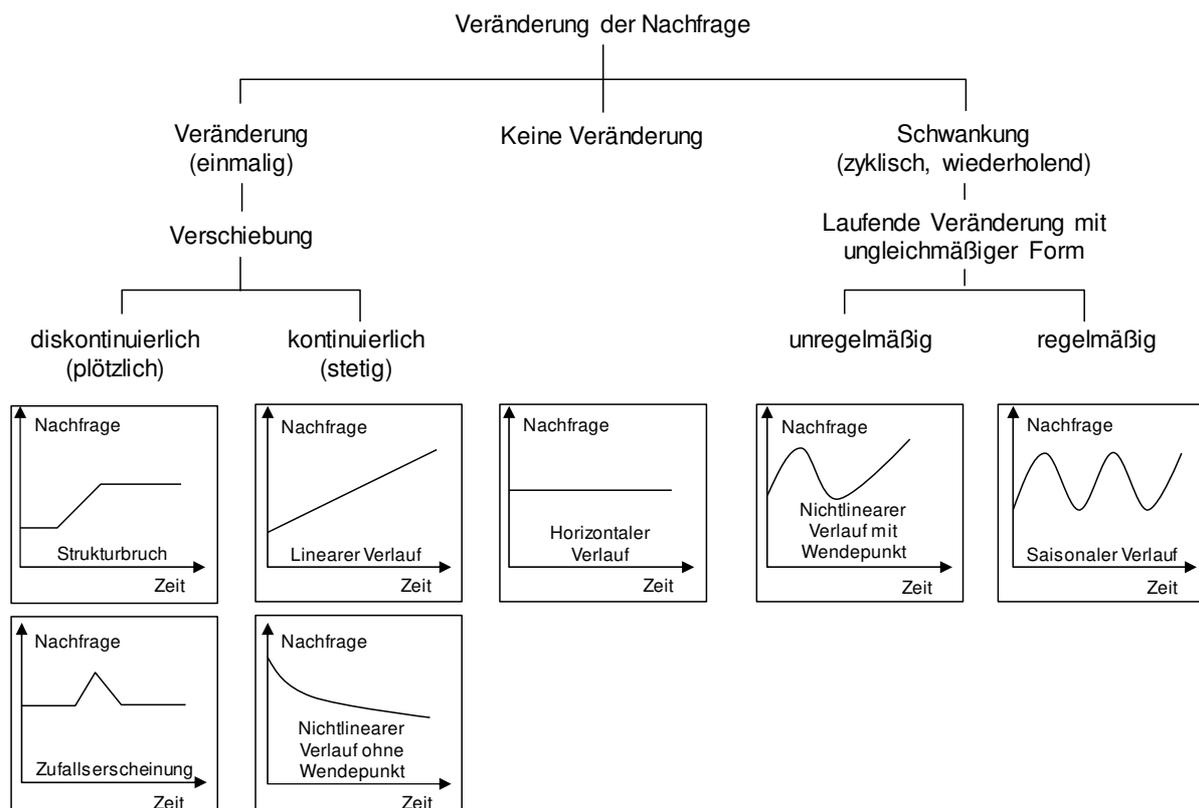


Abbildung 2.1: Kategorisierung und schematische Darstellung von Nachfrageverläufen
(i.A.a. Krüger 2004: 19; Wiendahl 2010: 298)

Die, in der Abbildung 2.1 dargestellten, einzelnen Verläufe sind jedoch nicht repräsentativ für Nachfragemengen, welche an die Unternehmen herangetragen werden. Vielmehr ergibt sich die tatsächliche Nachfrage aus einer Kombination aus häufig mehreren Veränderungsarten. Zur Verdeutlichung dieser Überlagerung kann die produktspezifische Lebenszykluskurve, welche in Abbildung 2.2 exemplarisch dargestellt ist, herangezogen werden.

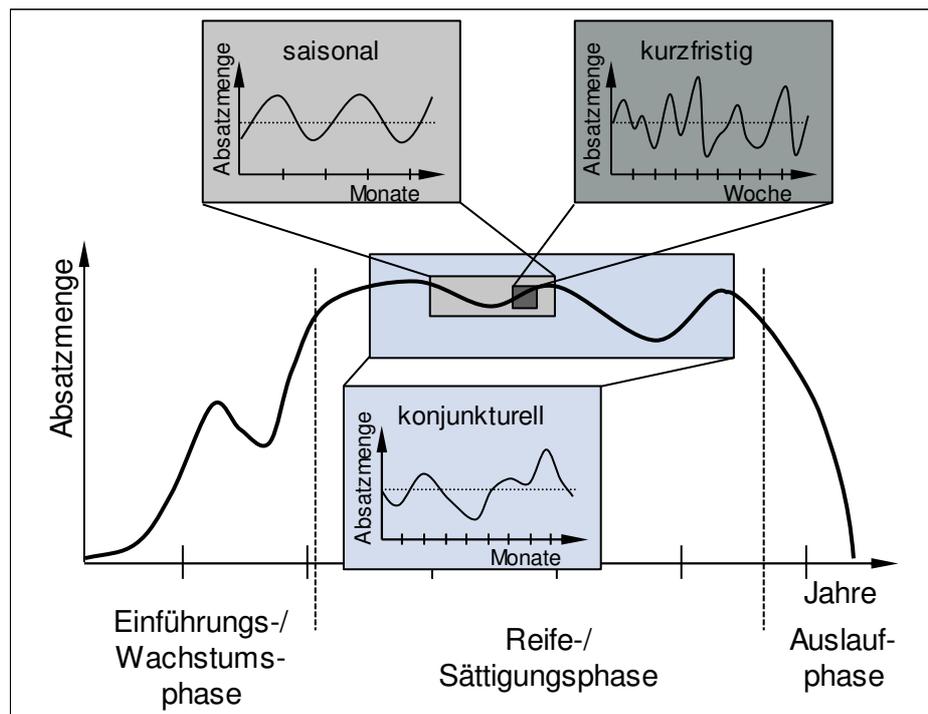


Abbildung 2.2: Produktspezifische Lebenszykluskurve (i.A.a. Reinhart et al. 1999b: 413)

Anhand dieses beispielhaften Nachfrageverlaufs sind sowohl die Trends als auch die Schwankungen erkennbar. In der Einführungs- und Auslaufphase verhält sich die Kurve sowohl nichtlinear (z.B. durch die Marktverbreitung des Produktes), als auch sprunghaft (z.B. durch Marketingaktionen oder den Stopp der Produktion). In der Reife- und Sättigungsphase ist ein eher linearer Verlauf zu erkennen, welcher zum Beispiel durch eine Marktsättigung bedingt ist. Diese Trendbewegungen werden jedoch von zusätzlichen Schwankungen begleitet. Konjunkturelle Schwankungen sind dabei kaum beeinflussbar. Saisonale Schwankungen können zum Beispiel bei Produktportfolios, bei denen die Absatzmengen von speziellen Jahreszeiten abhängig sind, auftreten. Somit ergibt sich die Belastung der Produktion durch eine Überlagerung der verschiedenen Nachfrageveränderungsformen.

2.2 Grundlagen der Kapazität und Kapazitätsplanung

Die Kapazität stellt ein Merkmal des Produktionssystems dar. Diese beschreibt das „Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit - beliebiger Art, Größe und Struktur - in einem Zeitabschnitt“ (Kern 1962: 27). Sie zeigt somit das zur Leistungserbringung bestehende Potenzial von Ressourcen zumeist des Personals und der Technologie, des Produktionssystems in einem Zeitraum auf (Betge 1996: 852). Innerhalb der Kapazitätsarten wird zwischen den primären Produktionsfaktoren (Potenzialfaktoren) und den sekundären Faktoren (Repetierfaktoren) unterschieden. Als Potenzialfaktoren, welche in dieser Arbeit als durch Maßnahmen beeinflussbare Kapazitäten betrachtet werden, gelten jene Ressourcen die für den Transformationsprozess benötigt werden. Diese sind unter anderem personelle Ressourcen, technische Betriebsmittel wie Anlagen und Maschinen, sowie Lagerhaltungsressourcen. Sekundäre Faktoren (Repetierfaktoren) stellen die Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie das abstrakte Kapital dar und werden in diesem Forschungsprojekt als hinreichend gegebene Kapazitäten betrachtet (Betge 1996: 853). Die somit insgesamt im Unternehmen vorliegende verfügbare Kapazität wird nach RIEBEL als Marktkapazität bezeichnet (Riebel 1954: 9-12).

Die Messung der in einem Produktionssystem vorhandenen Kapazität gestaltet sich in Teilen äußerst schwer. Wo Kapazitäten technischer Anlagen über exakt darstellbare Kennzahlen definiert sind, lassen sich personelle Ressourcen zumeist nur über Abschätzungen, Erfahrungen oder Momentaufnahmen quantifizieren. Aufgrund der vorliegenden Faktorkombinationen, zwischen den Kapazitäten innerhalb der Systeme, wird zur Quantifizierung der Kapazität eine Approximation angewandt, welche die Kapazität in Zeiteinheiten oder Leistungseinheiten (Stückzahlen) ausgibt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Aufnahme eine Engpassbetrachtung, also die Quantifizierung der Systemkapazität in Höhe der geringsten vorliegenden Kapazität einer Ressource in einem linearen Prozess darstellt, da jene den limitierenden Faktor bildet. (Betge 1996: 857 - 859)

Zur Darstellung der Kapazität eines Produktionssystems hat RIEBEL ein Modell entwickelt, welches diese veranschaulicht und einen Vergleich mehrerer zulässt. Das Modell wurde insbesondere von KERN weiterentwickelt und findet noch heute Anwendung zur generellen Beschreibung von Kapazitäten (Riebel 1954: 11, Kern 1962: 135, Corsten 2016: 12). Demnach bildet sich die Kapazität des Produktionssystems aus

den drei Komponenten Kapazitätsquerschnitt, mögliche Intensität und mögliche Einsatzzeit. Der *Kapazitätsquerschnitt* stellt die Anzahl und Art einer Ressource dar, welche zur Erfüllung einer Produktionsaufgabe zur Verfügung steht. Als Beispiel können hier Mitarbeiter, Maschinen oder Anlagen in einem Betrieb angeführt werden (Kern 1962: 32f.). Die *Intensität* von Ressourcen beschreibt das Leistungsvermögen bzw. die Produktionsgeschwindigkeit dieser (Riebel 1954: 9f.). Sie ist also einerseits von der Ressource an sich, andererseits von bestehenden Rahmenbedingungen abhängig. Zu verdeutlichen ist dies anhand von personellen Ressourcen. Die Intensität ist hier unter anderem von dem Qualifizierungsgrad des Mitarbeiters abhängig. Jedoch können auch weitere Randbedingungen, wie zum Beispiel die psychische Verfassung oder der Gesundheitszustand, Einfluss auf die Intensität dieser Ressource haben. Die dritte Komponente des Modells stellt die *Einsatzdauer* dar. Diese beschreibt, mit welcher Dauer die Kapazität innerhalb des Betrachtungszeitraums verwendet werden kann (Riebel 1954: 11). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Größe nicht der gesamten Betriebszeit des Unternehmens entspricht, sondern durch Faktoren wie zum Beispiel rechtliche Bestimmungen, technische Erfordernisse oder persönliche Verteilzeiten gemindert wird. Das beschriebene Modell ist in der folgenden Abbildung 2.3 zur Veranschaulichung dargestellt.

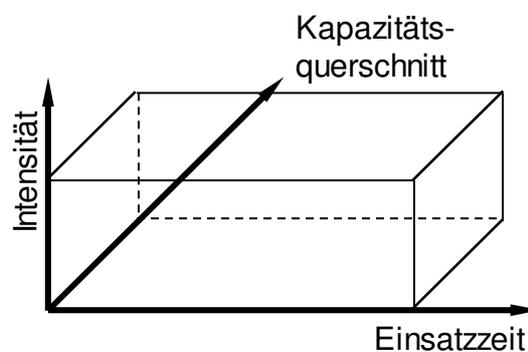


Abbildung 2.3: Kapazität eines Einproduktbetriebs (i.A.a. Riebel 1954: 11)

Zur operativen Bestimmung und Veränderung der Kapazität des Produktionssystems müssen die einzelnen Elemente dieser identifiziert und beschrieben werden. Dazu wird der Begriff der Kapazitätsstruktur eingeführt, welche nach NEBL die Grundlage zur Ermittlung und Gestaltung der Kapazität darstellt (Nebl 2011: 212). In der Kapazitätsstruktur eines Produktionssystems wird die Verknüpfung der einzelnen Elemente, wie zum Beispiel von Arbeitssystemen aus Betriebsmittelkapazitäten und Personalkapazitäten, dargestellt. Die miteinander verknüpften Arbeitssysteme können erst über die

zeitliche Nutzung als Leistungsträger für das Unternehmen bereitstehen. Die mögliche Einsatzzeit der Ressourcen wird durch das Arbeitszeitmodell beschrieben. Die folgende Abbildung 2.4 stellt schematisch die Kapazitätsstruktur eines Produktionssystems dar.

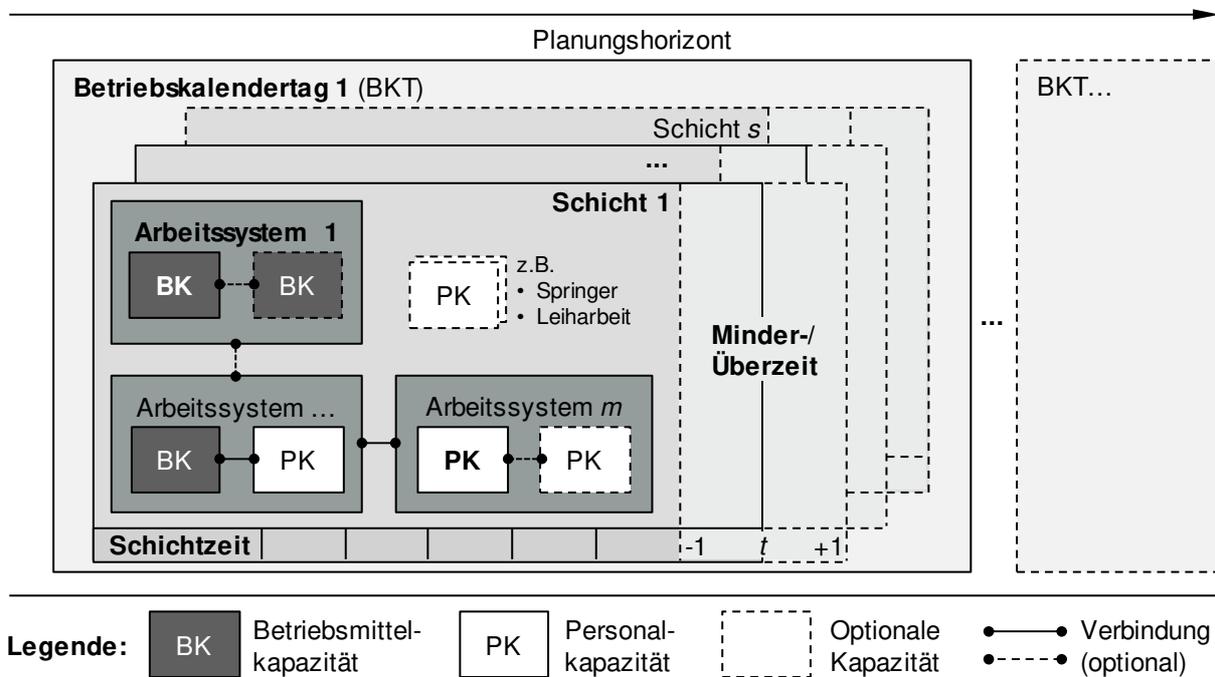


Abbildung 2.4: Elemente der Kapazitätsstruktur eines Produktionssystems

Die Planung und Steuerung der Kapazitäten eines Produktionssystems sind die übergeordneten Aufgaben der Entscheidungsinstanzen eines Produktionssystems. Die Planung ist nach REFA als „das systematische Suchen und Festlegen von Zielen sowie Aufgaben und Mitteln zum Erreichen der Ziele“ in Form von eines „angestrebten, definierten Zustands“ (REFA 1991a: 18f.). Die Steuerung ist nach REFA das „Veranlassen, Überwachen und Sichern der Aufgabendurchführung“ und dient der Realisierung der Planung (REFA 1991a: 22-24). Im zeitlichen Bezug ist die Planung als zukunftsorientiert einzuordnen und beinhaltet eine aktive Möglichkeit der Gestaltung des Produktionssystems. Die Steuerung ist im zeitlichen Bezug als gegenwartsorientiert definiert und stellt eine reaktive Möglichkeit der Beeinflussung des Produktionssystems dar (REFA 1991a: 24). Eine Teilaufgabe dieser Verfahren stellt die Kapazitätswirtschaft (Kapazitätsplanung und -steuerung) dar. Diese dient der Bereitstellung der zur Produktionsaufgabe notwendigen Kapazität in erforderlicher Qualität, Anzahl und an dem erforderlichen Ort (REFA 1991b: 186). Nach HOITSCH bestehen drei generelle Prinzipien der Kapazitätsanpassung an den Nachfrageverlauf und damit die -schwän-

kungen (Hoitsch 1993: 96f.). Das erste Prinzip der *Synchronisation* verfolgt eine kontinuierliche Anpassung der Kapazität an die Belastung. Nach dem zweiten Prinzip der *partiellen Emanzipation* wird eine stufenweise Anpassung vorgenommen. Die *totale Emanzipation* als drittes Prinzip verfolgt eine unabhängige Betrachtung des zeitlichen Verlaufs von Belastung und Kapazität und bedient die Nachfrage durch Kompensation mittels Beständen oder anderen Puffermöglichkeiten (Hoitsch 1993: 96f.). In der folgenden Abbildung 2.5 sind diese drei Vorgehensweisen qualitativ, anhand eines Nachfrageverlaufs und einer bereitgestellten Kapazität, dargestellt.

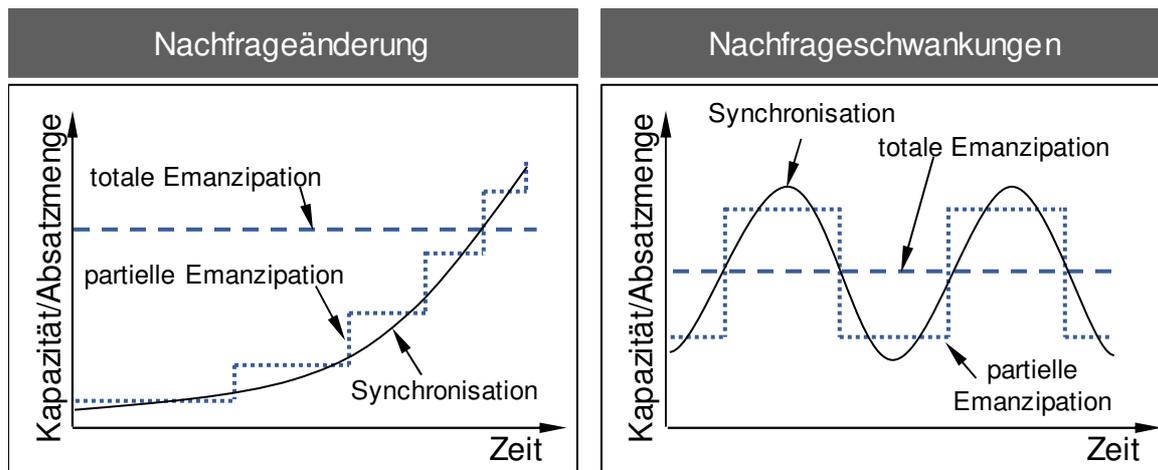


Abbildung 2.5: Prinzipielle Möglichkeiten der Kapazitätsanpassung bei Nachfrageverschiebungen bzw. -schwankungen (in Anlehnung an Reinhart et al. 1999b: 414)

Zur Änderung der Kapazität eines Produktionssystems muss dieses dafür geeigneten Mechanismen aufweisen. Hierzu wird der Begriff *Flexibilität* eingeführt. In der Literatur bestehen viele Definitionen und Interpretationen der Flexibilität. SCHNEEWEIß definiert die Flexibilität im Allgemeinen als „die Fähigkeit eines Systems, sich Veränderungen anzupassen“ (Schneeweiß 1996: 489). EVERSHEIM stellt bereits 1979 eine konkretere Definition auf. Diese kennzeichnet die Flexibilität aus Sicht des gesamten Unternehmens als „die Fähigkeit auf Änderungen der äußeren Bedingungen - wie z.B. Nachfrageschwankungen, gesetzliche Auflagen [...] - reagieren zu können, ohne deutliche Einbußen an Produktivität und Wirtschaftlichkeit hinnehmen zu müssen“ (Eversheim 1989: 34). Im produktionswirtschaftlichen Teilbereich bestehen vorherrschende Kategorisierungen der Kapazitäts-, Produkt-, Maschinen- oder Prozessflexibilität. In diesem Projekt ist besonders die Kapazitätsflexibilität, welche auch als Stückzahl-, Mengen-

oder Expansionsflexibilität bezeichnet wird, von Bedeutung. Diese beschreibt die Fähigkeit eines Systems, den Mengenausstoß, welcher durch die Veränderung der Kapazität eines Produktionssystems beeinflussbar ist, an die Nachfragemenge oder definierte Ziel anzupassen (Schneeweiß 1996: 490).

Ein Teilziel dieses Forschungsprojekts ist es somit, die Planung eines wirtschaftlichen und wettbewerbsfähigen Produktionssystems mit einer adäquaten Flexibilität zur Beherrschung der Nachfragemengen und -schwankungen zu unterstützen.

3 Darstellung der Projektergebnisse

In diesem Kapitel werden die erzielten Projektergebnisse dargestellt und beschrieben. Für ein besseres Verständnis wird hierzu zunächst ein Überblick der Teilergebnisse im Kontext des Gesamtkonzepts dargestellt (vgl. Abbildung 3.1). Anschließend werden die Teilergebnisse der einzelnen Arbeitspakete in den Kapiteln 3.1 bis 3.6 detailliert vorgestellt und beschrieben.

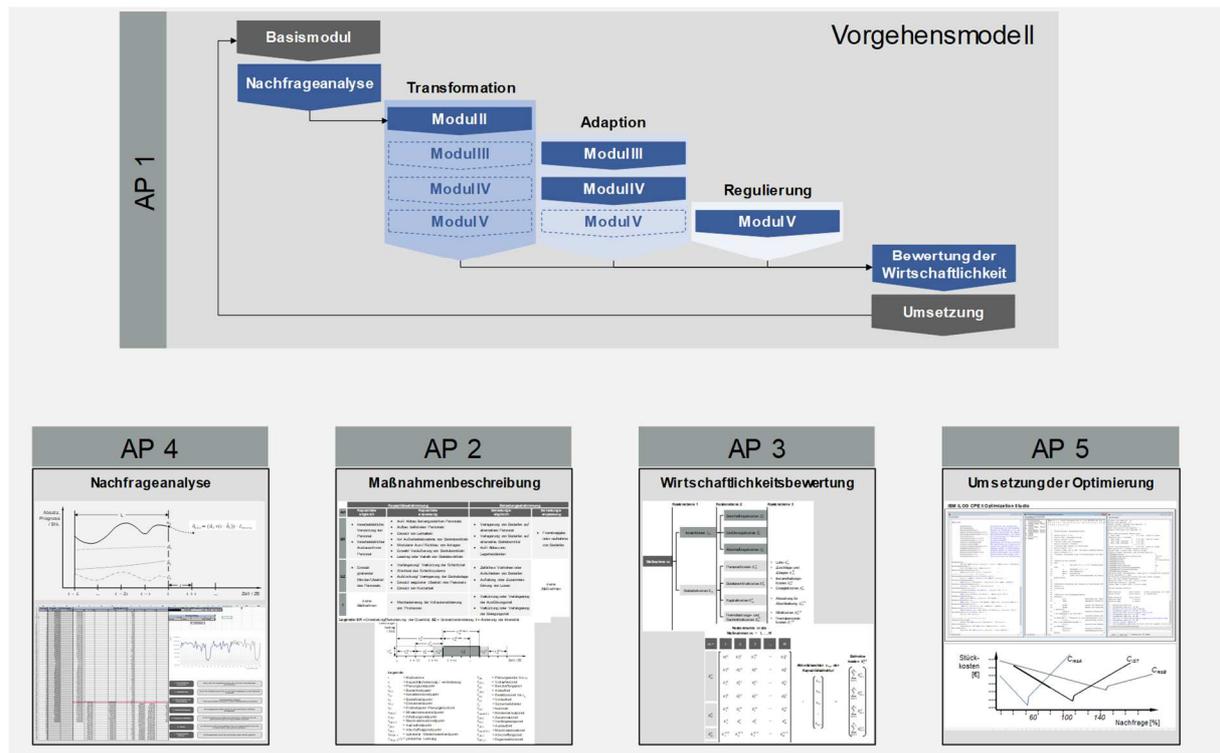


Abbildung 3.1: Entscheidungsunterstützung für KMU zur Anpassung des Produktionssystems

Das Kernergebnis des Projekts ist ein Modell zur systematischen Kapazitätsplanung im Umfeld volatiler Nachfrage. Dieses Modell wurde dabei in einen anwenderfreundlichen Demonstrator implementiert, um KMU eine Entscheidungsunterstützung zur Beherrschung von Nachfrageschwankungen zu bieten. Durch die Eingabe von unternehmensspezifischen Daten ermöglicht das Softwaretool dabei eine spezifische Fallentscheidung entsprechend der vorliegenden Herausforderung.

Im Projektverlauf wurden insgesamt sechs Arbeitspakete bearbeitet, die zur Erreichung des Ziels dienen. Im ersten Arbeitspaket (AP 1) wurde ein generelles Vorgehen zur systematischen Kapazitätsplanung und -abstimmung erarbeitet. Darauf folgend wurden im AP 2 bestehende Maßnahmen zur Kapazitäts- und Belastungsabstimmung

identifiziert, aggregiert sowie kategorisiert. Im anschließenden AP 3 wurde eine Bewertungssystematik entwickelt, um identifizierte Lösungsvarianten objektiv vergleichen zu können. Das vierte Arbeitspaket beinhaltete die Aufstellung einer Zielfunktion sowie von Lösungsalgorithmen zur Identifikation von optimalen Maßnahmenkombinationen. Im AP 5 wurden die Erkenntnisse und Ergebnisse in einen Software-Demonstrator überführt und ein Leitfaden zur Anwendung dessen erstellt. Im letzten Arbeitspaket wurden die Ergebnisse in den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses angewendet, kritisch diskutiert und verbreitet. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete detailliert vorgestellt.

3.1 Arbeitspaket 1 - Erstellung eines systematischen Vorgehens zur Produktionssystemgestaltung

Zur Erstellung eines systematischen Vorgehens zur Produktionssystemplanung wurde in einem ersten Schritt eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Hierbei galt es, verschiedene bestehende Modelle und Vorgehen der Produktionssystemplanung zu identifizieren und anhand geeigneter Kriterien miteinander zu vergleichen. Insgesamt wurden 26 bestehende Ansätze zur Planung von Produktionssystemen identifiziert². Dabei fanden stark veraltete Methoden keine Berücksichtigung. Zudem wurde der Fokus auf überarbeitete Ansätze und nicht Ihre ursprünglichen Herangehensweisen gelegt. Für eine Bewertung der Vorgehensmodelle wurden insgesamt acht Bewertungskriterien abgeleitet, welche in der folgenden Tabelle 3.1 vorgestellt und beschrieben sind. Die Reihenfolge stellt dabei keine Gewichtung der Kriterien dar.

² Reichmann (1968); Butz (1976); Eversheim und Schäfers (1980); Vähning (1985); Sauer (1987); Gupta und Buzacott (1989); Kobylka und Krause (1999); Reinhardt et al. (1999b); Petersson (2000); Breithaupt (2001); Grundmann (2007); Sesterhenn (2003); Krüger (2004); Raturi und Jack (2004); Ryan (2004); Gottschalk (2005); Zäh und Müller (2007); Abele (2008); Friese (2008); Aldinger (2009); Albey (2011); Walter et al. (2011); Berkholz (2012); Duffie et al. (2012); Schellmann (2012); Wagner (2012)

Tabelle 3.1: Qualitative Bewertungskriterien für bestehende Ansätze der Produktionssystemplanung

Nr.	Kriterien	Beschreibung
1	Ganzheitliche Betrachtung des Produktionssystems	Einbindung der Gestaltungsfelder <i>Mensch, Technik, Organisation</i> und <i>Information</i> eines Produktionssystems
2	Eignung für bestehende Produktionssysteme	Mögliche Anwendung in der Betriebsphase; Brownfield-Planung in bestehenden Produktionssystemen
3	Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	Externe Änderungen und Schwankungen der Nachfrage in ihren Ausprägungsformen
4	Differenzierte Betrachtung des Planungshorizontes	Unterscheidung und Festlegung des Horizonts von kurz-, mittel- und langfristigen Reichweiten
5	Einsatz prozessgestalterischer und kapazitiver Maßnahmen	Verwendung von personellen und technischen Maßnahmen sowie ihren Organisationsformen
6	Betrachtung von Maßnahmenkombinationen sowie -restriktionen	Beschreibung gegenseitiger Interdependenzen und resultierender sowie eigener Restriktionen
7	Ermittlung und Berücksichtigung von Maßnahmenkosten	Aufwandsbewertung der Kostenverursachung mittels klassischer oder erweiterter Wirtschaftlichkeitsrechnung
8	Bewertung anhand produktionslogistischer Zielgrößen	Maßnahmenauswahl zum Vorteil von Termintreue, Auslastung, Bestand und Durchlaufzeit

Eine umfängliche Erfüllung aller Kriterien ist durch kein bestehendes Vorgehensmodell gegeben. Wie in der folgenden Tabelle 3.2 dargestellt³, erfüllt der Ansatz nach WALTER ET AL. die meisten Kriterien in adäquater Weise. Eine Berücksichtigung der produktionslogistischen Zielgrößen wird durch diesen jedoch nicht ermöglicht, welche besonders im Umfeld volatiler Märkte an Bedeutung gewinnen. Auch ist durch das Vorgehen keine Operationalisierung der Entscheidungen ermöglicht, da keine Handlungsmöglichkeiten, zum Beispiel in Form von konkreten Maßnahmen, aufgezeigt werden.

³ Die Tabelle 12.1, Tabelle 12.2 und Tabelle 12.3 stellen eine umfängliche Bewertung der 26 identifizierten Vorgehen zur Produktionssystemgestaltung dar.

Tabelle 3.2: Auswertung der bestehenden Vorgehensmodelle der Produktionssystemgestaltung (Ausschnitt)

Ansätze	lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7
	Ansätze	Walter et al.	Wagner	Berkholz	Sesterhenn	Eversheim & Schäfer	Krüger	Breithau
	Jahr	2011	2012	2012	2003	1980	2004	2001
Kriterien	Ganzheitliche Betrachtung des Produktionssystems	●	◐	●	●	●	●	●
	Eignung für bestehende Produktionssysteme	●	●	●	●	○	●	●
	Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	●	◐	●	◐	●	●	○
	Differenzierte Betrachtung des Planungshorizontes	●	●	●	◐	○	●	○
	Einsatz prozessgestalterischer und kapazitiver Maßnahmen	◐	◐	●	●	●	○	●
	Betrachtung von Maßnahmenkombinationen sowie -restriktionen	●	◐	◐	◐	●	○	◐
	Ermittlung und Berücksichtigung von Maßnahmenkosten	●	●	○	●	●	●	○
	Bewertung anhand produktionslogistischer Zielgrößen	○	●	○	○	○	○	●

erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt
●	◐	○

Auch die weiteren Vorgehensmodelle erfüllen die aufgestellten Kriterien nicht in gefordertem Umfang. Auf Grundlage der bestehenden Ansätze wurde deshalb das in Abbildung 3.2 dargestellte Vorgehensmodell zur systematischen Produktionssystemgestaltung entwickelt. Nach diesem Vorgehensmodell werden bis zu acht Module angewandt, um eine Planung des Produktionssystems durchzuführen.

In dem Basismodul werden die relevanten Unternehmenscharakteristika sowie Produktionsmerkmale identifiziert. Dazu gehören unter anderem die IST-Situation, wie zum Beispiel bestehende Arbeitszeitmodelle, Mitarbeiter- und Betriebsmittelstruktur. Außerdem werden die potenziellen Handlungsmöglichkeiten, in Form von Maßnahmen, zur Anpassung des betrachteten Systems festgehalten. Dieses Basismodul dient für jede nachfolgende Iteration des Vorgehens als Startpunkt zur Planung des betrachteten Systems.

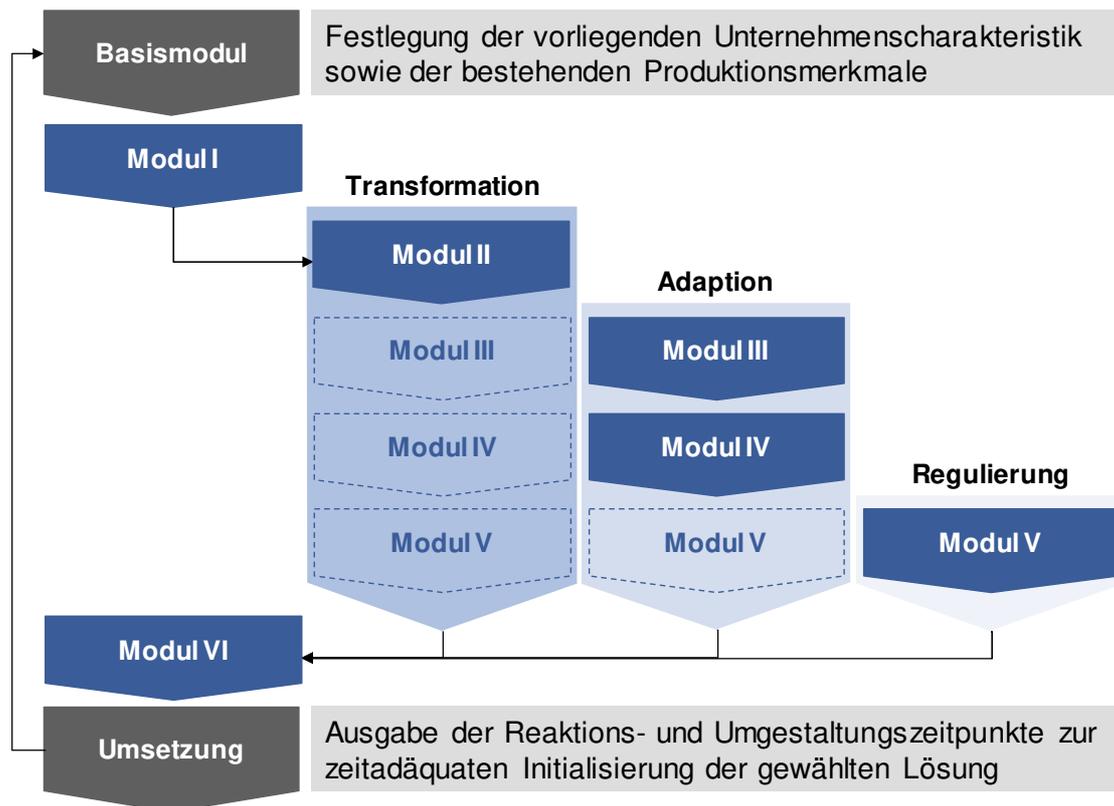


Abbildung 3.2: Systematisches Vorgehensmodell zur Produktionssystemgestaltung

Im ersten Modul wird eine Analyse der Nachfrage durchgeführt, um die Belastung des Produktionssystems zu bewerten. Des Weiteren wird das vorhandene Kapazitätsangebot untersucht und beschrieben. Diese Aufgabe geschieht in drei Schritten (vgl. Abbildung 3.3).

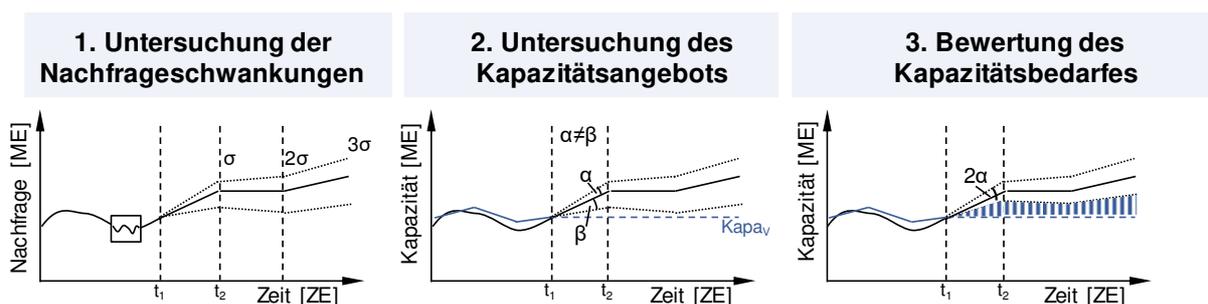


Abbildung 3.3: Modul I - Nachfrage- sowie Kapazitätsangebotsanalyse

In einem ersten Schritt wird auf Basis der vergangenen Nachfragedaten eine Prognose der zukünftigen Nachfrage aufgestellt, um die für das System resultierende Belastung zu identifizieren. Da eine Prognose von Unsicherheit behaftet ist, wird ein Prognoseintervall eingeplant, in dem sich die aufkommende Nachfrage mit bestimmter Wahr-

scheinlichkeit befinden wird. Über den Planungszeitraum erhöht sich die Prognoseunsicherheit, weshalb das Intervall sich vergrößert. So ist im langfristigen Zeitraum mit einer relativ hohen Unsicherheit der Prognose zu rechnen. Eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit ist bei der kurzfristigen Systemplanung zu erwarten. In einem zweiten Schritt wird das Kapazitätsangebot analysiert. Dabei werden die bestehenden sowie geplanten Personal- und Betriebsmittelkapazitäten berücksichtigt. Des Weiteren wird die Dämpfung des Produktionssystems durch organisatorische sowie logistische Potenziale bewertet und berücksichtigt. Im dritten Schritt wird die Bewertung des Kapazitätsbedarfs vorgenommen, indem die prognostizierte Nachfrage dem bestehenden Produktionssystem gegenübergestellt wird und die kritischen Phasen kapazitiver Über- und Unterdeckung identifiziert werden. Durch das Modul I kann somit ein Überblick über das zu erwartende Defizit von Kapazität und Nachfrage des bestehenden Produktionssystems in einem definierten Betrachtungszeitraum aufgezeigt werden.

Nach der Analyse des IST-Zustands bestehen, je nach Betrachtungszeitraum und Reaktionszeit der Veränderung, drei Möglichkeiten zur Anpassung eines Produktionssystems. Diese lassen sich als *Transformation*, *Adaption* und *Regulierung* (vgl. Abbildung 3.2) bezeichnen und sind stufenweise ineinander verschachtelt. So beinhaltet die Transformation den Prozess der Adaption, welche wiederum eine Erweiterung der Regulierung ist. Diese drei Möglichkeiten werden durch die folgenden Module zwei bis fünf dargestellt. Folgend werden diese Module, entgegen der Darstellung in Abbildung 3.2, in aufeinander aufbauender Reihenfolge beschrieben.

Das Modul V dient der Regulierung von in einem kurzfristigen Planungszeitraum identifizierten Abweichungen zwischen Kapazität und Nachfrage durch bereits bestehende und geplante Maßnahmen. Nach der Identifikation dieser Abweichungen werden Maßnahmen mit sehr kurzen Vorlaufzeiten ausgewählt und verglichen, um das Defizit zu beseitigen. Für die Auswahlentscheidung der einzuführenden Maßnahme wird eine möglichst hohe Übereinstimmung des identifizierten Defizits und des potenziellen Leistungsangebots jener angestrebt (vgl. Abbildung 3.4).

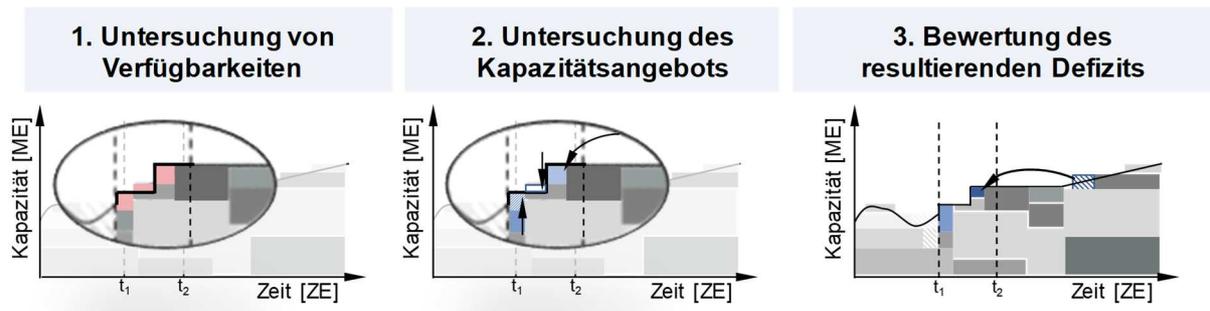


Abbildung 3.4: Modul V - Regulierung von Abweichungen durch bereits bestehende und geplante Maßnahmen

Des Weiteren sollte jene Maßnahme ausgewählt werden, deren Restverfügbarkeit maximal sowie Toleranzauswirkungen minimal sind, um den zukünftigen Handlungsspielraum möglichst wenig zu verkleinern. Resultierend aus dem kurzfristigen Planungszeitraum und damit einhergehend der Einschränkung auf Maßnahmen mit kurzen Vorlaufzeiten verfügen die einplanbaren Maßnahmen meist nur über ein verhältnismäßig geringes Leistungspotenzial bei jedoch hohen Kosten.

Für einen mittelfristigen Planungszeitraum und damit verbunden längeren Reaktionszeiten für identifizierte Defizite ergibt sich die Möglichkeit der Adaption des Produktionssystems. Dieser Prozess beinhaltet die Module III und IV, welche iterativ durchlaufen werden, sowie im Anschluss das Modul V als Regulierung. Wie in Abbildung 3.5 dargestellt, werden im dritten Modul potenziell zur Verfügung stehende Maßnahmen, hinsichtlich ihres Kapazitätsangebots, der Vorlauf- und Mindesteinsatzzeit analysiert.

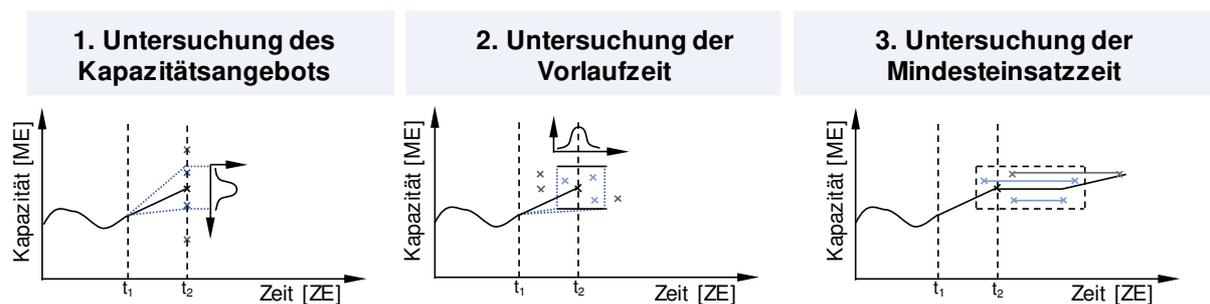


Abbildung 3.5: Modul III - Analyse potenzieller Maßnahmen hinsichtlich Kapazitätsangebot, Vorlauf- und Mindesteinsatzzeit

In einem ersten Schritt werden dazu alle Maßnahmen hinsichtlich ihres spezifischen Leistungsangebots analysiert und jene ausgewählt, deren Potenzial oberhalb des Kapazitätsbedarfs liegt. Darauffolgend werden im zweiten Schritt jene Maßnahmen ausgeschlossen deren Vorlaufzeit länger als die zur Verfügung stehende Reaktionszeit

zur Bedienung der Nachfrageveränderung ist. Abschließend werden in diesem Modul aus der Menge potenzieller Maßnahmen jene ausgewählt, deren Mindesteinsatzzeit kleiner als die Dauer der Veränderung der Nachfrage ist. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass jene Maßnahmen, deren maximale Einsatzzeit länger als die Veränderungsdauer des Bedarfs ist, aufgrund des geringeren Planungsaufwands, zu präferieren sind.

Im vierten Modul werden die identifizierten potenziellen Maßnahmen und -kombinationen in das bestehende Produktionssystem iterativ eingeplant und somit eine Behebung des Defizits ermöglicht (vgl. Abbildung 3.6).

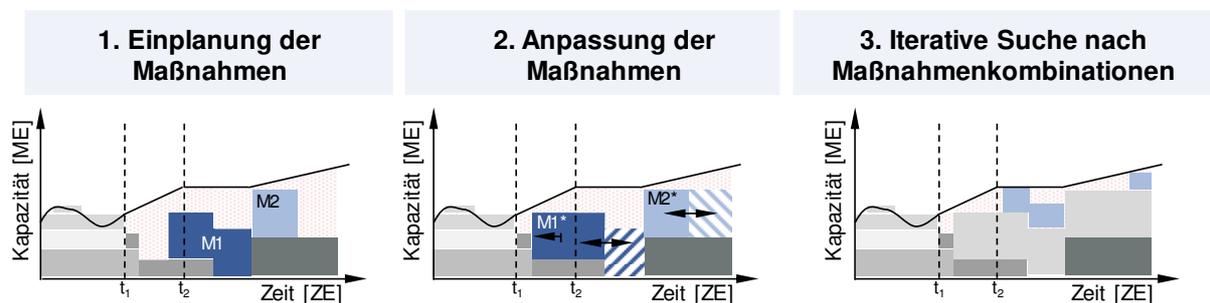


Abbildung 3.6: Modul IV - Einplanung von Maßnahmen und Kombinationen zur Behebung des erwarteten Defizits

Nach der Identifikation des lokalen Extremums des erwarteten Defizits wird eine Rangfolge der potenziellen Maßnahmen bezüglich ihres kapazitiven Wirkungsgrads aufgestellt. Anschließend wird, unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Mindesteinsatzzeit, jene Maßnahme eingeplant, welche die höchste Mengenwirkung besitzt und anschließend das resultierende Restdefizit ausgegeben. Im zweiten Schritt wird die Vorlaufzeit sowie Maximaleinsatzzeit der eingeplanten Maßnahme analysiert und anschließend der Gesamtdeckungsanteil des Defizits durch die Verlängerung der Nutzzeit oder das Vorziehen des Einsatzzeitpunktes der Maßnahme erhöht. Anschließend wird die geplante Kapazitätsstruktur auf gegenseitige Abhängigkeiten sowie resultierende, spezifische Restriktionen zu untersuchen und mit den identifizierten potenziellen Maßnahmen abzugleichen, um den bestehenden Maßnahmenpool anzupassen. Dieses Modul IV wird iterativ durchlaufen, bis eine adäquate Defizitdeckung erreicht wurde oder durch eine Unterdeckung eine Neuplanung angestoßen wird.

Für die langfristige Planung des Produktionssystems besteht, durch die Erweiterung des zweiten Moduls, die Möglichkeit der Transformation des Produktionssystems. Dabei wird die Planungsgrundlage der Kapazitätsstruktur aufgebrochen und die bereits bestehenden und eingeplanten Maßnahmen hinsichtlich Nutz- bzw. Vorlaufrestzeit analysiert (vgl. Abbildung 3.7).

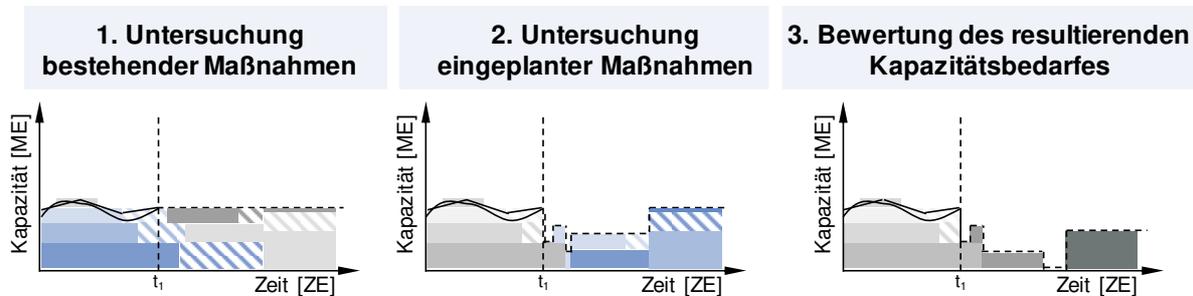


Abbildung 3.7: Modul II - Analyse bestehender sowie eingeplanter Maßnahmen hinsichtlich Nutz- und Vorlaufrestzeit

In einem ersten Schritt werden dazu die bestehenden Maßnahmen, mit einem Einführungszeitpunkt vor dem Planungszeitpunkt, analysiert und jene selektiert, deren Nutzzeit über der jeweiligen Mindesteinsatzzeit liegt. Um einen möglichst großen Handlungsraum zu ermöglichen, werden jene Maßnahmen um Ihre Zusatznutzzeit verkürzt. Folgend werden die aus einer vorherigen Produktionssystemplanung eingeplanten Maßnahmen analog zu dem vorherigen Schritt analysiert und bewertet. Im Anschluss wird die sich neu ergebende Kapazitätsstruktur des Systems mit ihren bestehenden Restriktionen bewertet und das resultierende Kapazitätsdefizit identifiziert. Dieser Prozess der Produktionssystemgestaltung wird solange iterativ durchgeführt, bis ein adäquates Ergebnis zur Deckung des Kapazitätsbedarfes vorliegt. Im Modul IV wird darauf folgend die Bewertung der zulässigen Lösung durchgeführt.

Hinsichtlich der Logistikleistung wird einerseits die Termintreue bewertet, indem die Plan-Abgangsmengen mit den IST-Abgangsmengen abgeglichen werden und die daraus resultierenden Rückstände identifiziert werden. Dies ermöglicht einen Abgleich der Terminziele und Ergebniswerte. Die Bewertung der Auslastung als Kriterium für die Logistikleistung erfolgt über die Analyse der bereitgestellten Kapazität gegenüber der prognostizierten Nachfrage. Dazu wird zu jeder kritischen Phase die entsprechende Über- bzw. Unterlastung ermittelt und anschließend die mittlere Gesamtauslastung sowie die maximal auftretende negative Abweichung aufgezeigt. Abschließend für dieses Modul wird die Bewertung der Investitionen und Kosten vorgenommen.

Dazu werden die resultierenden Stückkosten des geplanten Produktionssystems aus der erwarteten Absatzmenge und den geplanten laufenden Kosten kalkuliert. Zusätzlich wird, zur Sicherstellung der Einhaltung von maximalen Investitionsvolumina, sowohl das Gesamtinvestitionsvolumen als auch die Einzelinvestitionen und deren Aufkommenszeitpunkte ausgegeben und bewertet.

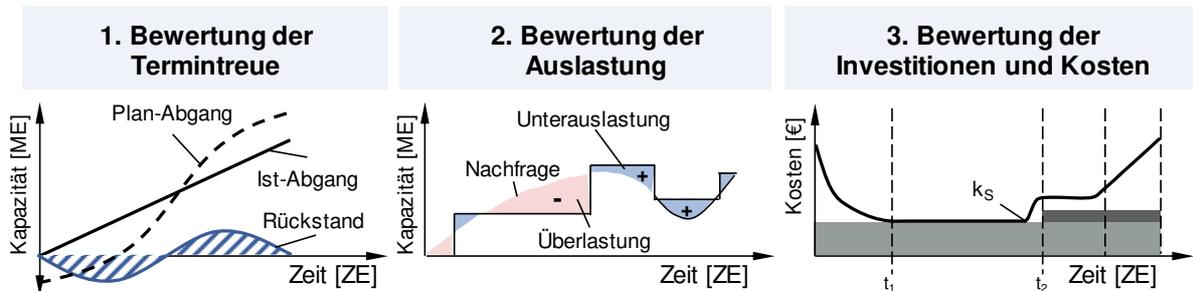


Abbildung 3.8: Modul VI - Bewertung zulässiger Lösungen hinsichtlich der Zielgrößen Logistikleistung und Logistikkosten

Damit ist es möglich, zielkonforme Lösungen auf Basis der strategisch angestrebten Logistikleistung und Logistikkosten zu ermitteln und auszuwählen.

Abschließend folgt (vgl. Abbildung 3.2), die Umsetzung der Planung unter Berücksichtigung der in dem Vorgehen identifizierten Reaktions- und Umstellzeitpunkte für eine zeitadäquate Initialisierung der gewählten Lösung. Um eine solche Lösung erzielen zu können, bedarf es für die Umplanung eines definierten Handlungsraum in Form von Maßnahmen. Diese wurden im zweiten Arbeitspaket identifiziert und werden im folgenden Kapitel beschrieben.

3.2 Arbeitspaket 2 - Identifikation und Beschreibung von Maßnahmen zur Produktionssystemgestaltung sowie Kapazitätsabstimmung

Zur Beherrschung von Nachfrageschwankungen bestehen verschiedene Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung, die in ihrer Wirkungsweise grundsätzlich zwischen einer Anpassung und einem Abgleich unterschieden werden können. Beim Abgleich wird die Kapazität / Belastung innerhalb des Betrachtungszeitraums um ein bestimmtes Delta erhöht bzw. verringert, sodass durchschnittlich ein gleichbleibendes Kapazitäts- bzw. Belastungsniveau besteht. Bei der Anpassung (mengenwirksam)

wird die Kapazität / Belastung innerhalb des Planungszeitraums, oder auch über diesen hinaus, um ein bestimmtes Delta verändert. Dabei wird eine positive bzw. negative Veränderung der durchschnittlichen Belastung oder Kapazität bewirkt (vgl. Abbildung 3.9). (Schmidt, Nyhuis 2017: 293f.)

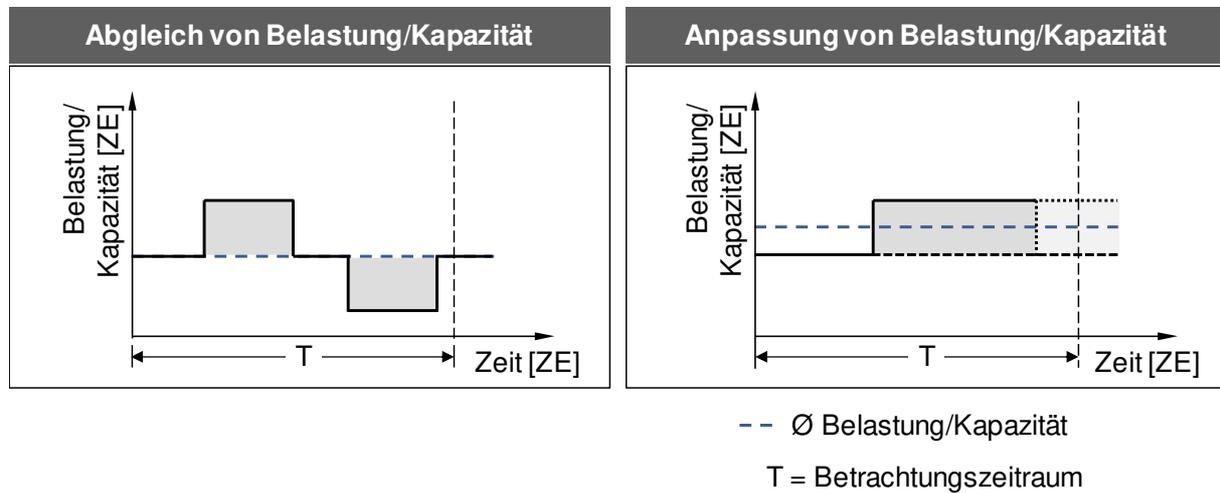


Abbildung 3.9: Differenzierung von Abgleich und Anpassung im Kontext von Flexibilität
(i.A.a. Schmidt, Nyhuis 2017: 293)

Zusätzlich können diese Maßnahmen nach den Eigenschaften Ressourcenanzahl, Einsatzzeit und Arbeitsintensität kategorisiert werden, welche nach RIEBEL denen der Kapazität entsprechen. In der folgenden Tabelle 3.3 ist eine Sammlung der identifizierten Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung, kategorisiert nach den vorgestellten Merkmalen, dargestellt.

Tabelle 3.3: Maßnahmen zur Kapazitäts- und Belastungsabstimmung (i.A.a.⁴)

Art	Kapazitätsabstimmung		Belastungsabstimmung	
	Kapazitäts-abgleich	Kapazitäts-anpassung	Belastungs-abgleich	Belastungs-anpassung
RB	Innerbetriebliche Versetzung oder Austausch von Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Auf- / Abbau von festangestelltem Personal • Aufbau von befristetem Personal • Einsatz von Leiharbeit • Erwerb / Veräußerung von Betriebsmitteln • Skalierbarer Aus- / Rückbau von Betriebsmitteln • In- / Außerbetriebnahme von Betriebsmitteln • Leasing / Verleih von Betriebsmitteln 	<ul style="list-style-type: none"> • Auf- / Abbau von Bestand im Lager (Rohmaterial, Halbfabrikate, Fertigwaren) • Verlagerung von Bedarfen auf alternatives Personal bzw. alternative Betriebsmittel 	Fremdvergabe / -aufnahme von (Teil-)Bedarfen
EZ	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz einer Zusatz- / Absageschicht • Einsatz transitorischer Minder- / Überzeit des Personals 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstockung / Verringerung der Betriebstage • Wechsel des Schichtsystems • Verlängerung / Verkürzung der Schichtzeit • Einsatz vergüteter Überzeit des Personals 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorziehen / Aufschieben von Bedarfen • Aufteilung / Zusammenführung von Bedarfen 	
AI	Verkürzung / Verlängerung der Ausführungs- bzw. Belegungszeit	Mechanisierung bis Vollautomatisierung von Arbeitsvorgängen	Legende: RB Änderung des (Ressourcen-)Bestands EZ Änderung der Einsatzzeit AI Änderung der Arbeitsintensität	

Die dargestellte Sammlung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, denn einige Handlungsmöglichkeiten, zum Beispiel der Beeinflussung der Belastung durch preispolitische Maßnahmen, fallen nicht in den Betrachtungsbereich dieses Projekts und sind somit nicht aufgeführt. Eine weitere Kategorisierung der Maßnahmen nach den

⁴ i.A.a.: Büchel 1966, 464-465; Büchel 1971, 635; Butz 1976, 35; REFA 1991b, 192; Wiendahl 2010, 323; Windt 2001, 97; Sesterhenn 2003, A13-A14; Krüger 2004, 65; Gottschalk 2005, 44 und 55; Hämmerle 2015, 16; Schmidt und Nyhuis 2017, 294

Gestaltungsfeldern der Produktionssystemgestaltung, inklusive einer kurzen Beschreibung jener, ist in Tabelle 12.4 im Anhang angefügt.

Zur einheitlichen Beschreibung und Bewertung der identifizierten Maßnahmen sowie der späteren Einbindung in ein mathematisches Entscheidungsmodell dieser bedarf es eines geeigneten Modellierungsansatzes. Hierzu wurde eine Parametrisierung für Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung entwickelt, die eine zeitliche und mengenmäßige Differenzierung ermöglicht (vgl. Abbildung 3.10).

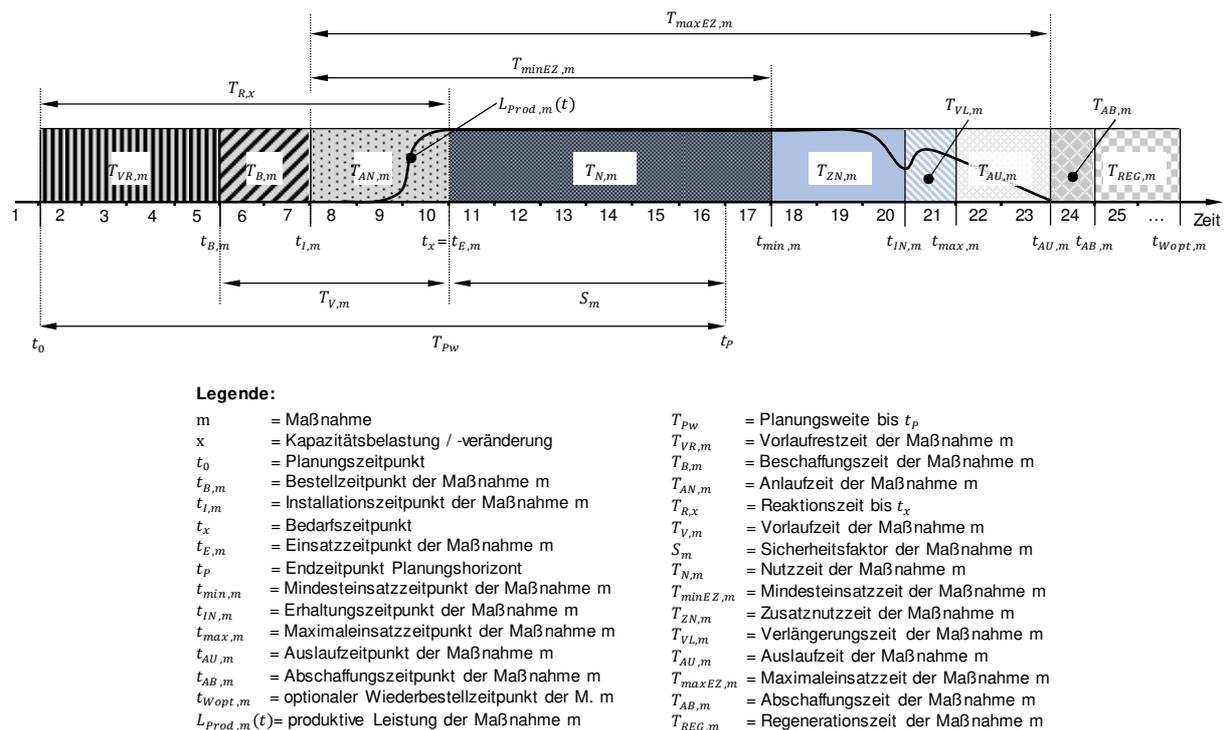


Abbildung 3.10: Parametrisierung zur zeitlichen und mengenmäßigen Differenzierung von Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung (Schmidt und Nyhuis 2017: 295)

Durch die Parametrisierung können die Maßnahmen zeitlich hinsichtlich ihrer Beschaffungs-, Anlauf-, Nutz-, Zusatznutz-, Verlängerungs-, Auslauf-, Abschaffungs- und Regenerationszeit bewertet werden. Innerhalb dieser Phasen kann die produktive Leistung der Maßnahmen durch die Höhe der Leistungskurve dargestellt werden (Schmidt und Nyhuis 2017: 295). Während der Beschaffungszeit stellt die Maßnahme dem Unternehmen noch keine Leistung zur Verfügung. In der Anlaufphase der Maßnahme wird diese aktiviert bis sie zu Beginn sowie während ihrer kompletten Nutzzeit eine Normalleistung bereitstellt. Die Nutzzeit ist mit dem Ende der Mindesteinsatzzeit be-

endet, woraufhin die Zusatznutzzeit beginnt. An dieser stellen die Maßnahme ihre gewöhnliche Leistung bereit, unter Berücksichtigung ihre Anschaffungskosten haben sie sich jedoch bereits rentiert und können somit jederzeit, ohne wirtschaftlichen Schaden, abgeschafft werden kann. Zum Ende der Zusatznutzzeit sinkt die Leistung, bis zum Beispiel Instandhaltungsprozesse durchgeführt werden und erneut eine kurzweilige Leistungssteigerung in der Verlängerungszeit zur Verfügung steht. Anschließend an die Nutz- oder Verlängerungszeit folgt die Auslaufzeit, in der die Maßnahme leistungsbezogen sinkt, woraufhin in der Abschaffungszeit die Maßnahme, welche zum Beispiel für die Entsorgung von Betriebsmitteln benötigt wird. In der Regenerationszeit steht die Maßnahme nicht für das Unternehmen zur Verfügung. (Schmidt und Nyhuis 2017: 295)

Durch diese systematische Parametrisierung ist die Implementierungsmöglichkeit der identifizierten sowie weiterer potenzieller Maßnahmen in das mathematische Modell (vgl. Kapitel 3.4) zur Produktionssystemgestaltung gegeben.

3.3 Arbeitspaket 3 - Entwicklung eines Bewertungsmodells zur quantitativen Bestimmung der Maßnahmenkosten

Zur Bewertung der durch die Kapazitätsstruktur entstehenden Kosten wurde ein Modell entwickelt, welches die Kostenarten in verschiedene Ebenen einteilt. Durch diese verschiedenen Aggregationsniveaus ist es möglich, trotz eventuell nicht vorhandener detaillierter Datenbasis, eine gröbere Ebene zu quantifizieren und somit eine adäquate Auswertung zu generieren. Falls eine detaillierte Datenbasis gegeben ist, wird durch das Modell eine differenzierte Betrachtung sowie eine Berücksichtigung aller potenziell auftretenden Kosten ermöglicht. Die Kosten der Maßnahmen werden, wie in Abbildung 3.11 dargestellt, in vier Ebenen unterteilt.

Kostenarten der Betriebskosten	Personal-kosten	Personalgrund-kosten	Grundlohn (Zeit- und Leistungslohn)	unbefristeter Mitarbeiter	
				befristeter Mitarbeiter	
		Kosten für Leiharbeiter (Zeitarbeit, Leasing)			
		Personalzusatz-kosten	Zuschläge	Nacht- und Schichtarbeit	
				Sonn-, Feiertagsarbeit	
			Zulagen (Mehrarbeits-, Leistungsprämie)		
	(Vertragliche) Personalnebenkosten (Abfindungen)				
	Betriebsmittelkosten		kalkulatorische Abschreibungskosten		
			Instandhaltungskosten (Wartung, Reparatur und Werkzeuge)		
	Materialkosten	Gesamtrohstoffkosten		Rohstoffkosten	
		(Unterscheidung: Urproduktion, Fertigerzeugnissen, Fertigwaren)		Kosten für Zulieferteile	
		Betriebsstoffkosten		Kosten für Handelsware	
		Hilfsstoffkosten			
	Kapitalkosten		kalkulatorische Zinsen auf Bestände		
Fremdleistungskosten		Miet-, Pacht- oder Leasingkosten von Anlagen			
		Kosten für Werksarbeit (Arbeiter mit einem Werksvertrag)			
Materielle Investitionszwecke	Erweiterungsinvestitionen		zur Kapazitäts-/Leistungserhöhung		
	Ersatzinvestition		zum Kapazitäts-/Leistungserhalt		
	Rationalisierungsinvestition	Deinstallations- und Entsorgungskosten	Anschaffungs-investitionen (inkl. Anschaffungsnebenkosten)	zur	Substitution vorhandener durch leistungsstärkere Betriebsmittel
				Modifikation/Modernisierung	Substitution vorhandener manueller Arbeit durch automatisierte Arbeit
		Beschaffung/Aufbau von Beständen			
Immaterielle Investitionszwecke	Sicherungsinvestitionen		direkte Kosten		
			indirekte Kosten (Opportunitätskosten)		
	Umstellungsinvestition		Produktebene		
		Personalebene			

Abbildung 3.11: Hierarchie der bestehenden Maßnahmenkosten (i.A.a. Götze und Bloech 2004: 7f.)

Auf der obersten Kostenebene wird zwischen den laufenden Betriebskosten und den materiellen bzw. immateriellen Investitionskosten differenziert. Anschließend wird die Kostenart nach dem Objektprinzip differenziert, wodurch zum Beispiel eine Unterscheidung von Personal und Betriebsmittelkosten erfolgt. In den letzten beiden Ebenen wird eine weitere Unterteilung vorgenommen, um spezifische Ausprägungen zu identifizieren. So können sich die anfallenden Kosten für eine Maßnahme, die auf das Personal wirkt, zum Beispiel aus den Grundlohnkosten für unbefristete Mitarbeiter zuzüglich der Nacht- oder Feiertagszuschläge sowie Zulagen zusammensetzen. Als weiteres Beispiel fallen bei der Beschaffung von Betriebsmitteln zumeist Investitionskosten an, die in diesem Fall für einen materiellen Zweck anfallen. Bei dieser Maßnahme können somit Rationalisierungsinvestitionen insofern auftreten, dass zuerst eine bestehende Anlage entfernt und anschließend die neue Anlage hinzugefügt wird. Auf der tiefsten Ebene kann hierbei zwischen einer Investition zum Erhalt der bestehenden Kapazität

bzw. Leistung und einer solchen zur Substitution durch ein leistungsstärkeres Betriebsmittel oder zur Automatisierung von manuellen Aufgaben unterschieden werden. In einem weiteren Schritt wurden die identifizierten Maßnahmen nach dem bestehenden Beschreibungsmodell bewertet. So ist es den KMU möglich, jegliche anfallenden Kosten den Maßnahmen zuzuordnen und so eine individuelle monetäre Bewertung vorzunehmen. Nur auf Grundlage dieser Bewertung kann eine differenzierte Entscheidung über die Einführung von Maßnahmen zur Beherrschung der Nachfrageschwankung erfolgen.

Zur Entscheidungsfindung bedarf es einer Methode zur Berücksichtigung aller Einfluss-, Gestaltungs- und Zielfaktoren. Im folgenden Abschnitt wird ein mathematisches Modell vorgestellt, welches diese Anforderungen erfüllt.

3.4 Arbeitspaket 4 - Aufstellung von Zielfunktionen und Lösungsalgorithmen zur Identifikation optimaler Maßnahmenkombinationen und Umgestaltungszeitpunkte

Für eine adäquate Planung des Produktionssystems ist die Beschreibung des zu erfüllenden Planungsziels von hoher Relevanz. Unter dem Aspekt von schwankender Nachfrage ist somit eine Abschätzung der zukünftig auftretenden Nachfrage sowie die Bestimmung der notwendigen Flexibilität der Kapazitätsstruktur essenziell. Hierzu wurde ein Beschreibungsmodell zur Absatzanalyse und Prognose nach HOLT UND WINTERS (Holt et al. 1960: 258) angewandt, welches zur Zeitreihenanalyse mittels exponentieller Glättung die Nachfragemengen der Vergangenheit in ihr Niveau, ihren Trend und ihre Abweichung unterteilt. Das Niveau entspricht dabei der mittleren Absatzmenge, der Trend entspricht der Steigung jener und die Schwankung ihrer Abweichung. Auf Grundlage dieser differenzierten Betrachtung des Absatzes kann eine adäquate Prognose aufgestellt werden (vgl. Abbildung 3.12).

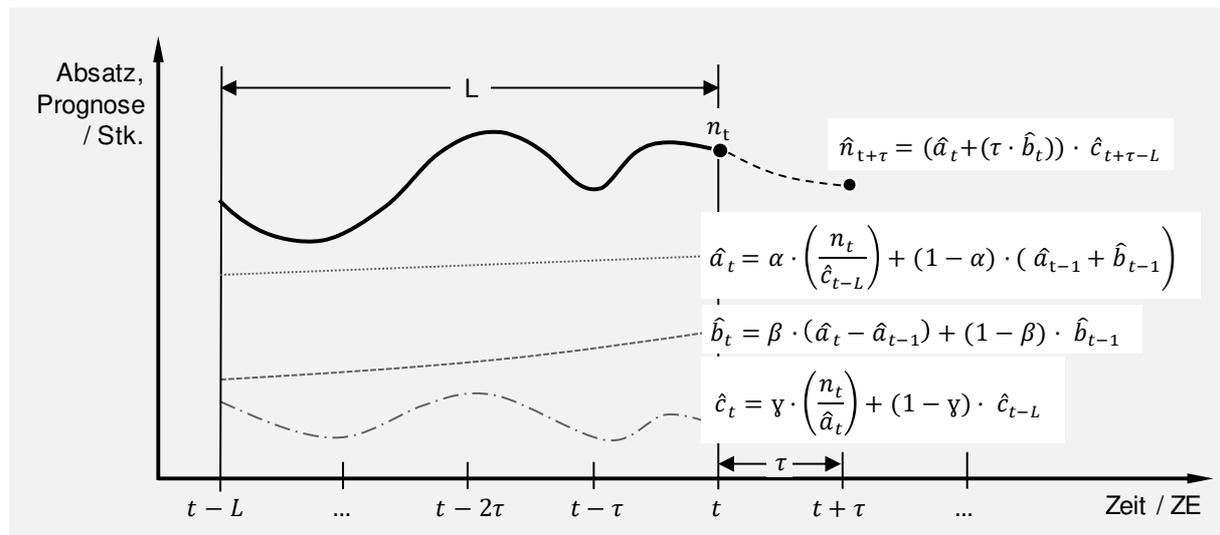


Abbildung 3.12: Zeitreihenanalyse mittels exponentieller Glättung nach HOLT UND WINTERS (i.A.a. Holt et al. 1960: 258)

Die Glättungsfaktoren α , β und γ können dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen und gewichten die Vergangenheitswerte der Nachfragemenge. Als Beispiel wird folglich bei einem Wert von $\alpha = 0$ nur der letzte Niveauwert des Absatzes für die Berechnung der Prognosewerte verwendet, hingegen bei $\alpha = 1$ die gesamte bestehende Datengrundlage der Niveauwerte. Über die Anpassung und Abstimmung dieser Glättungsfaktoren ist eine Erhöhung der Güte der Prognose möglich. Dazu muss eine Prognose für den bereits vergangenen Zeitraum, in dem Nachfragemengen aufgezeichnet wurden, aufgestellt werden und ein Abgleich sowie eine Optimierung stattfinden. Unter der Annahme der Kontinuität der Nachfrage unter Verwendung der beschriebenen Analyse gelingt es mithin, ein adäquates Planungsziel der Produktion zu beschreiben.

Zur Abstimmung der Kapazitätsstruktur des Produktionssystems auf die identifizierte Belastung wurde ein mathematisches Modell aufgestellt, welches die Berücksichtigung aller relevanten Restriktionen sowie fördernde und hemmende Faktoren der Leistungsbereitstellung gewährleistet. Die für dieses Modell benötigten Indizes, Parameter und Variablen sind in der folgenden Tabelle 3.4 dargestellt und kurz erläutert.

Tabelle 3.4: Indizes, Parameter und Variablen des mathematischen Optimierungsmodells zur Produktionssystemgestaltung

Indizes	Bedeutung
$m = 1, \dots, M$	Maßnahmen m
$n = 1, \dots, N$	Alias n der Maßnahme m
$s = 1, \dots, S$	Spezifischer Ident s der Maßnahme m
$t = 1, \dots, T$	Periode
Parameter	Bedeutung
$c_{m,t}$	Kostensatz der Maßnahmen m in Periode t
I_m	Investitionskosten der Maßnahme m
d_t	Nachfragemenge in der Periode t
$V_{m,n}$	Besetzungsverhältnis von Maßnahmen m zu n
l_m	Spezifisches Leistungsvermögen der Maßnahmen m
t_m^{vorl}	Vorlaufzeit der Maßnahmen m
$OG_m^{Periode}$	Obergrenze der Maßnahmen m in Periode t
OG_m^{Plan}	Obergrenze der Maßnahmen m im Planungszeitraum
I^{max}	Maximales Investitionsvolumen im Planungszeitraum
T_m^{EZmin}	Minimale Einsatzzeit der Maßnahmen m
T_m^{EZmax}	Maximale Einsatzzeit der Maßnahmen m
$A_{m,n}$	Abgeltungsparameter für Maßnahme m durch Maßnahme n
Variablen	Bedeutung
$y_{m,s,t}$	Entscheidungsvariable zur Nutzung der spezifischen Maßnahme s
$z_{m,s,t}$	Entscheidungsvariable zur Einführung der spezifischen Maßnahme s

Ziel einer wirtschaftlichen Produktion ist es, die einmalig und fortlaufend anfallenden Kosten der Kapazitätsstruktur zu minimieren. Folglich wurde für das Modell folgende Zielfunktion aufgestellt:

$$\min Z = \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \left((c_m \cdot y_{m,s,t}) + (I_m \cdot z_{m,s,t}) \right) \quad (3-1)$$

Die anfallenden Kosten berechnen sich nach Gleichung (3-1) aus dem Produkt der Kosten je Maßnahme und der Entscheidungsvariable $y_{m,s,t}$, die angibt, ob eine Maßnahme mit dem Ident s in der Periode t genutzt wird, also aktiv ist. Zusätzlich werden die Investitionskosten berücksichtigt, die entstehen, wenn eine Maßnahme mit dem Ident s neu eingeführt wird.

In dem Modell wird die Annahme getroffen, dass die Nachfrage von dem Unternehmen bedient wird und somit die Kapazität des Produktionssystems diese immer überdeckt. Folglich ist nach Restriktion (3-2) die Kapazität, welche sich aus dem spezifischen Leistungsvermögen der Maßnahme mit dem Ident s und ihrer Nutzung ergibt, immer größer oder gleich der Nachfrage in der jeweiligen Periode t .

$$d_t \leq \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S l_m * y_{m,s,t} \quad \forall t \in T \quad (3-2)$$

Zur Bereitstellung der Leistung bedarf es bei vielen Maßnahmen einer Maßnahmenkombination, also der gleichzeitigen Einführung einer anderen Maßnahme. Als Beispiel kann hier die Anschaffung einer neuen, teilautomatisierten Anlage genannt werden. Diese Anlage benötigt einen Mitarbeiter, der sie bedient, um eine Leistung bereitstellen zu können. Somit wird für das Modell ein Besetzungsverhältnis $V_{m,n}$ eingeführt. Dieser Parameter verdeutlicht quantitativ, wie oft die Maßnahme m für die Maßnahme n vorliegen muss oder neu mit eingeführt werden muss, um ihre Leistung bereitzustellen. Mithin wird die folgende Restriktion (3-3) aufgestellt:

$$\sum_{s=1}^S (y_{m,s,t} \cdot V_{m,n}) \leq \sum_{s=1}^S y_{n,s,t} \quad \forall m \in M; n \in N; t \in T \quad (3-3)$$

Zur Einführung einer Maßnahme muss noch die jeweilige Vorlaufzeit berücksichtigt werden (vgl. Gleichung (3-4)). Während dieser Zeit kann die Maßnahme keine Leistung bereitstellen.

$$\sum_{t=1}^T y_{m,s,t} \leq 0 \quad \forall m \in M, s \in S, t \in t_0 \leq T_m^V \quad (3-4)$$

Die Periode t_0 beschreibt dabei den aktuellen Planungszeitpunkt der Maßnahmeneinführung.

Zur Beschreibung der Periode, in der eine Maßnahme mit dem Ident s neu eingeführt wird, bedarf es einer Bestimmung der Variablen $z_{m,s,t}$. Eine Maßnahme wird neu eingeführt, wenn sie in der Periode $t-1$ nicht, in der Periode t jedoch dann genutzt wird. Somit ergibt sich für die Berechnung der Entscheidungsvariablen der Einführung einer Maßnahme folgende Gleichung (3-5):

$$y_{m,s,t} - y_{m,s,t-1} \leq z_{m,s,t} \quad \forall m \in M, s \in S, t \in T \quad (3-5)$$

Durch die Einführung einer Maßnahme entstehen Investitionskosten, die in die Zielfunktion mit eingehen. Generell muss in einer Optimierung der Kapazitätsstruktur jedoch das mögliche Budget des Unternehmens berücksichtigt werden. Dieses maximale Investitionsvolumen I^{max} muss im Vorhinein als Parameter eingegeben werden und wird anschließend durch die Restriktion (3-6) einbezogen.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T (I_m \cdot z_{m,s,t}) \leq I^{max} \quad (3-6)$$

Des Weiteren ist bei der Maßnahmeneinführung die Einführungshäufigkeit dieser zu berücksichtigen. Dabei ist zwischen zwei Betrachtungszeiträumen zu differenzieren. Einerseits kann eine Beschränkung innerhalb des gesamten Planungszeitraums vorliegen, wie dies zum Beispiel bei der zur Verfügung stehenden Fläche und dem Platzbedarf für neue Betriebsmittel der Fall ist. Andererseits kann eine Begrenzung je Periode vorliegen, wie zum Beispiel bei Überstunden für Mitarbeiter. Hierbei bestehen gesetzliche Grenzen, die eingehalten werden müssen. Diese Restriktionen sind in den Gleichungen (3-7) und (3-8) abgebildet.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S z_{m,s,t} \leq OG_m^{Plan} \quad \forall m \in M \quad (3-7)$$

$$\sum_{s=1}^S z_{m,s,t} \leq OG_m^{Periode} \quad \forall m \in M; t \in T \quad (3-8)$$

Neben den Restriktionen zur Einführung der Maßnahmen bestehen zusätzlich solche der Einsatzdauer von Maßnahmen. Diese können sich für die jeweiligen Maßnahmen als Mindesteinsatzzeiten sowie als Maximaleinsatzzeiten darstellen. Eine Mindesteinsatzzeit liegt zum Beispiel bei der Einstellung von neuen Mitarbeitern vor. Eine Maximaleinsatzzeit liegt als Beispiel bei der Einstellung von Leiharbeitern vor, da diese per Gesetz maximal 18 Monate als solche angestellt sein dürfen⁵. Diese Bedingungen sind in den folgenden Gleichungen abgebildet:

$$\sum_{t=1}^T y_{m,s,t} \geq \sum_{t=1}^H (z_{m,s,t} \cdot T_m^{EZmin}) \quad \forall m \in M; s \in S \quad (3-9)$$

$$\sum_{t=1}^T y_{m,s,t} \leq T_m^{EZmax} \quad \forall m \in M; s \in S \quad (3-10)$$

Außerdem bedarf es einer Gleichung, welche die Abgeltung von Maßnahmen ermöglicht. So müssen beispielsweise gleitende Überstunden durch gleitende Minderstunden wieder ausgeglichen werden. In diesem Modell wird dabei die Annahme aufgestellt, dass die Maßnahmen, welche eine Abgeltung erfordern, innerhalb des Planungszeitraums ausgeglichen werden müssen. Dies wird angenommen, da eine Verfestigung der Strukturen vermieden werden soll und somit auch für die zukünftigen Planungen ein ausreichender Handlungsspielraum bestehen soll. Für diese Restriktion wird der Parameter $A_{m,n}$ eingeführt, der den Wert 1 besitzt, wenn die Maßnahme n die Maßnahme m ausgleichen kann. Die Bedingung wird durch die folgende Gleichung (3-11) dargestellt:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T (y_{m,s,t} \cdot A_{m,n}) = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T y_{n,s,t} \quad \forall m \in M; n \in N; t \in T \quad (3-11)$$

Durch das beschriebene mathematische Modell wird, unter Berücksichtigung der eingegebenen Kennwerte, die kostenminimale Kapazitätsstruktur zur Bedienung der prognostizierten Nachfrage ermittelt. Zu beachten ist hierbei, dass lediglich eine Lösung erzeugt wird. Besonders vor dem Hintergrund der potenziell fehlerbehafteten Prognose sollten mehrere Lösungen durch Variation der Eingabewerte erzeugt werden und daraufhin unter strategischen Bewertungskriterien eine adäquate Lösung gewählt

⁵ Vgl. Arbeitnehmerüberlassungsgesetz §1, Abs. 1b

und umgesetzt werden. Für einen Vergleich verschiedener Lösungen ist die Betrachtung von Stückkostenkurven vorzuziehen. Diese können einerseits je Periode und andererseits im Mittel über den gesamten Planungszeitraum, unter Berücksichtigung der jeweiligen Absatzmenge und der entstehenden Kosten, ermittelt werden. Durch die schwankenden Nachfragemengen können sogenannte Kostenkurven aufgezeichnet werden, welche die jeweiligen Stückkosten bei der bestehenden Nachfragemenge und der vorliegenden Kapazitätsstruktur darstellen. In der Abbildung 3.13 sind zwei generell zu unterscheidende Produktionssysteme dargestellt, die sich durch die Kostensensibilität c_{var} und das Kostenniveau c_{min} unterscheiden. Bei einem starren Produktionssystem ist die Kapazitätsstruktur so ausgelegt, dass die einzelnen Elemente eine stark steigende Stückkostenkurve aufweisen sowie alle auf dieselbe Nachfragemenge ausgerichtet sind. Ein mengenflexibles Produktionssystem kennzeichnet sich durch das Gegenteil aus. Hierbei sind die einzelnen Elemente der Kapazitätsstruktur eher kostenunsensibel und auf verschiedene Nachfragemengen ausgerichtet (Hoitsch 1993: 99). Bei der Abweichung der Produktionsmengen von einem Optimum einer Anlage steigert sich der monetäre Aufwand nur gering, bis eine weitere Anlage in ihrem Kapazitätsoptimum operiert. So ist eine Anpassung der Kapazität an die Nachfrage mit geringem Aufwand zu bewältigen (Hoitsch 1993: 98f.). Zusammenfassend zeichnet sich ein starres Produktionssystem durch eine sehr kostensensible Stückkostenkurve bei einem geringen Kostenniveau aus. Ein flexibles Produktionssystem hingegen durch eine kostenunsensible Stückkostenkurve bei einem höheren Kostenniveau.

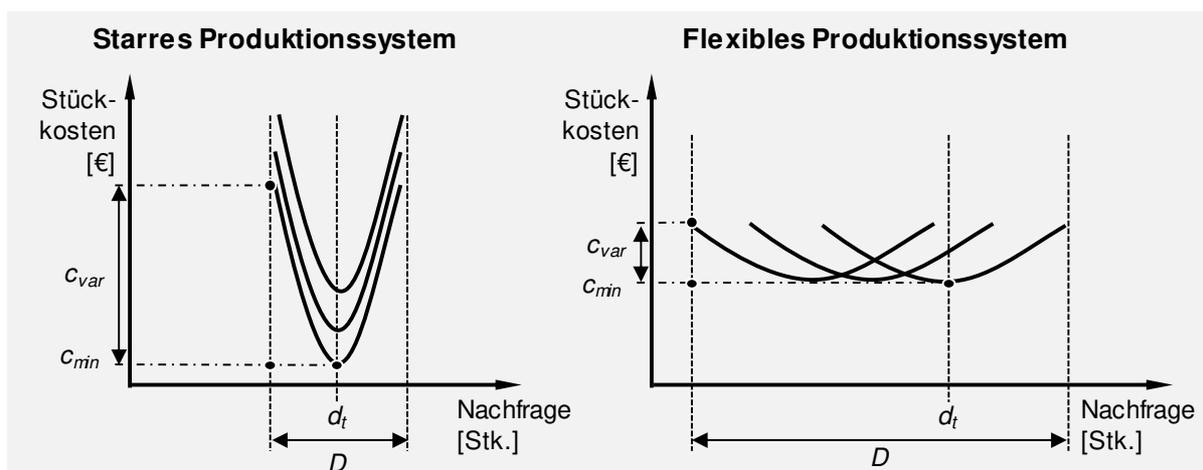


Abbildung 3.13: Eigenschaften von Stückkostenkurven (i.A.a. Hoitsch 1993: 99)

Durch die Erzeugung verschiedener Lösungen möglicher Kapazitätsstrukturen durch das Optimierungsmodell und durch die Visualisierung der Stückkostenkurven kann somit eine strategische Positionierung durchgeführt werden (vgl. Abbildung 3.14).

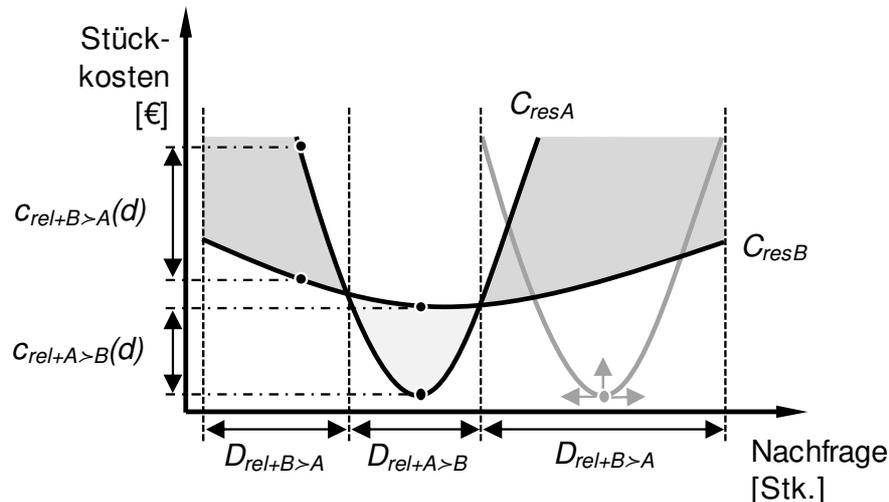


Abbildung 3.14: Bewertung und Vergleich von Kapazitätsstrukturen zur strategischen Positionierung des Produktionssystems

Durch die Komplexität des Entscheidungsmodells wurden die Ergebnisse im folgenden Schritt in einen Softwaredemonstrator implementiert.

3.5 Arbeitspaket 5 - Überführung der Ergebnisse in einen anwenderfreundlichen Software-Demonstrator und Leitfaden

Für die Anwendung der Ergebnisse wurden diese in einen Demonstrator implementiert, welcher auf MICROSOFT EXCEL basiert. Die mathematische Optimierung erfolgt unter automatischer Daten Aus- und Rückgabe mit dem IBM ILOG CPLEX OPTIMIZATION STUDIO unter Verwendung des General Algebraic Modeling System in der Anwendung GAMS. Die Eingabe der unternehmensspezifischen Daten erfolgt auf verschiedenen Arbeitsblättern in der Excel Arbeitsmappe. Dies umfasst Betriebs- und Planungsdaten wie zum Beispiel die geplanten Arbeitstage mit ihrem jeweiligen Schichtsystem, den Mitarbeiterbestand und Betriebsmittelkennzahlen. Außerdem werden in einem Katalog für das Unternehmen relevante Maßnahmen (vgl. Kapitel 3.2) aufgezählt und in weiteren Arbeitsblättern nach ihren Kosten, Leistungen und Abhängigkeiten beschrieben. In dem Demonstrator besteht die Möglichkeit, auch weitere Maßnahmen zu implemen-

tieren und zu beschreiben, damit auch Maßnahmen, die nicht innerhalb dieses Projektraums erfasst wurden berücksichtigt, werden können. Zusätzlich ist die Handhabung des Demonstrators sowie die Eingabemöglichkeit der einzelnen Parameter in einem kurzen Leitfaden beschrieben.

Die Eingabe der Nachfragewerte erfolgt manuell in das Absatz und Prognose Arbeitsblatt. Nach dem vorgestellten Verfahren nach HOLT und WINTERS werden diese realisierten Nachfragemengen analysiert und eine Prognose aufgestellt. Dabei besitzt der Anwender die Möglichkeit manuell die Datengrundlage zu manipulieren, um eine verbesserte Prognose zu erhalten. Dies ist notwendig, da in der Prognose Sonderereignisse, wie zum Beispiel Sonderaktionen der Preisbildung der betrachteten Produktgruppe oder derer Substitute, ausgeschlossen werden müssen. Der Demonstrator ermöglicht mittels einer Minimierung des Prognosefehlers in einem Trainingsbereich, also in dem Bereich in dem eine Prognose aufgestellt wird, jedoch noch tatsächliche Nachfragemengen bekannt sind, die Erhöhung der Güte der Prognose. In der folgenden Abbildung 3.15 ist exemplarisch ein Ausschnitt des Prognosetools aufgezeigt.

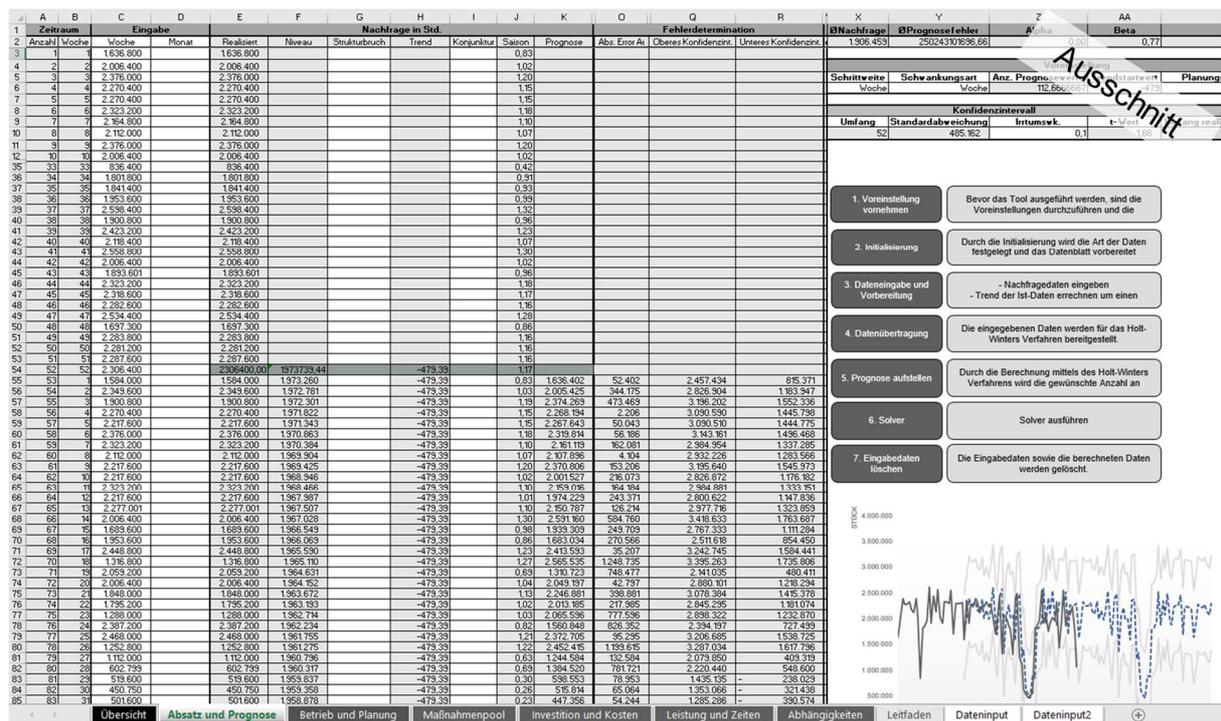


Abbildung 3.15: Ausschnitt des Prognosetools im entwickelten Softwaredemonstrator

Das Ergebnis der Prognose wird anhand einer Grafik dargestellt. In der folgenden Abbildung 3.16 ist sowohl die realisierte Nachfragemenge als auch die aufgestellte Prog-

nose dargestellt. Außerdem wird durch das Tool ein oberes und unteres Konfidenzintervall ausgegeben, in dem sich, mit der entsprechend vom Nutzer eingegebenen Wahrscheinlichkeit, die zukünftige Nachfrage abbilden wird. Dies ermöglicht dem Nutzer erneut, verschiedene strategische Positionierungen zu erzeugen und anschließend zu realisieren.

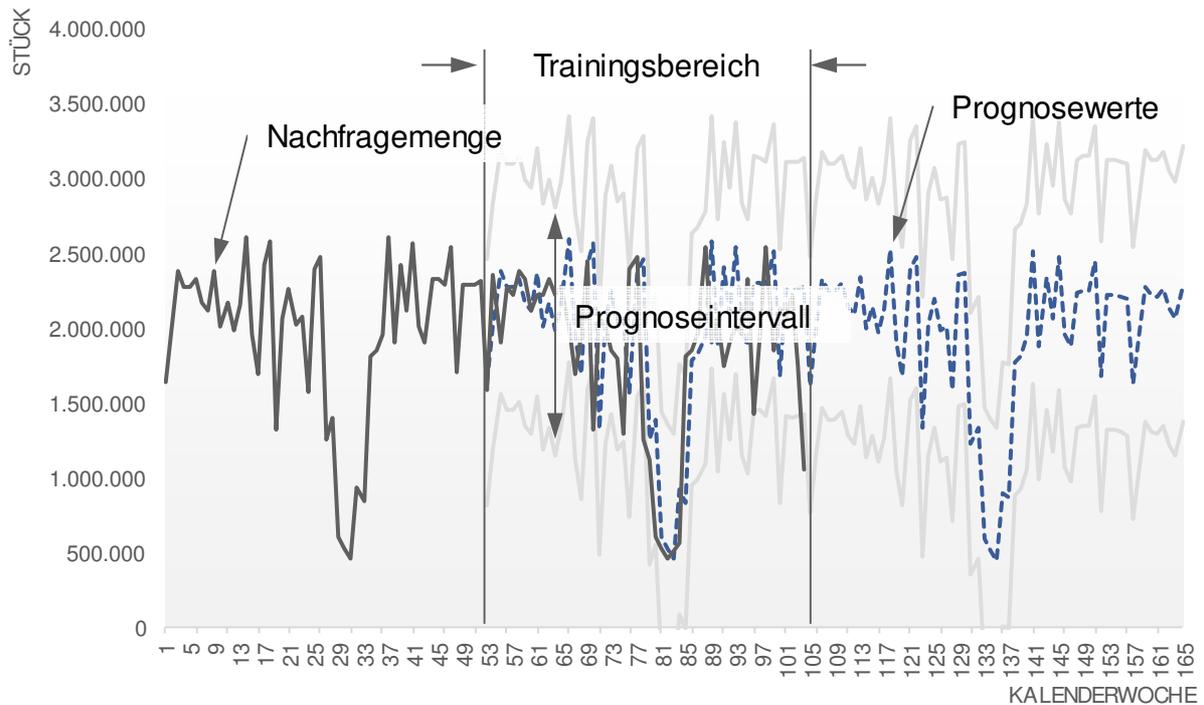


Abbildung 3.16: Darstellung der implementierten Nachfrageprognose nach HOLT und WINTERS

Die Nachfrageprognose sowie die Eingabeparameter werden im Anschluss an das externe Programm GAMS, in dem das beschriebene mathematische Modell implementiert ist, übergeben und mittels des IBM ILOG CPLEX OPTIMIZATION STUDIO eine Lösung des Problems erzeugt. Aufgrund der Komplexität des Problems ist bei dieser Software eine kostenfreie Version nicht ausreichend, sodass es der Beschaffung der einer Lizenz zur Lösung umfangreicher Problemstellungen bedarf. In der folgenden Abbildung 3.17 ist ein Ausschnitt der Optimierungssoftware abgebildet.

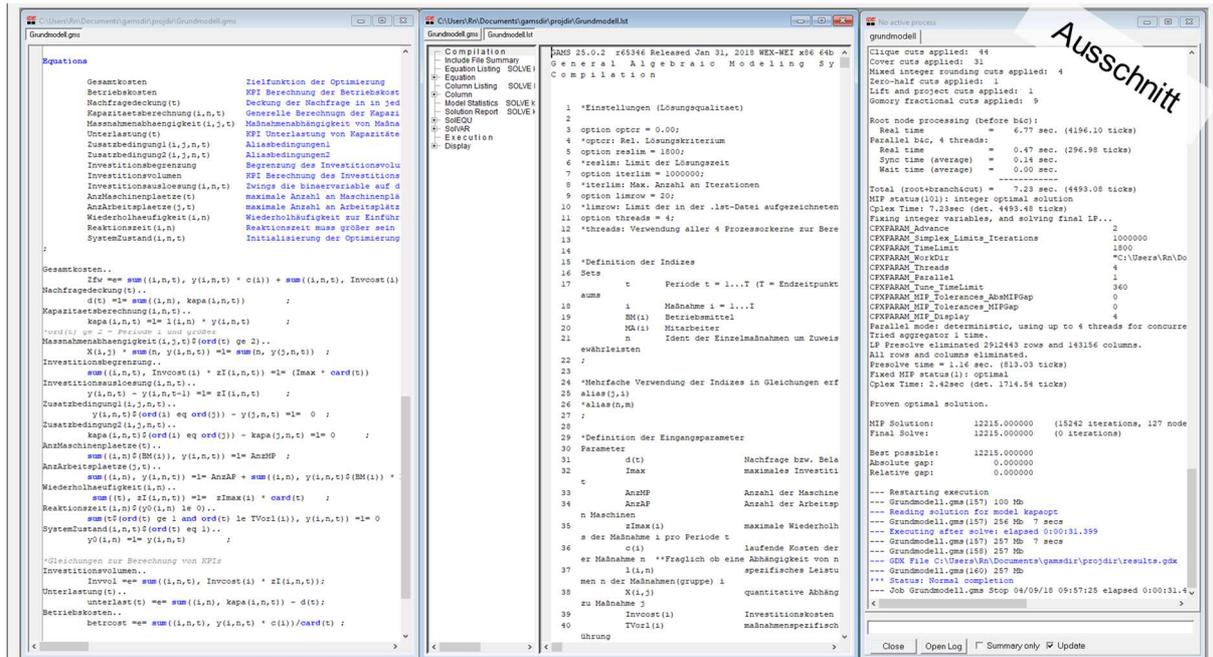


Abbildung 3.17: Exemplarischer Ausschnitt der Optimierungssoftware zur Generierung einer wirtschaftlichen Problemlösung

Nach der Lösungsfindung werden die Ergebnisse an den Excel basierten Demonstrator zurückgegeben und in Tabellenform dargestellt. Die ausgegebenen Kennwerte sind jeweils als Durchschnitt über den Planungshorizont sowie je Periode angegeben. Als die wichtigsten Kennzahlen werden die laufenden Betriebskosten, das Investitionsvolumen und die Unterlastung des Produktionssystems aufgezeigt. Für die Umsetzungsplanung werden die jeweiligen Nutzungszeiten der Maßnahmen angegeben, wodurch auch die Einführungszeitpunkte dieser dargestellt werden. Somit wird dem Anwender dargestellt, wann Veränderungen des Produktionssystems durchgeführt werden müssen (vgl. Abbildung 3.18).

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Betriebskosten / Periode	25.928,34	14004	15203	15203	6203	7202	7202	7302	11040	11140	11141	14909	14919	18758	18758	18818	22607
Investitionsvolumen / Periode	4.935.900,00	1	3	4	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	16	25	27
Unterlastung / Periode	70,65	4	5	7	8	10	11	12	13	15	16	17	18	20	21	22	23

Maßnahme	Ident	Umstellungszeitpunkt t															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
befrMA	k22																
befrMA	k23																
befrMA	k24																
befrMA	k25																
befrMA	k26																
befrMA	k27																
befrMA	k28																
befrMA	k29																
unbefrMA	k1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
unbefrMA	k2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
unbefrMA	k3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
unbefrMA	k4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
unbefrMA	k5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
mechanischeAnlage	k27																
automatisierteAnlage	k1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
automatisierteAnlage	k2																

Abbildung 3.18: Ausschnitt der generierten Lösung der Produktionssystemabstimmung

3.6 Arbeitspaket 6 - Dokumentation, Anwendung und Verbreitung der Ergebnisse

Zur Dokumentation der Ergebnisse wurde in dem Projekt ein Softwaredemonstrator entwickelt, der die Zusammenhänge abbildet und von den Anwendern zur Lösungsfindung speziell vorliegender Probleme genutzt werden kann. Zur Unterstützung wurde ein Leitfaden erstellt, der die Handhabung beschreibt sowie die geforderten Eingaben erläutert und somit eine strategische Planung des Produktionssystems ermöglicht. Für den projektbegleitenden Ausschuss stand dabei im Vordergrund, dass der Leitfaden kurz und präzise verfasst wird, da ein ausführliches Handbuch weniger zweckmäßig und eher abschreckend wirkt.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde in den vAWs der Demonstrator angewandt und Handlungsoptionen für die jeweiligen Unternehmen erstellt und kritisch diskutiert. Dort eingebrachte Impulse wurden respektive in den Demonstrator eingepflegt.

Der entwickelte Demonstrator wird auf der Projekthomepage (<https://www.ifa.uni-hannover.de/geprome>) kostenlos zur Verfügung gestellt.

Die im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnistransferleistungen sind in Kapitel 8 aufgezeigt.

4 Innovativer Beitrag und wirtschaftlicher Nutzen

Der innovative Beitrag des Forschungsvorhabens besteht vor allem in der ganzheitlichen Betrachtung der Kapazitätsabstimmung in der Produktionssystemgestaltung. Durch das entwickelte Vorgehen werden, resultierend aus der Länge des Planungshorizonts und der verbleibenden Reaktionszeit bis zur eintretenden Veränderung, verschiedene Prozesse der Transformation, Adaption und Regulierung dargestellt und ihre einzelnen, durchzuführenden Schritte aufgezeigt. Durch die kombinatorische Betrachtung der identifizierten Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung wird eine Vielzahl an Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt, die eine Verfestigung der Unternehmensstrukturen verhindern und somit eine nachhaltige Handlungsfähigkeit des Produktionssystems unterstützen. Besonders die Möglichkeit der Anpassung der Eingabeparameter des mathematischen Modells auf das unternehmensspezifische Umfeld sowie die Berücksichtigung von intuitiven Einschätzungen stellen eine Anwendungsorientierung für KMU dar.

Durch die Anwendung des entwickelten Demonstrators wird eine kostenminimale Kapazitätsstruktur des Produktionssystems entwickelt. Somit wird eine Reduzierung der anfallenden Kosten zur Deckung der Nachfragemenge ermöglicht. Eine Quantifizierung ist dabei aufgrund der verschiedenen Unternehmensumfelder nicht generell möglich. Als Beispiel führte die Anwendung der Ergebnisse durch eine studentische Arbeit in einem regional ansässigen, jedoch international operierenden Unternehmen trotz bereits zuvor eingeführter starker Rationalisierungsmaßnahmen zu einer Stückkostensenkung von ~2 %. Der wirtschaftliche Nutzen durch die Ermöglichung der strategischen Planung des Produktionssystems kann nicht direkt quantifiziert werden. Durch die langfristige Planung der Kapazitätsstruktur wird der Bedarf an kurzfristig einzuführenden Maßnahmen potenziell verringert. Dabei steht jedoch nicht nur die direkte Kostenersparnis im Vordergrund, sondern ebenso die Möglichkeit der Bedienung der Nachfrage des Kunden und damit die Leistung des Produktionssystems.

5 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Durch die Anwendung des entwickelten Demonstrators sowie die generelle Berücksichtigung der im Projekt erzielten Ergebnisse wird KMU ein Werkzeug bereitgestellt welches eine fundierte Entscheidung der zukünftigen Ausrichtung des Produktionssystems ermöglicht. Besonders aufgrund von schwankenden Nachfragemengen wurde in den KMU eine Anpassung der Kapazitätsstruktur zumeist nur unter Verwendung eines kleinen Spektrums an Maßnahmen durchgeführt. Dies resultiert in ihrer Konsequenz zu einer Handlungsunfähigkeit und den Verlust von Aufträgen. Durch die Handlungsempfehlungen für eine strategische Ausrichtung des Produktionssystems wird den Unternehmen die Möglichkeit geboten, auch langfristig Handlungsfähig zu sein und die Kundennachfrage zu bedienen.

Während der Projektbearbeitung hat sich besonders herausgestellt, dass eine strategische Positionierung des Produktionssystems oftmals noch nicht durchgeführt wurde. Vielmehr wurden die Herausforderungen des Tagesgeschäfts in den Vordergrund gestellt und so eine Bedienung der Kunden angestrebt. Im Laufe des Projekts wurde das Verständnis der KMU über die Dringlichkeit und Wichtigkeit der strategischen Positionierung gefördert. Hierzu wird den KMU mit den Projektergebnissen ein Verständnis sowie ein Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung bereitgestellt.

6 Verwendung der Zuwendungen

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte über den Zeitraum vom 01.02.2016 bis zum 31.03.2018 nacheinander durch zwei am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover beschäftigten wissenschaftlichen Mitarbeiter (TV-L 13) aus der Fachgruppe Produktionsgestaltung bzw. nach eine Gruppenezusammenführung Produktions- und Arbeitsgestaltung. Die beiden Mitarbeiter waren jeweils in Vollzeit mit der Bearbeitung des Forschungsprojekts beschäftigt.

Während der Projektlaufzeit wurden die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei den Literaturrecherchen, bei der Validierung der Systematik in den Unternehmen, bei der Vor- und Nachbereitung der Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses sowie den vorhabensbezogenen Aufwendungen in der Wirtschaft und bei der Dokumentation der Ergebnisse durch studentische Hilfskräfte unterstützt. Des Weiteren wurden durch Studierende der Leibniz Universität Hannover folgende Anzahl an studentische Arbeiten zu diesem Thema bearbeitet und durch das IFA betreut:

- 3 Master-/Diplomarbeiten
- 2 Bachelorarbeiten

7 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war zur Erreichung des Projektziels erforderlich. Der im Antrag kalkulierte Aufwand war somit für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

8 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Die Ziele für den Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft werden im Folgenden tabellarisch dargestellt und ihre Erreichung aufgezeigt:

Tabelle 8.1: Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
Umsetzung einer Projekthomepage	Informationen über das Projekt öffentlich und kostenfrei zugänglich machen	Internet	Zu Projektbeginn (Q2 2016) und während der Projektlaufzeit (Q2 2016 – Q2 2018)
Zielerreichung	Eine Projekthomepage wurde umgesetzt und Informationen bezüglich des Forschungsvorhabens öffentlich und kostenfrei zur Verfügung gestellt. (https://www.ifa.uni-hannover.de/geprome)		
Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss (PA)	Einbezug des PA in Ergebnisgenerierung zur Sicherstellung des Praxisbezugs, der Berücksichtigung von Anforderungen unterschiedlicher Branchen sowie der Anwendbarkeit	Arbeitstreffen im IFA oder bei den Unternehmen, Gespräche	Während der gesamten Projektlaufzeit (Q2 2016 – Q2 2018)
Zielerreichung	Während der Projektbearbeitung fanden sowohl Projektausschusstreffen also auch Arbeitstreffen mit den einzelnen Unternehmen statt. Projektausschusstreffen: <ul style="list-style-type: none"> • 21.04.2016; Gastgeber: Institut für Fabrikanlagen und Logistik; Garbsen • 03.11.2016; Gastgeber: Fa. Hubert Stüken GmbH & Co. KG; Rinteln • 03.08.2017; Gastgeber: Fa. Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG; Göttingen • 22.03.2018; Gastgeber: Fa. Sollingglas GmbH & Co. KG; Derental 		
Anfertigung und Veröffentlichung von Zwischenberichten	Verbreitung der Zwischenergebnisse an eine breite Öffentlichkeit	Internet, Projekthomepage	Während der gesamten Projektlaufzeit (Q2 2016 – Q2 2018)

Zielerreichung	Ein Zwischenbericht zu den erreichten Ziele wurde am 15.03.2017 fristgerecht eingereicht und auf der Projekt-homepage veröffentlicht.		
Publikationen von Teilergebnissen in Fachzeitschriften	Vermittlung von Teilergebnisse an die interessierte Fachwelt aus Industrie und Wissenschaft	Fachzeitschriften, Manuskripte,	Während der gesamten Projektlaufzeit (Q2 2016 – Q2 2018)
Zielerreichung	<p>Folgende Veröffentlichungsleistungen wurden erarbeitet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quirico, M.; Winkens, M.; Schmidt, M. (2016): Optimale Gestaltung von Produktionssystemen bei schwankender Nachfrage, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Jahrg. 111 (4), S. 204-207 • Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2017): Wirtschaftliche Beherrschung von Nachfragemengenschwankungen in der Produktion, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Jahrg. 112 (5), S. 293-296 • Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2016): Identification of Influencing Variables of Demand-oriented Measures for Volume Flexibility, Universal Journal of Management 4 (11), S. 601-606 		
Präsentation und Diskussion der Teilergebnisse auf Konferenzen und Fachtagungen	Vermittlung von Teilergebnisse an die interessierte, breite Öffentlichkeit und Austausch	Nationale und internationale Konferenzen, Messen, Tagungen, etc.	Während der gesamten Projektlaufzeit (Q2 2016 – Q2 2018)
Zielerreichung	<p>Folgende Beiträge wurden auf Konferenzen oder Fachtagungen vorgestellt und diskutiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2017): A production-logistical evaluation approach for the planning and control of demand fluctuations, In: Hung, T.-W. & Yu, C.-S. (ed.): Proceedings of the International Conference on Engineering, Science and Applications, Global Academic-Industrial Cooperation Society. Waseda University, Tokyo, pp. 72-82 • Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2018): Design Principles of Long-Term Production Planning for Cost-Optimized Demand Matching, In: Global Conference on Business and Finance Proceedings 13 (1), S. 181-188 		

Beispielhafte Anwendung der Ergebnisse in der Industrie	Prüfung der praktischen Anwendbarkeit und ggf. Verbesserung der Ergebnisse	Unternehmen des PA und weitere Interessenten	Während der Projektlaufzeit (Q1 2018 – Q2 2018)
Zielerreichung	In den dritten vAWs wurden in den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschuss Ergebnisse Handlungsempfehlungen mittels des Demonstrators entwickelt und kritisch diskutiert. Die Impulse der Unternehmen wurden anschließend implementiert und so eine hohe Anwenderorientierung geschaffen.		

Tabelle 8.2: Transfermaßnahmen nach Abschluss des Forschungsprojekts

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
Projekthomepage	Informationen und Ergebnisse (Leitfaden und Software-Demonstrator) öffentlich und kostenfrei zugänglich machen	Internet, Download	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)
Zielerreichung	Der erstellte Softwaredemonstrator wurde auf der Projekthomepage öffentlich zugänglich gemacht. Aufgrund der Komplexität des mathematischen Optimierungsmodells ist die Gesamtsoftwarelösung jedoch nicht kostenfrei.		
Anfertigung und Veröffentlichung des Abschlussberichts	Verbreitung der Ergebnisse des Forschungsprojekts in der Öffentlichkeit	Internet, Projekthomepage	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)
Zielerreichung	Der Abschlussbericht wurde nach Beendigung des Forschungsprojekts auf der Projekthomepage kostenfrei zum Download bereitgestellt.		
Publikation der Ergebnisse in Fachzeitschriften	Dokumentation / Ergebnispräsentation für interessierte Fachwelt aus Industrie und Wissenschaft	Fachzeitschriften, Tagungen	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)

Zielerreichung	Die folgenden Beiträge sind erstellt und zur Veröffentlichung geplant: <ul style="list-style-type: none"> • Schmidt, M.; Rochow, N.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (geplant in Production Planning and Control): Model for a cost-oriented production planning in the context of demand fluctuations • Rochow, N.; Schmidt, M. (geplant in Logistics Research): Model-based decision support to adjust production of small and medium-sized enterprises to fluctuating demand quantities 		
Präsentation der Ergebnisse auf Konferenzen und Fachtagungen	Wissen einer breiten Öffentlichkeit sowie der interessierten Fachwelt zugänglich machen	Nationale und internationale Konferenzen, Messen, Tagungen, etc.	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)
Zielerreichung	Auf der COMA 2019 – International Conference on Competitive Manufacturing ist ein weiterer wissenschaftlicher Austausch zu dem Thema geplant.		
Integration in die universitäre Lehre	Wissen an Studierende vermitteln	Vorlesungen, Tutorien, praktische Übungen	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)
Zielerreichung	Die generellen Erkenntnisse zur Abstimmung von Maßnahmen der Produktionssystemgestaltung des Forschungsvorhabens sollen in die Lehrveranstaltung Lean Production der Arbeitsgruppe Produktions- und Arbeitsgestaltung eingebunden werden.		
Anwendung der Ergebnisse in Industrieberatungsprojekten des Instituts	Nutzung der Ergebnisse in der Wirtschaft bei der Durchführung von Industrieberatungsprojekten des Instituts	Dienstleistungsprojekte in verschiedenen Unternehmen	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)
Zielerreichung	Im Rahmen einer Dissertation am Institut werden Teilerkenntnisse des Forschungsprojekts angewandt, umgesetzt und inhaltlich validiert. Die Erkenntnisse der Kapazitätsabstimmung bieten einen wichtigen inhaltlichen Aspekt zur Lösung von Problemen produzierender Unternehmen. Die ganzheitliche Betrachtung und Optimierung von Kapazitätsstrukturen ermöglicht eine weitere Betrachtungsebene bei der Bearbeitung von Dienstleistungsprojekten.		
Institutseigenes Seminarangebot	Erkenntnisse an Interessierte aus der industriellen Praxis vermitteln	Schulungen und Seminare in der IFA-Lernfabrik	Nach der Projektlaufzeit (ab Q3 2018)

Zielerreichung	Im Rahmen einer Abschlussarbeit wurden die Erkenntnisse des Forschungsprojekts in einem regionalen Unternehmen angewandt. Dies führte zu einer Optimierung der konventionellen Produktion von Batterien, bei der bereits starke Rationalisierungsmaßnahmen durchgeführt wurden.
-----------------------	---

9 Durchführende Forschungsstelle

Das Forschungsprojekt „GeProMe - Entscheidungshilfe für produzierende KMU zur optimalen Gestaltung des Produktionssystems bei schwankenden Nachfragemengen“ wurde über die gesamte Laufzeit von der Forschungsstelle Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover bearbeitet. Verantwortlich für die Projektbearbeitung bei der Forschungsstelle war die Fachgruppe Produktionsgestaltung, welche sich während der Bearbeitungszeit mit der Fachgruppe Arbeitswissenschaft zusammengeschlossen hat und in Produktions- und Arbeitsgestaltung umbenannt wurde. Das Fachwissen der IFA-Fachgruppe garantierte die Expertise zur strategischen und ganzheitlichen Produktionssystemgestaltung auf der Shopfloor-Ebene.

Forschungsstelle:

Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover

Produktionstechnisches Zentrum Hannover (PZH)

An der Universität 2

D-30823 Garbsen

Tel.: +49 (0)511-762-2440

Fax: +49 (0)511-762-3814

E-Mail: office@ifa.uni-hannover.de

<http://www.ifa.uni-hannover.de>

Leiter der Forschungsstelle:

Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Geschäftsführender Leiter des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik

E-Mail: nyhuis@ifa.uni-hannover.de

Projektleiter/-bearbeiter:

Maurice Schmidt, M. Sc. (Projektleiter 01.02.2016 - 30.10.2017)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der IFA-Fachgruppe Produktionsgestaltung / Produktions- & Arbeitsgestaltung

Tel.: +49 (0)511-762-19817

E-Mail: mauce.schmidt@ifa.uni-hannover.de

Niklas Rochow, M. Sc. (Projektleiter 01.11.2017 - 31.03.2018)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der IFA-Fachgruppe Produktions- & Arbeitsgestaltung

Tel: +49 (0)511-762-18192

E-Mail: rochow@ifa.uni-hannover.de

10 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 19021 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL), Schlachte 31, 28195 Bremen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Für die Förderung sei an dieser Stelle gedankt.

11 Literaturverzeichnis

- Abele, E.; Guido, R.; Kuhn, S. M. (2008): Flexible Produktionskonzepte für die saisonale Produktion. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (9), S. 585-588
- Albey, E.; Bilge, Ü. (2011): A hierarchical approach to FMS planning and control with simulation-based capacity anticipation. In: International Journal of Production Research 49 (11), S. 3319-3342, DOI:10.1080/00207543.2010.482570
- Aldinger, L. A. (2009): Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes. Dissertation. Universität Stuttgart, Stuttgart. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
- Berkholz, D. A. (2012): Grundmodell zur Kapazitäts- und Belastungsabstimmung eines Arbeitssystems in der Regeneration. Dissertation. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Garbsen. Institut für Fabrikanlagen und Logistik
- Betge, P. (1996): Kapazität und Beschäftigung. S. 852 – 862, In: Kern et al. (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft
- Breithaupt, J.-W. (2001): Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen. Grundlagen und Anwendung. Dissertation. Universität Hannover, Hannover. Institut für Fabrikanlagen
- Browne, J; Dubois, D.; Rathmill, K.; Sethi, S. P.; Stecke, K. E. (1984): Classification of flexible manufacturing systems. In: The FMS Magazine (1984) April, S. 114 – 117
- Büchel, A. (1966): Terminplanung und Terminüberwachung. In: Industrielle Organisation: Zeitschrift für Betriebswissenschaft, Management, Produktionstechnik und Organisation 35 (10), S. 460-469
- Büchel, A. (1971): Anwendung der Datenverarbeitung in der Produktionssteuerung. In: Swiss Journal of Economics and Statistics 107 (3), S. 629-640
- Butz, H.-W. (1976): Geplante Flexibilität in Unternehmungen der Einzelfertigung. Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre

- Corsten, H.; Gössinger, R. (2016): Produktionswirtschaft. Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 14. Auflage, de Gruyter, Berlin, Boston, ISBN: 978-3-11-045277-8
- Duffie, N.; Fenske, J.; Vadali, M. (2012): Coordination of Capacity Adjustment Modes in Work Systems with Autonomous WIP Regulation. *Logistics Research*, S. 99-104, DOI: 10.1007/s12159-012-0088-7
- Eversheim, W. (1989): Organisation in der Produktionstechnik Band 4. Fertigung und Montage. 2. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf, DOI: 10.1007/978-3-642-61344-9
- Eversheim, W.; Schaefer, F.-W. (1980): Planung des Flexibilitätsbedarfs von Industrieunternehmen. In: *Die Betriebswirtschaft* 40 (2), S. 229-248
- Friese, M. (2008): Planung von Flexibilitäts- und Kapazitätsstrategien für Produktionsnetzwerke der Automobilindustrie. Dissertation. Universität Hannover, Hannover. Institut für Fabrikanlagen und Logistik
- Götze, U.; Bloech, J. (2004): Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 4., durchges. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- Gottschalk, L. L. (2005): Flexibilitätsprofile. Analyse und Konfiguration von Strategien zur Kapazitätsanpassung in der industriellen Produktion. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich. Zentrum für Unternehmenswissenschaften
- Grundmann, S. (2007): Planung flexibler Produktionskapazitäten im Spannungsfeld logistischer und monetärer Ziele. Dissertation. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Hannover. Institut für Integrierte Produktion Hannover
- Gupta, D.; Buzacott, J.A. (1989): A Framework for Understanding Flexibility of Manufacturing Systems. In: *Journal of Manufacturing Systems* 8 (2)
- Handfield, R. B.; Straube, F.; Pfohl, H.-C.; Wieland, A. (2013): Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management. Embracing Global Logistics Complexity to Drive Market Advantage. Hamburg: DVV Media Group GmbH

- Hämmerle, M. (2015): Methode zur strategischen Dimensionierung der Personalflexibilität in der Produktion. Dissertation. Universität Stuttgart, Stuttgart. Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement
- Hoitsch, H.-J. (1993): Produktionswirtschaft. Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. 2. Auflage, Aus der Reihe: Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Verlag Franz Vahlen, München, ISBN: 3-8006-1619-X
- Holt, C. C.; Modigliani, F.; Muth, J. F.; Simon, H. A.; Bonini, C. P.; Winters, P. R. (1960): Planning Production, Inventories, and Work Force. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc
- Kern, W. (1962): Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung. Grundlagen und Verfahren. Habilitation, Technische Hochschule Darmstadt, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen
- Kersten, W.; Seiter, M.; See, B. v.; Hackius, N.; Maurer, T. (2017): Chancen der digitalen Transformation. Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management. Hamburg: DVV Media Group GmbH
- Kobylka, A.; Krause, M. (1999): Entwicklung einer Methode zur Planung von Produktionssystemen mit dynamischen Ressourcen. Forschungsbericht der DFG
- Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E. (2003): Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit in Unternehmen. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen. In: wt Werkstattstechnik online 93 (4), S. 254-260
- Krüger, A. (2004): Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme. München: Utz
- Nebel, T. (2011): Produktionswirtschaft. 7., überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg Verlag
- Petersson, P. (2000): Process efficiency and capacity flexibility. Developing a support tool for capacity decisions in manual assembly systems. Dissertation. Linköpings universitet, Linköping. Tekniska högskolan

- Raturi, A. S., Jack, E. P. (2004): Creating a volume-flexible firm. In: Business Horizons 47 (6), S. 69-78
- REFA (1991a): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Steuerung Teil 1. Carl Hanser Verlag, München, Wien
- REFA (1991b): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Steuerung Teil 2. Carl Hanser Verlag, München, Wien
- Reichmann, T. (1968): Die Abstimmung von Produktion und Lager bei saisonalem Absatzverlauf. Dissertation. Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt am Main
- Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C. (1999a): Reaktionsfähigkeit für Unternehmen. Eine Antwort auf turbulente Märkte. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 94 (1999) 1-2, Carl Hanser Verlag, München, S. 21 – 24
- Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Krüger, A. (1999b): Stückzahlflexible Montage- und Logistiksysteme. Integrierte Planung kapazitätsflexibler Systeme. In: wt Werkstatttechnik, Band 89 (1999) 9, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 413-418, ISSN: 0941-2360
- Riebel, P. (1954): Die Elastizität des Betriebes. Eine produktions- und marktwirtschaftliche Untersuchung. In: Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung. Gutenberg, E.; Hasenack, W.; Hax, K.; Schäfer, E. (Hrsg.), Band 1, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen
- Ryan, S. M. (2004): Capacity Expansion for Random Exponential Demand Growth with Lead Times. In: Management Science 50 (6), S.740-748
- Sauer, H. (1987): Mengen- und ablauforientierte Kapazitätsplanung von Montagesystemen. Dissertation. Universität Stuttgart, Stuttgart. Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation
- Schäfer, E. (1966): Grundlagen der Marktforschung. Marktuntersuchung und Marktbeobachtung. 4. Auflage, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen, DOI: 10.1007/978-3-663-02527-6

- Schellmann, H. (2012): Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz. Dissertation. Technische Universität München, München. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
- Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2017): Wirtschaftliche Beherrschung von Nachfragemengenschwankungen in der Produktion. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 112 (2017) 5, Carl Hanser Verlag, S. 293 – 296, DOI: 10.3139/104.111720
- Schneeweiß, C. (1996): Flexibilität, Elastizität und Reagibilität. S. 489 - 501 In: Kern et al. (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft
- Schnetzler, M.; Nölle, A.; Hasenfuß, K.; Iliev, N.; Ziegenbein, A. (2006): Supply Chain Management und Unternehmenserfolg. Trends und Herausforderungen. Eine Umfrage des Zentrums für Unternehmenswissenschaften (BWI) der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Universität Hannover. Zentrum für Unternehmenswissenschaften und Institut für Fabrikanlagen und Logistik
- Sesterhenn, M. (2003): Bewertungssystematik zur Gestaltungstruktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme. Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen. Werkzeugmaschinenlabor
- Spath, D.; Barrho, T.; Dill, C.; Klinkel, S. (2001): Quo vadis, PPS? Erfolgsfaktoren von Auftragssteuerungssystemen in dezentralen Strukturen im turbulenten Umfeld. Studie. Stuttgart: LOG_X Verlag
- Vähning, H. (1985): Flexibilität von personalintensiven Montagesystemen bei Serienfertigung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642-82422-7
- Wagner, C. (2012): Kontinuierliche Gestaltung skalierbarer Produktionsstufen. Dissertation. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Garbsen. Institut für Fabrikanlagen und Logistik
- Walter, M.; Sommer-Dittrich, T.; Zimmermann, J. (2011): Evaluating volume flexibility instruments by design-of-experiments methods. In: International Journal of Production Research 49 (6/8), S. 1731-1752

- Westerkämper, E.; Zahn, E. (2009): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-540-68890-7
- Wiendahl, H.-P., Nofen, D.; Klußmann, J. H.; Breitenbach, F. (2005): Planung modularer Fabriken. Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. Carl Hanser Verlag, München; DOI: 10.3139/9783446436022
- Wiendahl, H.-P. (2010): Betriebsorganisation für Ingenieure. 7. akt. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, DOI: 10.3139/9783446422889
- Windt, K. (2001): Engpassorientierte Fremdvergabe in Produktionsnetzen. Dissertation. Universität Hannover, Hannover. Institut für Fabrikanlagen
- Zäh, M.F.; Müller, N. (2007): A modeling approach for evaluating capacity flexibilities in uncertain markets. In: International Journal of Flexible Manufacturing Systems 19: S. 151-172; DOI: 10.1007/s10696-007-9024-6

12 Anhang

Tabelle 12.1: Umfängliche Auswertung der bestehenden Vorgehensmodelle der Produktionssystemgestaltung (Teil 1)

Ansätze	Ifd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ansätze	Walter et al.	Wagner	Berkholz	Sesterhenn	Eversheim & Schäfer	Krüger	Breithaupt	Gottschalk	Butz	Sauer
	Jahr	2011	2012	2012	2003	1980	2004	2001	2006	1976	1987
Kriterien	Ganzheitliche Betrachtung des Produktionssystems	●	◐	●	●	●	●	●	○	◐	●
	Eignung für bestehende Produktionssysteme	●	●	●	●	○	●	●	◐	◐	●
	Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	●	◐	●	◐	●	●	○	◐	◐	◐
	Differenzierte Betrachtung des Planungshorizontes	●	●	●	◐	○	●	○	●	◐	●
	Einsatz prozessgestalterischer und kapazitiver Maßnahmen	◐	◐	●	●	●	○	●	◐	●	○
	Betrachtung von Maßnahmenkombinationen sowie -restriktionen	●	◐	◐	◐	●	○	◐	●	○	○
	Ermittlung und Berücksichtigung von Maßnahmenkosten	●	●	○	●	●	●	○	●	●	◐
	Bewertung anhand produktionslogistischer Zielgrößen	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○

Tabelle 12.2: Umfängliche Auswertung der bestehenden Vorgehensmodelle der Produktionssystemgestaltung (Teil 2)

Ansätze	lfd. Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Ansätze	Gupta & Bruzacott	Schellmann	Friese	Reichmann	Vähning	Petersson	Aldinger	Zäh & Müller	Kobylka & Krause	Ryan
	Jahr	1989	2012	2008	1968	1985	2000	2009	2007	1999	2004
Kriterien	Ganzheitliche Betrachtung des Produktionssystems	●	●	◐	●	◐	◐	●	●	●	◐
	Eignung für bestehende Produktionssysteme	◐	○	◐	○	◐	○	●	○	●	◐
	Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	◐	◐	◐	◐	◐	●	◐	○	◐	○
	Differenzierte Betrachtung des Planungshorizontes	●	◐	●	◐	◐	○	○	○	○	●
	Einsatz prozessgestalterischer und kapazitiver Maßnahmen	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	○	○
	Betrachtung von Maßnahmenkombinationen sowie -restriktionen	◐	◐	◐	○	○	○	○	◐	○	○
	Ermittlung und Berücksichtigung von Maßnahmenkosten	○	●	◐	●	●	●	◐	●	○	◐
	Bewertung anhand produktionslogistischer Zielgrößen	○	○	◐	○	○	◐	○	○	○	○

Tabelle 12.3: Umfängliche Auswertung der bestehenden Vorgehensmodelle der Produktionssystemgestaltung (Teil 3)

Ansätze	lfd. Nr.	21	22	23	24	25	26
	Ansätze	Raturi & Jack	Albey	Grundmann	Reinhart et al.	Abele	Duffie
	Jahr	2004	2011	2007	1999	2008	2012
Kriterien	Ganzheitliche Betrachtung des Produktionssystems	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Eignung für bestehende Produktionssysteme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Berücksichtigung von Nachfrageschwankungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Differenzierte Betrachtung des Planungshorizontes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Einsatz prozessgestalterischer und kapazitiver Maßnahmen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Betrachtung von Maßnahmenkombinationen sowie -restriktionen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Ermittlung und Berücksichtigung von Maßnahmenkosten	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Bewertung anhand produktionslogistischer Zielgrößen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

erfüllt	teilweise erfüllt	nicht erfüllt
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tabelle 12.4: Umfänglicher Katalog von Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung (Teil 1)

Nr	Gestaltungsfeld	Maßnahmenart	Maßnahme	Beschreibung	Voraussetzungen
1	Organisation	Kapazitätsanpassung	Verlängerung oder Verkürzung von Schichten	<p>Nach BULLINGER (1995: 290) wird bei Schichtarbeit die Betriebszeit von der individuellen Arbeitszeit eines Arbeitnehmers entkoppelt. Eine Arbeitsaufgabe wird über einen langen, die Arbeitszeit eines Arbeitnehmers deutlich übertreffenden, Zeitraum von mehreren Arbeitnehmern oder Arbeitnehmergruppen bearbeitet. Die Bearbeitung erfolgt in einer festgelegten Reihenfolge und findet am selben Arbeitsplatz statt. Durch Variation des Schichtbetriebs kann die Betriebszeit der Anlagen an den Marktbedarf angepasst werden. Da die Einführung einer zusätzlichen Schicht einen signifikanten Anstieg der Kapazität bedeutet, ist dies nur bei sehr starkem Bedarfsanstieg sinnvoll. Andernfalls kann die zusätzliche Kapazität nicht optimal ausgenutzt werden und es kommt zu einer Unterauslastung. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein, zunächst die Dauer der Schichten zu verlängern. Eine Verlängerung der Schichtdauer von sieben auf acht Stunden pro Schicht führt bspw. bereits zu einer Erhöhung der Kapazität um gut 14 %. Somit ist eine exaktere Anpassung an die Marktnachfrage möglich.</p> <p>Denkbar ist darüber hinaus auch eine Kombination aus einer zusätzlichen Schicht bei Verkürzung der Schichtdauer. Auch auf diesem Weg kann die Produktion auf Schwankungen der Marktnachfrage reagieren. Die Maßnahme regelt die Kapazitätshöhe je Betriebskalendertag (BKT) und hat daher einen ressourcenorientierten Charakter.</p>	<p>Die Verlängerung oder Verkürzung von Schichten eignet sich sehr gut zur Beherrschung von schwankenden Belastungen. Jedoch begrenzen rechtliche Bedingungen den Einsatz der Maßnahme. Gegeben der Fall, dass die Verlängerung der Schichtdauer nur für eine kurze Periode angedacht ist, kann die Verlängerung durch Überstunden erreicht werden. In diesem Fall sind die gesetzlichen Restriktionen des ArbZG und des BetrVG zu beachten (vgl. "Auf- oder Abbau von gleitender Überzeit").</p> <p>Soll eine dauerhafte Verlängerung der Schichtdauer und somit der wöchentlichen Arbeitszeit der Mitarbeiter stattfinden, sind außerdem Betriebsvereinbarungen und tarifliche Bedingungen zu beachten. An dieser Stelle sei beispielhaft auf den Manteltarifvertrag der IG Metall des Landes Niedersachsen verwiesen. § 3 (1) des Manteltarifvertrags legt die regelmäßige wöchentliche Arbeitszeit auf 35 Stunden fest. § 3 (2) regelt eine mögliche Verlängerung der Arbeitszeit auf bis zu 40 Stunden pro Woche. Die Bedingung für eine solche Erhöhung ist die ausdrückliche Zustimmung des bzw. der Beschäftigten. Falls die Zustimmung nicht erfolgt, darf dem Arbeitnehmer zudem kein Nachteil entstehen. Der Arbeitgeber ist außerdem dazu verpflichtet, dem Betriebsrat am Ende des Quartals die Quote der Beschäftigten mit verlängerter regelmäßiger Arbeitszeit mitzuteilen. Diese darf 18 % aller sonstigen Beschäftigten des Betriebs nicht übersteigen (IGM 2010).</p>

2	Organisation	Kapazitätsanpassung	Erweiterung oder Reduzierung des Schichtbetriebs	<p>Falls das Unternehmen mit einer stark erhöhten Nachfragesituation konfrontiert ist, besteht die Möglichkeit, dass die Kapazitätserhöhung durch "Verlängerung (oder Verkürzung) von Schichten" nicht mehr ausreichend ist. In diesem Fall kann mit der Maßnahme "Erweiterung oder Reduzierung des Schichtbetriebs" eine deutliche Steigerung der Kapazitätsverfügbarkeit erreicht werden. Bereits durch die Erweiterung des Schichtbetriebs von einem Ein-Schicht- auf ein Zwei-Schicht-System kann die Tagesleistung des Produktionssystems verdoppelt werden. Voraussetzung für diese deutliche Leistungssteigerung ist eine ausreichende Kapazitätsauslastung. Falls diese Bedingung nicht erfüllt ist, kommt es aufgrund der nicht genutzten Kapazitäten zu kostenintensiven Leerzeiten. Die Maßnahme hat somit eine deutliche Ressourcenorientierung.</p>	<p>Um das bestehende Schichtsystem zu erweitern, bedarf es unter Umständen einer längeren Vorlaufzeit. Als Grund hierfür nennt KRÜGER (2004: 70) die Abhängigkeit von vereinbarten Arbeits-, Tarifverträgen und Betriebsvereinbarungen. Je nach Umfang der Bedingungen und bis zur Zustimmung aller Parteien, zu denen auch der Betriebsrat gehören kann, sei daher die Reaktionsgeschwindigkeit als langsam bis schnell einzustufen.</p> <p>Auch in diesem Fall wird davon ausgegangen, dass das Produktionssystem einen Einsatz der Maßnahme und somit eine Erweiterung des Schichtsystems ermöglicht.</p> <p>Auf kurze bis mittlere Sicht handelt es sich bei der beschriebenen Maßnahme um ein reversibles Instrument der Kapazitätsanpassung. Langfristig betrachtet nimmt die Reversibilität deutlich ab. Der Grund hierfür ist der Bedarf an neuen qualifizierten Mitarbeitern, um die Mehrarbeit leisten zu können. Im Falle einer langfristigen Reduzierung der Schichtanzahl werden entsprechend Personalkapazitäten abgebaut (Krüger 2004: 70).</p> <p>Es erscheint einleuchtend, dass die Maßnahme nur in Kombination mit einer die Personalkapazität erhöhenden Maßnahme umsetzbar ist. Andernfalls existiert ein personeller Engpass und es kommt zu einer Unterauslastung der Anlagenkapazitäten.</p>
3	Organisation	Kapazitätsanpassung	Erhöhung oder Verringerung der Betriebstage	<p>Neben der Erweiterung oder Reduzierung der Schichtanzahl ist auch eine Erweiterung oder Reduzierung der Betriebstage zur Veränderung der Produktionskapazität denkbar. Die Maßnahme besteht in der Erweiterung des Produktionsplans um Samstags-, Sonntags- und Feiertagsarbeit. Auf diese Weise kann durch die Erweiterung der Betriebstage von fünf auf sechs Tage pro Woche die Produktionskapazität um 20 % gesteigert werden. Die Maßnahme orientiert sich somit an den zur Verfügung stehenden Ressourcen und kann auftragsanonym eingesetzt werden.</p>	<p>Der Samstag zählt nach dem Arbeitszeitgesetz zu den normalen Arbeitstagen. Jedoch schreibt bspw. der Manteltarifvertrag der IG Metall Niedersachsen vor, die normale regelmäßige Arbeitszeit gleichmäßig oder ungleichmäßig auf fünf Werktagen (Montag bis Freitag) zu verteilen (vgl. IGM 2010, § 3 Abs. 2).</p> <p>Die Erweiterung der Betriebstage um den sechsten Tag ist somit ohne großen Aufwand möglich. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird als sehr schnell angenommen (Krüger 2004: 71).</p> <p>Dies ist im Falle von Sonntags- und Feiertagsarbeit deutlich anders. Nach § 9 ArbZG ist es Unternehmen verboten, die Arbeitnehmer an Sonn- und gesetzlichen Feiertagen von 0</p>

--	--	--	--

bis 24 Uhr zu beschäftigen. Für mehrschichtige Betriebe mit regelmäßigen Tag- und Nachtschichten kann der Zeitrahmen um sechs Stunden vor- oder zurückgelegt werden. Voraussetzung ist eine an das Ende der Schicht anschließende vierundzwanzigstündige Ruhezeit (vgl. BMJV 2016, § 9 Abs. 2 ArbZG). Aufgrund der einzuplanenden Zeit, bis zur Zustimmung aller beteiligten Parteien (inkl. Betriebsrat) ist die Reaktionsgeschwindigkeit als langsam anzunehmen (Krüger 2004: 71).

Eine Ausnahme von dem beschriebenen Beschäftigungsverbot ermöglicht § 10 Abs. 1, Nr. 14 ArbZG. Demnach ist es Unternehmen gestattet, an Sonn- und Feiertagen Arbeiten der Instandhaltung und Reinigung der Produktionsanlagen vorzunehmen, die Wiederaufnahme der Produktion vorzubereiten sowie für die Aufrechterhaltung von Datennetzen und Rechnersystemen zu sorgen. Falls die beschriebenen Arbeiten in einem Mehrbedarf an Arbeitnehmern als bei durchgängiger Produktion resultiert, ist es Unternehmen gestattet, Arbeitnehmer mit Produktionsarbeiten zu beauftragen (§ 10 Abs. 2 ArbZG).

Darüberhinaus schreibt § 11 ArbZG vor, dass wenigstens fünfzehn Sonntage im Jahr beschäftigungsfrei bleiben müssen. Somit ist der Einsatz der Maßnahme auch in der Einsatzhäufigkeit beschränkt.

Der Tarifvertrag der IG Metall sieht für Sonn- und Feiertagsarbeit außerdem deutliche Lohnzuschläge vor, die es bei der Planung der beschriebenen Maßnahme zu berücksichtigen gilt. So erhält der Arbeitnehmer für Sonntagsarbeit einen Lohnzuschlag von 50 % (§ 6 Abs. 1 d Manteltarifvertrag IG Metall Niedersachsen). Bei Arbeiten an besonderen Feiertagen, wie dem 1. Ostertag, den Weihnachtsfeiertagen oder dem Tag der Arbeit, wird ein Zuschlag von 100 % vorgeschrieben.

4	Organisation	Kapazitätsanpassung	Wiederinbetriebnahme oder Stilllegung von Anlagen	<p>Um kurzfristig auf Veränderungen im Kapazitätsbedarf zu reagieren, ist eine temporäre Stilllegung bzw. Reaktivierung einer Produktionsanlage eine denkbare Alternative. Auf diese Weise kann das Kapazitätsangebot flexibel an die Marktbedingungen angepasst werden. Das Einwirken auf die Anlagenkapazitäten bedingt die Einordnung in die Gruppe der ressourcenorientierten Maßnahmen.</p>	<p>Im Falle einer Stilllegung von Produktionsanlagen ist die Beschäftigung des Anlagenpersonals zu bedenken. Bei der Verwendung als reversible Maßnahme kommt eine Entlassung von qualifiziertem Personal nicht infrage. Für die Reaktivierung der Anlage hat ausreichend Personal zur Verfügung zu stehen, um die Anlage wirtschaftlich betreiben zu können. Somit wird deutlich, dass die Maßnahme nur in Kombination mit einer die Personalkapazität variierenden Maßnahme einsetzbar ist.</p> <p>Bei Einsatz der Maßnahme müssen die Kosten einer Reaktivierung (Anlaufkosten, Wartung, u. Ä.) berücksichtigt werden. Ebenso sind teilweise hohe Stillstandskosten der Anlagen in die Planung einzubeziehen.</p>
5	Organisation	Belastungsabgleich	Vorziehen oder Aufschieben von Bedarfsmengen	<p>Das Grundprinzip der Maßnahme "Vorziehen oder Aufschieben von Bedarfsmengen" besteht darin, in Zeiten geringer Auslastung zukünftige Aufträge vorzuziehen, um eine wirtschaftliche Verwendung der Betriebsmittel zu ermöglichen. In Zeiten hoher Nachfrage müssen dementsprechend weniger Aufträge bearbeitet werden. Es erfolgt somit ein Belastungsabgleich. Die Maßnahme orientiert sich direkt an spezifischen Aufträgen, indem die Reihenfolge der Aufträge variiert wird.</p>	<p>Im Zuge der Maßnahme wird direkt in die geplante Reihenfolge der Aufträge eingegriffen. Die Reihenfolge hat die Aufgaben, Durchlaufzeiten und Leerzeiten zu minimieren (Voigt 2017a). Indem Schwankungen der Belastung durch Vorziehen oder Aufschieben von Aufträgen geglättet werden, erfolgt eine Veränderung der optimalen Reihenfolge. Dies hat eine erhöhte Streuung der Durchlaufzeiten zur Folge. Des Weiteren erfordert eine regelmäßige Reihenfolgevertausung einen hohen Steuerungsaufwand (Wiendahl 2010: 326).</p> <p>Durch die zeitliche Verschiebung von Aufträgen wird zudem direkt Einfluss auf den Bestand genommen. So wird bei temporär geringer Auslastung durch das Vorziehen von Aufträgen ein Fertigwarenbestand aufgebaut. Dies hat erhöhte Lagerkosten zur Folge. Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass die betreffenden Produkte lagerungsfähig sind. Eine Alternative zu dem Aufbau eines Fertigwarenlagers ist die verfrühte Auslieferung an den Kunden. Da jedoch der Kunde seinerseits den Eingang der Waren für einen späteren Zeitpunkt plant, muss kundenseitig ein Lagerbestand aufgebaut werden. Im Übrigen wirkt sich die Maßnahme in diesem Fall negativ auf die Termintreue aus.</p> <p>Die Reaktionszeit ist als gering zu bewerten, da im Falle einer Unterauslastung freie Anlagenkapazitäten zu Verfügung stehen, um vorgezogene Aufträge bearbeiten zu können.</p>

					<p>Kostenseitig ist die Maßnahme als günstig zu bewerten. Allerdings entsteht ein erhöhter Steuerungs Aufwand, um die Reihenfolgevertauschungen in der Prozesssteuerung berücksichtigen zu können.</p>
6	Organisation	Belastungsanpassung	Fremdvergabe oder -aufnahme von Bedarfsmengen	<p>Im Zuge einer Fremdvergabe von Bedarfsmengen wird ein Teil der Auftragslast von dem betreffenden Unternehmen auf ein Partnerunternehmen verlagert. Wichtig in diesem Zusammenhang ist der unternehmensübergreifende Prozess, also die physische Fertigung der betreffenden Aufträge in einem anderen Unternehmen. Das Partnerunternehmen wird daher in der Praxis häufig auch als „verlängerte Werkbank“ bezeichnet (Windt 2001: 32). Die Maßnahme orientiert sich an spezifischen Aufträgen.</p> <p>In Bezug auf die Ausgestaltung der Fremdvergabe existieren unterschiedliche Möglichkeiten, wie bspw. die produktbezogene Fremdvergabe, die technologische Fremdvergabe oder die kapazitive Fremdvergabe. Eine Fremdvergabe zur Beherrschung von Nachfrageschwankungen ist der letztgenannten Gruppe zuzuordnen. Unter einer kapazitiven Fremdvergabe wird im Allgemeinen der Ausgleich einer Überlastungssituation durch die Verlagerung von Bedarfsmengen auf externe Partner verstanden. Ausgelöst wird die Maßnahme bei Erkennen bzw. Vorliegen eines kapazitiven Engpasses (Windt 2001: 33). Auf diese Weise ist es möglich, eine Anpassung der Belastung an das Kapazitätsangebot durchzuführen. Im Rahmen des PPS-Ablaufs kann die kapazitive Fremdvergabe in die Ressourceneinsatzplanung und somit in die Eigenfertigungsplanung und -steuerung eingeordnet werden.</p>	<p>Die Reaktionsgeschwindigkeit der Maßnahme ist als mittel zu bewerten. Grundsätzlich gilt jedoch, dass die Reaktionsgeschwindigkeit steigt, je besser Partnerunternehmen und das vergebende Unternehmen miteinander verknüpft sind. Effektive Zusammenarbeit und der ständige Austausch von Produktionsdaten sind der Schlüssel zu einem effizienten Einsatz der Fremdvergabe zu einem Abgleich der Belastung (Windt 2001: 47).</p> <p>Voraussetzung für eine eventuelle Fremdvergabe ist die Verfügbarkeit von externen Kapazitäten. Im Falle expliziter Saisonprodukte ist dies jedoch nicht immer gegeben. Des Weiteren ist eine exakte Identifizierung des Kapazitätsengpasses notwendig. Die Vergabemenge ist zudem optimal zu kalkulieren, damit zwar der kapazitive Engpass eliminiert wird, jedoch keine Auslastungsverluste aufgrund zu hoher Vergabemengen entstehen.</p> <p>Die Mindesteinsatzzeit richtet sich nach dem Umfang der ausgelagerten Aufträge.</p> <p>Vorteile einer kapazitiven Fremdvergabe sind nach WINDT (2001: 46 f.):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beherrschung schlecht prognostizierbarer Nachfrageschwankungen, • Beherrschung von Störungen und stochastischen Schwankungen im Fertigungsablauf, • Einsparung von Kosten durch eine mögliche Reduktion der vorzuhaltenden kapazitiven Flexibilität im Unternehmen und • Erhöhung der Termintreue gegenüber dem Kunden.

7	Logistik	Kapazitätsanpassung	<p style="text-align: center; vertical-align: middle;">Auf oder Abbau von Rohmaterial-, Halbfertig- und Fertigwarenlager</p> <p>Die Glättung des Belastungsquerschnitts lässt sich unter anderem durch Lagerhaltung realisieren. Auf diese Weise wird die Notwendigkeit einer Kapazitätsanpassung reduziert bzw. beseitigt (Müller 2009: 36).</p> <p>Durch den Auf- bzw. Abbau bestimmter Läger gelingt eine Entkopplung der Auslastung in der Produktion von nachfrageinduzierten Belastungsschwankungen. Bei zu geringen Lagerbeständen können Terminabweichungen (Abbildung 3a) oder Mengenabweichungen (Abbildung 3b) im Lagerzugang dazu führen, dass die Lieferfähigkeit nicht mehr gegeben ist und die Produktion ggf. stillsteht. Die Bildung eines adäquaten Lagerbestands kann das Verlustrisiko senken. Die Maßnahme wird losgelöst von spezifischen Aufträgen verwendet und ist demnach eher der Gruppe ressourcenorientierter Maßnahmen zuzuordnen. Im Folgenden wird die Funktion einer Variation der Bestandshöhe bezogen auf das Rohmaterial-, Halbfertig- und Fertigwarenlager erläutert:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rohmateriallager: Der Aufbau eines Rohmateriallagerbestands dient der Entkopplung der eigenen Produktion von Lieferschwankungen (bspw. Saisonalität) des Zulieferers. In Zeiten, in denen der Zulieferer eine hohe Lieferfähigkeit besitzt, wird ein Rohmateriallagerbestand aufgebaut. Bei sinkender Lieferfähigkeit kann der aufgebaute Bestand zur Kompensation der fehlenden Lieferanteile genutzt werden. Auf diese Weise wird eine konstante Auslastung der betriebseigenen Produktionsanlagen erreicht. Sowohl Termin- als auch Mengenabweichungen im Lagerzugang können durch Erhöhung des Sicherheitsbestands kompensiert werden. • Halbfertigwarenlager: Der Aufbau eines Halbfertigwarenbestands in der Produktion dient ebenfalls der Gewährleistung einer konstanten Auslastung der Betriebsmittel und damit zu einer Sicherstellung der Termintreue. Der Aufbau des Umlaufbestands führt zu einer Entkopplung der Arbeitssysteme, sodass bei schwankender Belastung kein Auslastungsverlust eintritt. 	<p>Generell ist die Nutzung der Lagerbestände zur Entkopplung der Produktion von schwankenden Umwelteinflüssen geeignet. Jedoch widerspricht der Aufbau von Beständen den Prinzipien der Lean-Philosophie.</p> <p>Voraussetzung für die Variation der einzelnen Läger ist die Lagerfähigkeit der Produkte. Ist diese gegeben, sind die Maßnahmen durchführbar. Da sich der Aufbau der Lagerbestände über einen entsprechend langen Zeitraum erstreckt, ist die Reaktionszeit der Maßnahme als mittel zu bewerten. Die Mindesteinsatzzeit der Maßnahme richtet sich nach der Reichweite der aufgebauten Sicherheitsbestände.</p>
---	----------	---------------------	---	---

				<ul style="list-style-type: none"> • Fertigwarenlager: Auch der Aufbau des Fertigwarenbestands dient der Sicherstellung einer konstanten Produktionsauslastung. In Zeiten geringer Kundennachfrage können Standardprodukte weiter produziert werden und im Fertigwarenlager eingelagert werden. Der Bestand kann in Zeiten großer Belastung zur Deckung der Nachfrage genutzt werden. 	
8	Logistik	Belastungsabgleich	Aufteilen oder Zusammenführen von Losen	<p>Die Aufteilung oder Zusammenführung von Losen dient der Veränderung des Belastungsprofils. Die Maßnahme lässt sich als zeitbezogener Belastungsabgleich mit kurzer Reaktionszeit einstufen (Berkholz 2012: 33).</p> <p>Zur Beherrschung von Nachfrageschwankungen werden zu meist flexible Kapazitäten eingesetzt. In diesem Fall müssen jedoch grundsätzlich Kosten einkalkuliert werden. Als Alternative kann es durch eine Reduzierung der Belastungsstreuung möglich sein, Kosten zu verhindern (Wesebaum et al. 2016: 94).</p> <p>Die Maßnahme ist der Gruppe auftragsorientierter Maßnahmen zuzuordnen.</p>	<p>Die beschriebene Maßnahme erfordert ein geringes Maß an Planung. Des Weiteren ist sie kurzfristig einsetzbar und eignet sich aus diesem Grund für die Beherrschung von ad hoc auftretenden Belastungsschwankungen. Auch aus wirtschaftlicher Perspektive sind Vorteile der Loseilung im Gegensatz zu direktem Einsatz flexibler Kapazitäten erkennbar. Hohe Schwankungsamplituden sowie mittel- oder langfristige Schwankungen der Belastung sind mittels Loseilung jedoch nicht beherrschbar. Zur optimalen Anwendung der Maßnahme wird zudem vorausgesetzt, dass alternative interne Anlagenkapazitäten verfügbar sind, die Teilaufträge bearbeiten und somit die Belastung der Engpassstation reduzieren können.</p>
9	Personal	Kapazitätsanpassung	Aufbau von bezahlten Überzeiten	<p>In der Maßnahme "Auf- oder Abbau von gleitender Überzeit" wurde bereits erläutert, wie Mehrarbeit dazu dienen kann, kurzfristig zusätzliche Personalkapazität zu generieren. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit eines Abgleichs der Personalkapazität (vgl. "Auf- oder Abbau von gleitender Überzeit") durch Freizeit. Die Maßnahme "Aufbau bezahlter Überzeit" besteht in der Vergütung der Mehrarbeit. Es findet somit keine mengenadäquate Kompensation der Überstunden durch Freizeit zu einem späteren Zeitpunkt des Betrachtungszeitraums statt. Die Mehrarbeit ist somit durch die Bezahlung abgegolten und die Maßnahme muss aus diesem Grund als Kapazitätsanpassung definiert werden. Ebenso wie der Einsatz gleitender Überstunden, besteht auch bei der Auszahlung von Mehrarbeit eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Der grundsätzliche Einsatz von Überstunden für die Generierung zusätzlicher Personalkapazität unterliegt den rechtlichen Bedingungen, die bereits in Maßnahme "Auf- oder Abbau von gleitender Überzeit" dargelegt wurden.</p> <p>§ 6 Abs. 1 a und b des Manteltarifvertrags der IG Metall des Landes Niedersachsen legt darüber hinaus die Lohnzuschläge für Mehrarbeit fest:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für die 1. bis 3. Mehrarbeitsstunde beträgt der Zuschlag täglich 25 %. • Für jede weitere Mehrarbeitsstunde beträgt der Zuschlag täglich 50 %. <p>Darüber hinaus weist der Paragraph darauf hin, dass „Mehrarbeit [...] nicht als Ersatz für Neueinstellungen genutzt werden [soll]“ (IGM 2010).</p>

10	Personal	Kapazitätsanpassung	Auf- oder Abbau festangestellten Personals	<p>Aufbau: In der Praxis gilt der Grundsatz, dass eine steigende Arbeitsbelastung nicht durch Mehrarbeit, sondern durch Neueinstellungen von Personal zu bewältigen ist (IGM 2010). Ein Aufbau des festangestellten Personals kann zu einer deutlichen Steigerung der verfügbaren Personalkapazität führen. Bei großer, lang anhaltender Nachfrage kann auf diese Weise die Produktion der Belastung angepasst werden. Die Maßnahme besitzt eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Die Einstellung oder Entlassung von Arbeitskräften setzt eine längere Vorlaufzeit voraus. Bis zur Einigung aller Parteien kann je nach Tarifverträgen, Betriebsvereinbarungen und sonstigen Rahmenbedingungen eine große Zeitdauer vergehen. Das Unternehmen muss vor Durchführung der Maßnahme den Betriebsrat über die Entscheidung informieren. Da ein Vertragsschluss eine Einigung der Parteien über eine Vielzahl verschiedener Punkte vorliegen muss, berührt der Arbeitsvertrag eine große Anzahl an Arbeitsgesetzen (z. B. Bürgerliches Gesetzbuch, Mutterschutzgesetz, Kündigungsschutzgesetz und weitere).</p> <p>Abhängig von der Größe des Betriebs kann die Personalkapazität bereits durch eine geringe Zahl an Neueinstellungen stark erhöht werden. Im Falle einer deutlichen Erhöhung muss sichergestellt werden, dass ausreichend Betriebsmittelkapazität vorhanden ist, um einer Unterauslastung des Personals vorzubeugen.</p>
11	Personal	Kapazitätsanpassung	Aufbau befristeten Personals	<p>Eine Option der temporären Steigerung der Personalkapazität stellt die befristete Einstellung neuer Arbeitskräfte dar. Bei dieser Maßnahme wird der zeitliche Rahmen bereits bei Vertragsschluss grundsätzlich festgelegt. Im Falle eines andauernden Bedarfs kann der befristete Vertrag jedoch verlängert werden. Die Maßnahme besitzt aufgrund des Einwirkens auf die Personalkapazität eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Die rechtlichen Bedingungen einer befristeten Einstellung von Personal regelt das Gesetz über Teilzeitarbeit und befristete Arbeitsverträge (Teilzeit- und Befristungsgesetz - TzBfG).</p> <ul style="list-style-type: none"> • § 14 Abs. 1, Nr. 1 TzBfG: Im Falle des Vorliegens eines sachlichen Grundes, ist die Befristung von Arbeitsverträgen zulässig. Ein sachlicher Grund liegt unter anderem dann vor, wenn „der betriebliche Bedarf an der Arbeitsleistung nur vorübergehend besteht“ (BMJV 2011). • § 14 Abs. 2 TzBfG: Bei Fehlen eines sachlichen Grundes ist die kalendermäßige Befristung des Beschäftigungsverhältnisses zulässig. Die Maximaldauer ist in diesem Fall jedoch auf 24 Monate begrenzt. Innerhalb dieses Zeitraums kann der Vertrag bis zu dreimal verlängert werden. Laut Gesetz ist eine Befristung jedoch ausgeschlossen, wenn in der Vergangenheit bereits ein befristetes oder unbefristetes Arbeitsverhältnis bestanden hat.

12	Personal	Kapazitätsanpassung	Einsatz von Leiharbeit	<p>Ebenso wie die Beschäftigung befristeter Arbeitnehmer, besitzt auch der Einsatz von Leiharbeit eine Ressourcenorientierung. Bei dem Einsatz von Leiharbeit wird der Leiharbeitnehmer für die Dauer der Beschäftigung in die Arbeitsorganisation des Entleiher eingegliedert und unterliegt dessen Weisungen. Ein Arbeitsvertrag besteht dabei nicht zwischen Entleiher und Leiharbeitnehmer, sondern zwischen dem Arbeitnehmer und einer Leiharbeitsfirma (Verleiher) (BMJV 2017b).</p>	<p>Die rechtlichen Bedingungen für den Einsatz von Leiharbeit sind im Gesetz zur Regelung der Arbeitnehmerüberlassung (AÜG) geregelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • § 1 Abs. 1, Nr. 1b AÜG: Die Maximaldauer der Überlassung eines Arbeitnehmers an ein drittes Unternehmen beträgt 18 Monate. Auch der Entleiher darf den Leiharbeitnehmer maximal 18 Monate im Unternehmen beschäftigen. • § 99 BetrVG: Bevor ein Leiharbeitnehmer eingestellt werden kann, muss die Zustimmung des Betriebsrats eingeholt werden . <p>Die Maßnahme ist somit in der Einsatzdauer begrenzt. Des Weiteren muss eine Vorlaufzeit berücksichtigt werden, da sowohl zwischen Entleiher und Verleiher ein Vertragsschluss zustande kommen als auch unternehmensintern die Genehmigung der Maßnahme erfolgen muss. Allerdings ist diese Vorlaufzeit im Vergleich zu einer Neueinstellung von Personal als kurz zu beurteilen. Nicht zu vernachlässigen ist im Übrigen, dass die betreffende Arbeit keine besonderen Qualifikationen erfordert.</p> <p>Die Kündigung eines Leiharbeitsverhältnisses kann in der Regel relativ kurzfristig erfolgen. Dies bedeutet jedoch nur die Beendigung des Arbeitseinsatzes des Leiharbeitnehmers in dem betreffenden Unternehmen und berührt nicht den Vertrag zwischen Verleiher und Leiharbeitnehmer. In einem Urteil des Landesarbeitsgerichts Köln vom 03.06.2005 wird hervorgehoben, dass sich betriebliche Gründe für eine Kündigung „aus innerbetrieblichen Gründen (Unternehmensentscheidungen wie z. B. Rationalisierungsmaßnahmen [...]) oder durch außerbetriebliche Gründe (z. B. Auftragsmangel oder Umsatzrückgang) ergeben [können] (LAG 2005). In Rahmen des Urteils wurde festgelegt, dass ein kurzfristiger Arbeitsrückgang jedoch keinen adäquaten Kündigungsgrund darstellt. Vielmehr habe der Entleiher „das Risiko für kurzfristige – etwa drei Monate umfassende – Auftragslücken zu tragen“ (LAG 2005).</p>
----	-----------------	---------------------	------------------------	--	---

13	Personal	Kapazitätsanpassung	Einsatz von Kurzarbeit	<p>Bei einer temporären Phase niedriger Nachfrage kann das Unternehmen Kurzarbeit einsetzen und somit die betriebsübliche Arbeitszeit herabsetzen. Auf diese Weise ist es möglich, den Auftragsmangel zu überbrücken und einen Abbau festangestellter Personals zu vermeiden. Dies führt zu einer Kostenentlastung, da teure Unterauslastungen von Arbeitnehmern vermieden werden. Die Betroffenen Arbeitnehmer beziehen aufgrund des Lohnausfalls Kurzarbeitergeld von der Bundesagentur für Arbeit (BAuA 2013: 32 f.). Die Maßnahme wird unabhängig von spezifischen Aufträgen eingesetzt und orientiert sich an den bestehenden Ressourcen.</p>	<p>Das Sozialgesetzbuch III regelt den Anspruch auf Kurzarbeitergeld in den Paragraphen §§ 95 ff. SGB III. Voraussetzungen für einen Anspruch sind demnach ein erheblicher Arbeitsausfall mit Entgeltausfall, betriebliche und persönliche Voraussetzungen sowie eine Meldung des Arbeitsausfalls bei der Agentur für Arbeit. Die Definition eines erheblichen Arbeitsausfalls findet sich in § 96 Abs. 1 SGB III. Der Arbeitsausfall muss auf wirtschaftlichen Gründen oder unerwarteten Ereignissen beruhen, vorübergehend und nicht vermeidbar sein. Des Weiteren muss mindestens ein Drittel der im Betrieb Beschäftigten von einem Entgeltausfall von mehr als zehn Prozent betroffen sein (BMJV 2017c: 32 f.).</p> <p>Es besteht kein Anspruch auf Kurzarbeitergeld, wenn der Arbeitsausfall als vermeidbar angesehen wird. Dies ist bspw. bei branchenüblichen, betriebsüblichen oder saisonbedingten Arbeitsausfällen der Fall. Weiterhin muss das Unternehmen nachweisen, dass sämtliche Möglichkeiten zur Verhinderung oder Verringerung des Arbeitsausfalls (z. B. durch Auflösen von Arbeitszeitguthaben der Beschäftigten oder die Umsetzung von Urlaubsansprüchen) ausgeschöpft wurden (BAuA 2013).</p> <p>Für die Unternehmen entstehen jedoch auch Kosten bei der Einführung von Kurzarbeit, sodass die Lohnkosten nicht proportional mit der Verkürzung der Arbeitszeit sinken. Dies wird als Kostenremanenz bezeichnet. Ursächlich für dieses Verhalten sind z. B. Kosten für die Freistellung und Sonderzahlungen. Darüber hinaus fallen für die Unternehmen weiterhin Aufwendungen für die Sozialversicherungen der Arbeitnehmer an. Die Arbeitgeber sind verpflichtet auf 80 % der entfallenen Lohnkosten Sozialbeiträge zahlen (Arbeitgeber- und Arbeitnehmerbeiträge). Eine Modellrechnung im verarbeitenden Gewerbe ergab, dass die Remanenzkosten je ausgefallener Arbeitsstunde einen Anteil von 46 % der gesamten Lohnkosten ausmachen (Brenke et al. 2010).</p>
----	----------	---------------------	------------------------	--	---

14	Personal	Kapazitätsabgleich	Auf- oder Abbau gleitender Überzeit	<p>Die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer können zum einen die Dauer und Lage ihrer Arbeitszeit in einem gewissen Rahmen selbst gestalten. Zum anderen ist es dem Arbeitgeber möglich, die Personalkapazität auf den Bedarf abzustimmen. Bei großer Kundennachfrage können Überstunden auf einem Überstundenkonto angesammelt werden.</p> <p>Bei der Verwendung von gleitender Überzeit erfolgt ein Ausgleich der geleisteten Mehrarbeit in Zeiten geringer Nachfrage durch zusätzliche Freizeit. Somit können kostenintensive Zuschläge auf Leerstunden des Personals bei Auftragsmangel vermieden werden (BMW 2013).</p>	<p>Im Falle einer bereits stattgefunden Verankerung flexibler Arbeitszeitgestaltung in Arbeits- und Tarifverträgen kann kurzfristig auf variierende Belastungen reagiert werden. Allerdings ist der Einsatz einer flexiblen Arbeitszeitgestaltung an rechtliche Regelungen gebunden. Diese sind im Folgenden nach BMW (2013), BMJV (2016) und IGM (2010) aufgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • § 3 ArbZG: „Die werktägliche Arbeitszeit der Arbeitnehmer darf acht Stunden nicht überschreiten. Sie kann auf bis zu zehn Stunden nur verlängert werden, wenn innerhalb von sechs Kalendermonaten oder innerhalb von 24 Wochen im Durchschnitt acht Stunden werktäglich nicht überschritten werden.“ • § 4 ArbZG: Es müssen ausreichende Ruhepausen gewährleistet werden. Das Maximum an ununterbrochener Arbeitszeit beträgt sechs Stunden. • § 5 ArbZG: „Die Arbeitnehmer müssen nach Beendigung der täglichen Arbeitszeit eine ununterbrochene Ruhezeit von mindestens elf Stunden haben.“ In Ausnahmen (z. B. Krankenhaus) sind Abweichungen von der Länge der Ruhezeit möglich. • § 80 und § 87 Abs. 1 BetrVG: Bei der Ausgestaltung der flexiblen Arbeitszeitmodelle hat der Betriebsrat ein Mitbestimmungsrecht. • Manteltarifvertrag IG Metall Niedersachsen § 5 Abs. 3 S. 1: „Mehrarbeit kann mit Zustimmung des Betriebsrates bis zu 10 Mehrarbeitsstunden in der Woche und bis zu 20 im Monat durchgeführt werden.“ • Manteltarifvertrag IG Metall Niedersachsen § 5 Abs. 4 S. 2 und 3: „Der Freizeitausgleich hat in den folgenden 3 Monaten zu erfolgen. Mehrarbeitszuschläge sind grundsätzlich in Geld zu vergüten.“
----	----------	--------------------	-------------------------------------	--	---

15	Personal	Kapazitätsabgleich	<p>Kurzfristig: Durch temporäre Versetzung von (mehrfach qualifizierten) Arbeitskräften kann die Personalkapazität bei variierenden Nachfragesituationen flexibel variiert werden. Die Dauer der Versetzung kann dabei entsprechend der Situation unterschiedlich ausfallen. Eine kurzfristige Versetzung kann bspw. in einem Springereinsatz innerhalb eines Taktes realisiert werden.</p> <p>Langfristig: Längerfristig können Mitarbeiter auch für die Dauer eines gesamten Projekts versetzt werden, um einen bestehenden Personalengpass zu umgehen. Die Maßnahme wird als Reaktion bei auftretenden Kapazitätsengpässen eingesetzt. Somit liegt eine Ressourcenorientierung vor.</p>	<p>Voraussetzung für den Einsatz der Maßnahme ist die Verfügbarkeit von (Springer-) Personal. Falls die Verfügbarkeit gegeben ist, kann die Reaktionsgeschwindigkeit als sehr schnell angesehen werden. Abhängig von der Personalanzahl der betreffenden Arbeitsstation resultiert die Maßnahme in einer relativ kleinen bis mittleren Kapazitätserhöhung. Als Übergangslösung bei einer Kapazitätsänderung kann die zeitweise Versetzung von Personal sinnvoll sein, um Kapazitätsengpässe auszugleichen (Krüger 2004: 87 f.).</p>
16	Personal	Kapazitätsabgleich	<p>Die Maßnahme besteht in einem gegenseitigen Austausch von Mitarbeitern verschiedener Arbeitsstationen. Die Leistungsfähigkeit variiert dabei zwischen Mitarbeitern bspw. aufgrund von unterschiedlich langer Erfahrung oder eines unterschiedlichen Qualifikationsniveaus. Somit bleibt die Kapazität durch diese Maßnahme unberührt. Jedoch ändert sich die Intensität der Leistungserfüllung. Gleichwohl liegt eine Ressourcenorientierung vor, da gezielt Einfluss auf die Produktionseigenschaften der Personalkapazitäten genommen wird.</p>	<p>Die Maßnahme setzt voraus, dass die Mitarbeiter an unterschiedlichen Arbeitsstationen zu arbeiten in der Lage sind. Weiterhin wird impliziert, dass die Mitarbeiter aufgrund ihres unterschiedlichen Qualifikationsgrades Einfluss auf die Produktionsintensität nehmen können. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Maßnahme wird als hoch, der Einfluss auf den Leistungsgrad jedoch als gering betrachtet.</p>

17	Personal	Belastungsabgleich	Verlagerung von Bedarfsmengen auf alternative interne Personalkapazitäten	<p>Die Maßnahme sieht vor, bei starker Belastung, einen Teil der Aufträge von dem ursprünglich angedachten Arbeitssystem auf alternative interne Personalkapazitäten zu verschieben und somit die Mehrbelastung abzugleichen. Die Maßnahme orientiert sich dementsprechend direkt an spezifischen Aufträgen.</p>	<p>Voraussetzung für die Durchführbarkeit der Maßnahme ist die Verfügbarkeit der alternativen Personalkapazitäten. Des Weiteren wird impliziert, dass die Aufträge entweder allein manuell bearbeitet werden können oder dass ausreichend Anlagenkapazität verfügbar ist. Falls die Verfügbarkeiten gegeben sind, ist die Reaktionsgeschwindigkeit als schnell anzusehen.</p>
----	-----------------	--------------------	---	--	---

18	Personal	Belastungsabgleich	<p>Verkürzung oder Verlängerung von Personalausführungszeiten</p> <p>Die Sollzeiten für Arbeitsabläufe werden als Vorgabezeiten bezeichnet und können nach ausführender Kapazität in Auftragszeit (personell) und Belegungszeit (maschinell) unterteilt werden (Wiendahl 2010: 214). Die Ausführungszeit ist eine durch den REFA-Verband (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung) festgelegte Zeitgröße. Gemeinsam mit der Vorbereitungszeit (Rüstzeit) ist die Ausführungszeit Bestandteil der Auftragszeit. Somit umfasst sie alle nach der Vorbereitungszeit entstehenden Arbeitszeiten. Eine Verlängerung der Ausführungszeiten bei konstanten Vorgabezeiten kann bspw. durch Verringerung der Rüstzeiten erreicht werden. Der wertschöpfende Anteil der Vorgabezeit wird somit größer. Bei konstanten Einzelbearbeitungszeiten t_e wird die produzierte Menge größer. Alternativ ist eine Beeinflussung der Arbeitsintensität möglich. Dabei wird die Einzelarbeitszeit zum Beispiel durch Akkordarbeit reduziert, sodass derselbe Arbeitsinhalt in einer kürzeren Zeit bewältigt werden kann. Die Maßnahme orientiert sich somit sowohl an der aktuellen Auftragslage als auch an den Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Ressourcen. Durch die Veränderung der Ausführungszeit kann somit auf leichte Nachfrageschwankungen reagiert werden. Eine Verlängerung der Ausführungszeit ist eher unüblich. Jedoch kann gezielt in Zeiten geringer Beschäftigung die Ausführungszeit reduziert werden, um den Arbeitnehmer zu entlasten.</p>	<p>Die Reaktionsgeschwindigkeit der Maßnahme ist schnell und die Kosten für den Einsatz gering. Auch die Mindesteinsatzzeit ist gering, da keine Anlaufzeit notwendig ist. Die Maßnahme kann darüber hinaus schnell annulliert werden. Allerdings lässt sich die Ausbringungsleistung im Allgemeinen nur in einem sehr begrenzten Rahmen erhöhen. Die Möglichkeit einer Erhöhung der Intensität durch Steigerung der Produktionsgeschwindigkeit der personellen Kapazitäten ist stark limitiert. Eine mögliche Auswirkung auf die Qualität der entstehenden Produkte ist zu berücksichtigen. Insbesondere das Einwirken auf die Arbeitsleistung der Mitarbeiter (z. B. durch Zeitdruck) birgt langfristig die Gefahr von negativen Auswirkungen, sowohl auf das Arbeitsergebnis als auch auf die Zufriedenheit der Arbeitnehmer mit dem Betrieb. Des Weiteren ist lediglich eine geringe Erhöhung der Ausbringungsleistung realisierbar. Die Ausgestaltung der Maßnahme durch Akkordarbeit ist letztlich als äußerst fragwürdig anzusehen, da dies unter der Annahme geschieht, dass von den Arbeitnehmern auf diese Weise mehr Leistung zu erwarten ist. Die Auswirkungen auf die Mitarbeiter bleiben zumeist unberücksichtigt.</p>
----	-----------------	--------------------	---	--

19	Technologie	Kapazitätsanpassung	<p>Mechanisierung von Prozessen</p> <p>Manuell ausgeführte Tätigkeiten können durch den gezielten Einsatz von Maschinen unterstützt werden. Der von Personal geleistete Arbeitsgang wird dabei nicht durch die Maschine ersetzt, sondern weiterhin von der Arbeitskraft durchgeführt. Die Maschinen dienen der Werkzeughaltung und der Übersetzung (z. B. Drehmoment, Drehzahl oder Kraft) (Voigt 2017b).</p> <p>Ein Beispiel für den Einsatz der Mechanisierung in der Industrie ist die Umstellung von manuellen auf mechanisierte Schweißverfahren. So ist es bspw. beim Lichtbogenschweißen möglich das Positionieren des Werkstücks, das Zünden des Lichtbogens oder den Vorschub zu mechanisieren und die Arbeitskraft auf diese Weise zu entlasten (Köstermann 1997: 45).</p> <p>Durch den Einsatz der Maßnahme kann die Bearbeitungsgeschwindigkeit und häufig auch die Qualität des Arbeitsergebnisses verbessert werden. Die Ressourcenorientierung der Maßnahme wird somit deutlich.</p>	<p>Da durch die Mechanisierung kein Eingriff in den Arbeitsvorgang erfolgt, sondern dieser lediglich unterstützt wird, ist kein aufwändiger Planungsvorlauf notwendig. Die Reaktionszeit ist somit gering. Auch die Mindesteinsatzzeit der Maßnahme kann als kurz angenommen werden. Durch die meist flexible Einsatzfähigkeit der Betriebsmittel an verschiedenen Arbeitsstationen können bei wechselnden Belastungssituationen unterschiedliche Engpassstationen durch die Maßnahme unterstützt werden.</p>
20	Technologie	Kapazitätsanpassung	<p>Teil- bis Vollautomatisierung von Prozessen</p> <p>Durch die Automatisierung von Prozessen wird in der Produktion eine Verringerung der Haupt- und Nebenzeiten angestrebt. Unter Hauptzeit wird die Zeit verstanden, in der eine wertschöpfende Arbeit stattfindet. Nebenzeiten können bspw. Rüstzeiten an einer Produktionsanlage darstellen (Becker 2008: 66).</p> <p>Je nach Umfang der Automatisierung kann ein Arbeitsprozess als manuell, teilautomatisiert (hybrid) oder vollautomatisiert bezeichnet werden. In teilautomatisierten Prozessen findet eine Kombination zwischen automatisierten und manuellen Arbeitsvorgängen statt. Die Produktivität steigt im Gegensatz zu rein manuellen Prozessen. Durch die Automatisierung des gesamten Produktionssystems kann diese maximiert werden. Des Weiteren besitzen teilautomatisierte Systeme den Vorteil, dass abhängig von der Bedarfsentwicklung die Ausbaustufe der Automatisierung variiert werden kann. Auf diese Weise wird das Risiko einer Fehlinvestition verringert (Lotter 2012: 169).</p> <p>Mit Hilfe eines vollautomatisierten Produktionssystems können unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Einerseits ist ein</p>	<p>Es besteht ein Zielkonflikt zwischen Produktivität und Flexibilität. Die Produktivität des Arbeitssystems steigt abhängig von dem Grad der Automatisierung an. Gleichzeitig sinkt jedoch die Fähigkeit, flexibel auf veränderte Umstände zu reagieren. Vollautomatische Produktionssysteme sind daher nur für große Stückzahlen und eine geringe Variantenvielfalt sinnvoll einsetzbar (siehe Abbildung 2). Gleichzeitig ist eine Umstellung von manuellen auf vollautomatische Arbeitssysteme sehr kostenintensiv. Aus den genannten Gründen stellen teilautomatisierte Produktionssysteme eine gute Kompromisslösung für die Positionierung innerhalb des Zielsystems dar. Die Reaktionszeit der Maßnahme ist als mittel bis lang zu bewerten. Die Mindesteinsatzzeit der Maßnahme ist aufgrund der aufwendigen technischen Veränderungen, abhängig von der jeweiligen Automatisierungsausbaustufe, als mittel bis lang anzunehmen.</p>

				Maximum der Ausbringungsleistung möglich, indem die Kapazität des Arbeitssystems stark erhöht wird. Andererseits ist mit steigendem Automatisierungsgrad eine deutliche Personaleinsparung realisierbar. Die Maßnahme besitzt eine Ressourcenorientierung.	
21	Technologie	Kapazitätsanpassung	Erwerb oder Veräußerung manueller Anlagen	<p>Erwerb: Manuelle Anlagen ermöglichen einen hohen Grad an Flexibilität, da kurzfristig auf Veränderungen reagiert werden kann. Durch den Erwerb neuer manueller Anlagen wird die Betriebsmittelkapazität des Produktionssystems erhöht. Auf diesem Wege ist eine simultane Optimierung von Produktivität und Kapazitätsflexibilität möglich. Die Maßnahme besitzt somit eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Da im Vorlauf des Erwerbs eine Planungszeit zu berücksichtigen ist, liegt die Reaktionszeit als mittel bis lang anzusehen. Bei der Planung muss unter anderem der teils hohe Platzbedarf, die hohen Fixkosten und die Verfügbarkeit von Personalkapazität zur Bedienung der Anlage bedacht werden. Aus diesem Grund eignet sich die Maßnahme lediglich bei langfristigen Stückzahlschwankungen. Die Mindesteinsatzzeit der Maßnahme ist verhältnismäßig gering. Zwar liegen die Fixkosten in einem hohen Bereich, allerdings sind sie im Vergleich zu dem Erwerb automatisierter Anlagen deutlich geringer (vgl. "Erwerb oder Veräußerung teil- bis vollautomatisierter Anlagen").</p>
22	Technologie	Kapazitätsanpassung	Erwerb oder Veräußerung teil- bis vollautomatisierter Anlagen	<p>Erwerb: Automatisierte Anlagen dienen der Produktivitätssteigerung und/oder der Einsparung von Personal. Als sekundäre Ziele des Einsatzes können konstante Qualitätsraten sowie die Unterstützung arbeitssicherheitsrelevanter Anforderungen genannt werden. Durch Erwerb einer teil- oder vollautomatisierten Anlage kann die Betriebsmittelkapazität erhöht und die Ausbringungsleistung gesteigert werden. Letztere kann abhängig von der Ausgestaltung der Anlage durch Variation des Maschinenpersonals an die jeweilige Belastungssituation angepasst werden (siehe Auswirkungen auf die Zielgrößen). Die Maßnahme kann unabhängig von spezifischen Aufträgen eingesetzt werden und besitzt eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Die Einsatzbedingungen für den Erwerb oder die Veräußerung automatisierter Anlagen entsprechen im Großen und Ganzen denen der Maßnahme "Teil- bis Vollautomatisierung von Prozessen". Automatisierte Betriebsmittel sind für hohe Stückzahlen bei geringer Variantenvielfalt sehr gut einsetzbar. Jedoch geht die höhere Produktivität mit einem Rückgang der Flexibilität einher. Kurzfristige Eilaufträge können weniger flexibel in das Produktionsprogramm eingefügt werden. Des Weiteren ist die Automatisierung von Prozessen sehr kostenintensiv (vgl. "Teil- bis Vollautomatisierung von Prozessen"). Die Kosten für den Erwerb einer teil- oder vollautomatisierten Anlage übersteigen diese jedoch. Da die beschriebene Maßnahme lediglich bei hoher Stückzahlausbringung wirtschaftlich einsetzbar ist, besteht ein hohes Investitionsrisiko, das stark abhängig von der Prognosesicherheit ist. Die Reaktionszeit der Maßnahme ist als lang anzunehmen, da die Investitionskosten im Zusammenhang mit dem Risiko bewertet werden müssen. Des Weiteren ist die Liefer- und Montagezeit der Anlage als hoch anzunehmen.</p>

23	Technologie	Kapazitätsanpassung	<p>Leasing manueller Anlagen</p> <p>Die Alternative zu dem Erwerb einer manuellen Anlage stellt das Leasing derselben dar. Auch diese Maßnahme besitzt somit eine Ressourcenorientierung. Leasing beschreibt eine bestimmte Vertragsform, die die Vermietung und Verpachtung von Investitions- und Konsumgütern umfasst. Es werden zwei übergeordnete Formen des Leasingtyps unterschieden (Dautzenberg 2017):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Direktes Leasing: Der Produzent eines Gutes verpachtet dieses direkt an den Leasingnehmer: • Indirektes Leasing: Eine spezielle Leasinggesellschaft kauft das Investitions- oder Konsumgut von dem Hersteller und verpachtet es an den Leasingnehmer. <p>Ein Vorteil des Leasingsystems ist unter anderem die Schonung der Unternehmensliquidität. Durch Ersatz eines einmaligen hohen Liquiditätsabflusses, im Falle eines Anlagenerwerbs, durch konstante gut planbare Leasingraten bleibt die Liquidität erhalten.</p> <p>Bei Umsetzung der Maßnahme wird die Betriebsmittelkapazität für die Laufzeit des Leasingvertrags erhöht.</p>	<p>Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz der Maßnahme ist die Möglichkeit, die Bedarfsentwicklung für einen definierten Zeitrahmen zuverlässig zu prognostizieren. Des Weiteren ist die Reaktionszeit als lang anzusehen, da vor Abschluss des Leasingvertrags Einigkeit über die Konditionen herrschen muss. Auch für die Lieferung und Installation der Anlage muss Zeit berücksichtigt werden.</p> <p>Im Gegensatz zu dem Erwerb einer manuellen Anlage werden die hohen Fixkosten durch gut planbare Leasingraten ersetzt. Je nach Ausgestaltung des Vertrags ist nach Ablauf der Leasingdauer ein anschließender Erwerb der installierten Anlage möglich. Falls Unsicherheit darüber herrscht, ob der steigende Bedarf eine temporäre Bedarfsschwankung oder eine dauerhafte Bedarfserhöhung darstellt, kann mit dem beschriebenen Modell das Investitionsrisiko gesenkt werden. Um eine wirtschaftliche Auslastung der Anlage zu gewährleisten, muss ausreichend Personalkapazität vorhanden sein.</p>
24	Technologie	Kapazitätsanpassung	<p>Leasing teil- bis vollautomatisierter Anlagen</p> <p>Die Maßnahme "Leasing teil- bis vollautomatisierter Anlagen" stellt eine Kombination der Maßnahme "Erwerb oder Veräußerung teil- bis vollautomatisierter Anlagen" mit dem Leasingkonzept dar. Letzteres wurde bereits in der Maßnahme "Leasing manueller Anlagen" erläutert.</p> <p>Mit dem Leasing teil- bis vollautomatisierter Anlagen kann somit temporär die Betriebsmittelkapazität erhöht werden sowie, je nach Stand des Produktionssystems, der Automatisierungsgrad gesteigert werden. Die Maßnahme besitzt somit ebenfalls eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Ein großer Vorteil des Leasingkonzepts ist die Vermeidung hoher Liquiditätsabflüsse bei Erwerb einer Produktionsanlage. Im Falle automatisierter Betriebsmittel kommt dieser Aspekt aufgrund der hohen Investitionskosten bei Erwerb einer solchen Anlage besonders prägnant zum Tragen.</p> <p>Der wirtschaftliche Einsatz der Maßnahme setzt eine hohe Prognosesicherheit voraus. Da sowohl der Vertragsschluss als auch die Lieferung und Installation der Anlagen zeitintensiv ist, eignet sich die Maßnahme lediglich bei langfristigen Bedarfsänderungen. Die Reaktionszeit wird ebenso wie die Mindesteinsatzzeit als lang bewertet.</p> <p>Im Übrigen ist der Einsatz teil- oder vollautomatisierter Anlagen mit einem Rückgang der Flexibilität verbunden. Die beschriebenen Anlagen können somit lediglich im Falle geringer Variantenvielfalt sowie hoher Stückzahlen wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden. Sind die Voraussetzungen gegeben, ist eine signifikante Produktivitätssteigerung erzielbar.</p>

25	Technologie	Kapazitätsanpassung	Verleih erworbener Anlagen	<p>In Zeiten geringer Nachfrage und damit einhergehender Unterauslastung der Betriebsmittel kommt ein Verleih erworbener Anlagen zur Senkung der Betriebsmittelkapazität in Betracht. Die Folge eines Verleihs ist einerseits eine zusätzliche Quelle zur Generierung von Einnahmen. Andererseits erfolgt durch die Umverteilung des Auftragsbestands auf die verbliebenen Anlagen eine Steigerung der mittleren Anlagenauslastung. Die Maßnahme orientiert sich somit nicht an spezifischen Aufträgen und ist daher der Gruppe ressourcenorientierter Maßnahmen zuzuordnen.</p>	<p>Voraussetzung für den Einsatz der Maßnahme ist eine hohe Prognosesicherheit. Verleihe Anlagen können nicht kurzfristig wieder in den Betriebsmittelbestand eingegliedert werden. Im Falle einer unerwarteten Belastungserhöhung fehlt die betreffende Anlage somit zur effizienten Beherrschung der Entwicklung.</p> <p>Des Weiteren müssen die Zeit, bis zum Vertragsschluss und zur Deinstallation der Anlage, Aufwand und Kosten sowie Erlös durch die Leihgebühr in einem wirtschaftlich sinnvollen Verhältnis zueinander stehen.</p> <p>Die Reaktionszeit sowie die Mindesteinsatzzeit der Maßnahme sind somit abhängig von Anlagentyp und vereinbarter Vertragsdauer als mittel bis lang zu bewerten.</p>
26	Technologie	Kapazitätsanpassung	Modularer Aus- oder Rückbau skalierbarer Anlagen	<p>Zur wirtschaftlichen Beherrschung von Veränderungen in einem turbulenten Umfeld legen die Unternehmen zunehmend Wert auf die Wandlungsfähigkeit der Produktion. Als Wandlungsfähigkeit wird die Fähigkeit eines Produktionssystems beschrieben, auf externe Veränderungen und internen Veränderungsdruck mit einer Veränderung des Gesamtsystems in seiner Funktion, Struktur und Hierarchie reagieren zu können (Hernández und Wiendahl 2005: 210; Wiendahl et al. 2014: 128-134).</p> <p>Abbildung 1 zeigt den Unterschied zwischen Wandlungsfähigkeit und Flexibilität. Flexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich schnell und kostengünstig an geänderte Einflussfaktoren anpassen zu können. Die erreichbaren Systemzustände sind dabei vordefiniert und können als Fähigkeitskorridore dargestellt werden. Die Wandlungsfähigkeit des Produktionssystems ermöglicht eine organisatorische und technische Veränderung unabhängig von bestehenden Flexibilitätsgrenzen. Die Möglichkeiten der Wandlung sind dabei vorher definiert (Zäh et al. 2005; Nyhuis et al. 2008: 24-26). Der modulare Aus- oder Rückbau skalierbarer Anlagen ermöglicht somit eine Verschiebung des Flexibilitätskorridors und damit eine Beherrschung von Bedarfsschwankungen. Die Skalierbarkeit eines Systems ist definiert als die Atmungsfähigkeit in technischer, räumlicher oder personeller Hinsicht (Wiendahl et al. 2014: 128-134). Die Maßnahme besitzt eine Ressourcenorientierung.</p>	<p>Die Möglichkeit des modularen Umbaus einer Anlage muss bereits im Voraus bedacht und geplant sein. Ist dies der Fall, so ist eine Reaktion auf Bedarfsschwankungen möglich, die in ihrer Schwankungsamplitude die bestehenden Kapazitätsgrenzen übersteigen würden.</p> <p>Der modulare Aus- oder Rückbau der Anlagen ist mit erneuten Investitionskosten verbunden. Aus diesem Grund lässt sich die Maßnahme nur sinnvoll bei nachhaltigen Änderungen des Bedarfs anwenden. Die Reaktionszeit ist bei vorgesehener Skalierbarkeit als mittel zu bewerten. Die Mindesteinsatzzeit ist jedoch aufgrund der verbundenen Kosten als mittel bis lang anzusehen.</p>

27	Technologie	Belastungsabgleich	Verlagerung von Bedarfsmengen auf alternative interne Anlagenkapazitäten	<p>Analog zur Maßnahme "Verlagerung von Bedarfsmengen auf alternative interne Personalkapazitäten" wird der Belastungsabgleich in diesem Fall durch eine Verlagerung von Bedarfsmengen auf alternative Anlagenkapazitäten vorgenommen. Somit ist es möglich, Steigerungen der Nachfragemengen zu beherrschen. Die Maßnahme besitzt somit eine direkte Auftragsorientierung.</p>	<p>Voraussetzung für den Einsatz der Maßnahme stellt eine Verfügbarkeit von Anlagenkapazitäten dar. In Folge dessen hat ebenfalls ausreichend freie Personalkapazität zur Verfügung zu stehen, um die Anlagen bedienen zu können. Sind die genannten Voraussetzungen gegeben, kann die Reaktionsgeschwindigkeit als schnell angesehen werden.</p>
28	Technologie	Belastungsabgleich	Verkürzung oder Verlängerung von Anlagenausführungszeiten	<p>Die Sollzeiten für Arbeitsabläufe werden als Vorgabezeiten bezeichnet und können nach ausführender Kapazität in Auftragszeit (personell) und Belegungszeit (maschinell) unterteilt werden (Wiendahl 2010: 214). Unter der Veränderung der Belegungszeiten bzw. Anlagenausführungszeiten soll in diesem Zusammenhang die Über- bzw. Untertaktung von Anlagen verstanden werden. Ziel der Maßnahme ist die Steigerung der Produktionsintensität und somit der Ausbringungsmenge in einer festgelegten Zeit. Die Maßnahme orientiert sich somit sowohl an der Auftragslage als auch an den Produktionseigenschaften der Ressourcen.</p>	<p>Die Umsetzung der Maßnahme bedarf einer Vorlaufzeit, um die Produktion auf die zu ändernde Intensität einzustellen. Dies ist unter anderem durch eine Rüstooptimierung möglich. Auf diese Weise wird der Anteil der Rüstzeit an der Anlagenausführungszeit verringert und der Prozentsatz der wertschöpfenden Arbeit kann erhöht werden. Die Reaktionszeit ist je nach Umstellungsaufwand als gering bis mittel einzustufen. Die Maßnahme ist des Weiteren gut reversibel. Der Einsatz der Maßnahme birgt jedoch betreffend der Qualitäts- sowie der Verschleißrate Risiken. Eine Steigerung der Intensität kann zu einer hohen Belastung der Anlagen führen und unter Umständen die Ausschussquote erhöhen. In diesem Fall würde sich die Maßnahme nicht positiv auf die Ausbringungslleistung auswirken.</p>

Tabelle 12.5: umfänglicher Katalog von Maßnahmen der Kapazitäts- und Belastungsabstimmung (Teil2)

Nr	Gestaltungsfeld	Maßnahmenart	Maßnahme	Auswirkungen auf Zielgrößen	Quelle
1	Organisation	Kapazitätsanpassung	Verlängerung oder Verkürzung von Schichten	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch die Verlängerung der Schichtdauer steigt die verfügbare Produktionskapazität. Bei ausreichendem Auftragsbestand und der damit einhergehenden Auslastung der Kapazitäten steigt somit die Schichtleistung an. In nachfrageschwachen Perioden wird die Schichtleistung durch eine Reduktion der Schichtdauer gesenkt. Auf diese Weise ist eine konstante Auslastung der Kapazitäten erzielbar. • Bestand: Bei großer Auftragsbelastung kommt es vor den einzelnen Arbeitsstationen zu Warteschlangen. Die Umlaufbestände steigen somit an. Indem die Schichtdauer erhöht wird, ist das Produktionssystem in der Lage, eine größere Anzahl an Aufträgen fertigzustellen. Die Bestände werden auf diese Weise abgebaut. Bei Nachfragerückgang kann die Schichtleistung durch Verkürzung der Schichtdauer gedrosselt werden. Bei gleichbleibender Leistung würden ansonsten Fertigwarenbestände aufgebaut. Diese sind jedoch kostenintensiv (Lagerhaltungskosten) und stehen Konzepten wie Lean-Production und Just-in-Time-Produktion entgegen. • Durchlaufzeit: Die Durchlaufzeiten entwickeln sich abhängig von den Beständen. Indem trotz hoher Belastung die Bestände durch eine Erhöhung der Schichtleistung geringgehalten werden, steigen auch die Durchlaufzeiten neu eingehender Aufträge nicht an. • Termintreue: Unter der Annahme, dass bei gleichbleibender Leistung eine hohe Auftragsbelastung vorliegt, steigen die Bestände und die Durchlaufzeiten an. Die Termintreue und die Einhaltung der Liefertermine sinken. Indem die Schichtdauer erhöht wird, kann diesen Effekten entgegengewirkt werden. Die Termine können somit trotz hoher Belastung besser eingehalten werden. 	Krüger (2004); Gottschalk (2005); Bullinger (1995)

2	Organisation	Kapazitätsanpassung	Erweiterung oder Reduzierung des Schichtbetriebs	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Ausgehend von der Annahme einer Erhöhung der Schichtanzahl, kann die Leistung des Produktionssystems bei ausreichender Auslastung deutlich gesteigert werden. Voraussetzung ist darüber hinaus eine ausreichende Verfügbarkeit der personellen Kapazität. • Bestand: Bei gleichbleibender Belastungssituation kann durch die gesteigerte Leistung eine signifikante Bestandsreduktion erreicht werden. Im Falle einer hohen Nachfrage kann durch die beschriebene Maßnahme der anfallende Auftragsbestand bewältigt werden, ohne dass vor den Arbeitsstationen lange Warteschlangen entstehen. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung können die Durchlaufzeiten auch bei starker Auftragsbelastung konstant gehalten werden. Im Falle einer konstanten Belastungssituation und hohen Beständen kann durch die stark erhöhte Leistung eine Reduktion der Durchlaufzeiten erreicht werden. • Termintreue: Die Einhaltung der festgelegten Termine ist mit Hilfe einer Erweiterung des Schichtsystems auch bei starker Belastung möglich. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Krüger (2004); Gottschalk (2005)
3	Organisation	Kapazitätsanpassung	Erhöhung oder Verringerung der Betriebstage	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die Arbeitsleistung pro Betrachtungszeitraum (z. B. Woche, Quartal oder Jahr) wird durch die Erweiterung der Betriebstage erhöht. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die personelle Kapazität in einem ausreichenden Umfang vorliegt. Des Weiteren gilt die Aussage unter der Annahme dass die Auftragsbelastung eine Mindestgrenze überschreitet, sodass keine Unterauslastung der Anlagenkapazitäten vorliegt. • Bestand: Durch die zusätzliche Beschäftigungszeit kann eine größere Anzahl an Aufträgen pro Betrachtungszeitraum fertiggestellt werden. Im Falle einer konstanten Nachfrage sinkt auf diese Weise der Umlaufbestand. Bei starker Nachfrage kann durch zusätzliche Betriebstage der Bestand idealerweise konstant gehalten werden. • Durchlaufzeit: Die Durchlaufzeit verhält sich annähernd proportional zur Bestandsentwicklung. Falls die Bestände durch die Erweiterung der Betriebstage abgebaut werden, sinken die Warteschlangen vor den Arbeitsstationen und somit auch die mittleren Durchlaufzeiten neu eingehender Aufträge. • Termintreue: Unter der Annahme einer starken Nachfrage kann diese durch die zusätzlich gewonnene Produktionskapazität beherrscht werden. Die festgelegten Termine, können somit sowohl intern (Termine im Produktionsprozess) als auch extern (mit dem Kunden vereinbarte Liefertermine) eingehalten werden. 	Krüger (2004)

4	Organisation	Kapazitätsanpassung	Wiederinbetriebnahme o- der Stilllegung von Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Im Falle einer Wiederinbetriebnahme einer zuvor stillgelegten Produktionsanlage steigt die Leistung durch die zusätzliche Betriebsmittelkapazität an. Dies gilt jedoch lediglich unter der Voraussetzung, dass sowohl ausreichend Personalkapazität als auch Kapazitätsbedarf vorhanden ist. • Bestand: Durch zusätzliche Anlagenkapazität kann bestehender Bestand abgebaut bzw. bei großer Belastung annähernd konstant gehalten werden. • Durchlaufzeit: Mit Hilfe der kurzfristig verfügbaren Kapazität kann die mittlere Durchlaufzeit pro Auftrag trotz großer Belastung nahezu konstant gehalten werden. • Termintreue: Ebenso wie der Bestand, kann auch die Termintreue bei steigender Belastung annähernd konstant gehalten werden. 	Wiendahl (1997); Krüger (2004)
5	Organisation	Belastungsabgleich	Vorziehen oder Aufschieben von Bedarfsmengen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die Auslastung in Zeiten geringer Auftragslagen wird durch das Vorziehen von Aufträgen erhöht. Somit steigt in diesem Fall auch die mittlere Leistung der Arbeitssysteme. In nachfragestarken Perioden sind die Betriebsmittel idealerweise voll ausgelastet. Die zeitliche Verschiebung wird somit optimal eingesetzt, falls trotz des „Verlustes“ der vorgezogenen Aufträge eine vollständige Auslastung der Arbeitssysteme in Zeiten hoher Nachfrage verbleibt. Die mittlere Leistung der Arbeitssysteme über den gesamten Betrachtungszeitraum wird auf diese Weise durch die Glättung des Belastungsquerschnitts erhöht. • Bestand: Der Bestand wird durch die beschriebene Maßnahme direkt beeinflusst. Sowohl der Auftragsbestand als auch der Fertigwarenbestand wird je nach Belastungssituation verändert. In Zeiten geringer Nachfrage findet ein Vorziehen von Aufträgen statt. Da zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorgezogenen Aufträge der mit dem Kunden vereinbarte Lieferzeitraum möglicherweise nicht erreicht ist, wird ein Fertigwarenbestand aufgebaut. In Zeiten der Lean Production und Just-in-Time-Fertigung ist es unrealistisch, dass sich der Kunde bereit erklärt, die bestellte Ware bereits früher als vereinbart abzunehmen. In Zeiten hoher Nachfrage steigt naturgemäß der Auftragsbestand. Gegeben des Falls, dass zuvor Aufträge zur Glättung der Belastung vorgezogen wurden, sinkt der Auftragsbestand. • Durchlaufzeit: Grundsätzlich verhalten sich die Durchlaufzeiten proportional zur Bestandsentwicklung. Der Aufbau eines Fertigwarenbestands beeinflusst die Durchlaufzeiten jedoch nicht. Allerdings kommt es aufgrund der Reihenfolgevertauschung zu einer Abweichung von der geplanten optimalen Reihenfolge. Da die Reihenfolgeplanung das Ziel verfolgt, die Durchlaufzeiten zu minimieren, sind bei Durchführen der beschriebenen Maßnahme tendenziell längere Durchlaufzeiten zu erwarten. • Termintreue: Die Termintreue beschreibt die Fähigkeit, (Teil-)Prozesse innerhalb eines zuvor definierten Toleranzbereichs fertigzustellen. Die Durchführung dieser Maßnahme führt zu einer verfrühten Fertigstellung der vorgezogenen Aufträge. Die (interne)Termintreue nimmt somit ab. Die Liefertreue kann jedoch durch den Aufbau eines Fertigwarenlagers beibehalten und ggf. erhöht werden. 	REFA (1991); Wiendahl (1997)

6	Organisation	Belastungsanpassung	Fremdvergabe oder -aufnahme von Bedarfsmengen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die kapazitive Fremdvergabe wird in der Praxis zumeist bei großer Belastung eingesetzt. Die Anlagen sollten somit voll ausgelastet sein. Idealerweise ist die Auslastung der unternehmensinternen Anlagen auch nach der Fremdvergabe weiterhin hoch. Die Leistung der internen Betriebsmittel ändert sich somit nicht. Im Falle einer Fremdaufnahme von Aufträgen kann jedoch die Auslastung zuvor unausgelasteter Kapazitäten erhöht und somit auch die Leistung derselben gesteigert werden. • Bestand: Im Falle einer großen Nachfrage steigt der Umlaufbestand und die Halbfertigerzeugnisse laufen in Warteschlangen vor den Arbeitsstationen. Durch die Fremdvergabe von Bedarfsmengen kann der mittlere Umlaufbestand verkleinert werden. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung können auch die mittleren Durchlaufzeiten gesenkt werden. • Termintreue: Durch die Fremdvergabe eines Teils der Bedarfsmengen wird die Betriebsmittelkapazität bildlich durch eine erweiterte Werkbank erhöht. Auf diese Weise können auch starke Belastungen bewältigt und die Termintreue gegenüber den Kunden gesteigert werden. 	Wiendahl (1997); Krüger (2004); Gottschalk (2005); Windt (2001)
7	Logistik	Kapazitätsanpassung	Auf oder Abbau von Rohmaterial-, Halbfertig- und Fertigwarenlager	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Der Aufbau von Sicherheitsbeständen dient der Gewährleistung einer konstant ausgelasteten Produktion. Ein erhöhter Bestand verschiebt den aktuellen Betriebspunkt in der Leistungskennlinie nach rechts. Somit wird auch bei Belastungsschwankungen eine konstante Leistung des Produktionssystems sichergestellt. • Bestand: Der mittlere Bestand wird in diesem Fall als Regelgröße verwendet, um Einfluss auf die Auslastung der Produktion und die Termintreue zu nehmen. • Durchlaufzeit: Der Auf- oder Abbau eines Fertigwarenlagers berührt nicht die mittlere Durchlaufzeit eines Auftrags. Allerdings führt die Erhöhung des Umlaufbestands zu einer entsprechenden Erhöhung der mittleren Durchlaufzeiten aufgrund von Warteschlangenbildung an den Arbeitsstationen. • Termintreue: Eine allgemeingültige Aussage über den Einfluss der Maßnahme auf die Termintreue ist nicht möglich. Gegeben der Fall, dass die Produkte lagerungsfähig und kundenunabhängig herstellbar sind, kann jedoch bspw. durch den Aufbau eines Fertigwarenlagerbestands die Liefertreue erhöht werden. Im Fall hoher Nachfrage kann die Liefertreue durch die Belieferung mit Standardteilen beibehalten werden. 	Krüger (2004); Schellmann (2011)

8	Logistik	Belastungsabgleich	<p>Aufteilen oder Zusammenführen von Losen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die mittlere Leistung bleibt von der Maßnahme unberührt. Die Auslastung der betreffenden Anlage bleibt auch bei Loseilung hoch. Jedoch wird ein Teil der Warteschlange vor der Station durch alternative interne Anlagenkapazitäten abgebaut. • Bestand: Durch Glättung des Belastungsprofils bleibt die mittlere Auftragsbelastung an den Arbeitsstationen konstant. Kurzfristig eingehende Aufträge großen Arbeitsumfangs führen somit nicht zur Warteschlangenbildung, sondern können von alternativen Anlagenkapazitäten bearbeitet werden. Der mittlere Umlaufbestand bleibt somit konstant. Die Schwankungen des Umlaufbestands nehmen ab. Die reale Leistungskennlinie nähert sich der idealen Kennlinie an. Somit wirkt die Loseilung reduzierend auf den idealen Mindestbestand ein. • Durchlaufzeit: Auch die Durchlaufzeiten werden homogenisiert und zeichnen sich ebenfalls durch eine geringere Schwankung aus. Insbesondere Aufträge großen Arbeitsinhalts können in ihrer Durchlaufzeit reduziert werden. • Termintreue: Die mittlere Termintreue kann durch die Loseilung erhöht werden. Große Aufträge können durch die Loseilung in mehrere Aufträge gleicher Losgröße aufgeteilt und auf unterschiedlichen Anlagen gefertigt werden. Auf diese Weise bilden sich keine langen Warteschlangen bei kurzfristigem Anstieg der Arbeitsbelastung. Dies führt zu einer Homogenisierung der Durchlaufzeiten und somit zu einer leichten Erhöhung der Termintreue. 	Wiendahl (2010); Berkholz (2012); Wesebaum (2016)
9	Personal	Kapazitätsanpassung	<p>Aufbau von bezahlten Überzeiten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch zusätzliche Personalkapazität kann die Leistung des Produktionssystems gesteigert werden. Voraussetzung ist jedoch, dass ein Personalengpass vorliegt bzw. dass durch die zusätzliche Personalkapazität durch manuelle Arbeit Aufträge fertiggestellt werden können. • Bestand: Bei steigender Leistung kann Bestand abgebaut werden. Im Falle starker Auftragsbelastung kann diese durch die zusätzliche Kapazität beherrscht werden, sodass kein Anstieg des mittleren Bestands erfolgt. • Durchlaufzeit: Die mittleren Durchlaufzeiten der Aufträge verhalten sich proportional zu der Bestandsentwicklung. • Termintreue: Bei konstanter Belastung kann die Termintreue durch die zusätzliche Kapazität erhöht werden. Bei einem Belastungsanstieg kann die Termintreue nahezu konstant gehalten werden. 	Wiendahl (2010); Berkholz (2012); Schellmann (2011)

10	Personal	Kapazitätsanpassung	Auf- oder Abbau festangestellter Personals	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die Leistung lässt sich durch Erhöhen der Personalkapazität auf einfache Weise erhöhen. Voraussetzung ist, dass ein Personalengpass vorliegt und die Auftragsbelastung einen höheren Personalbedarf bedingt. • Bestand: Die Maßnahme wird bei einer langanhaltenden Erhöhung des Kapazitätsbedarfs vorgenommen. Durch die Erhöhung der Personalkapazität kann die stärkere Belastung beherrscht werden und einem Anstieg des mittleren Bestands vorgebeugt werden. • Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit kann nach entsprechend der Bestandsentwicklung ebenfalls nahezu konstant gehalten werden. • Termintreue: Bei langfristiger Steigerung der Mengennachfrage würde die Termintreue bei konstantem Kapazitätsangebot deutlich sinken. Mit Hilfe der beschriebenen Maßnahme kann die mittlere Termintreue beibehalten werden. 	Berkholz (2012); REFA (1991); Wiendahl (1997); Krüger (2004); Gottschalk (2005)
11	Personal	Kapazitätsanpassung	Aufbau befristeten Personals	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: In einem zeitlich begrenzten Rahmen steigt die verfügbare Personalkapazität. Im Falle einer ausreichenden Nachfrage sowie verfügbaren Anlagenkapazität, kann durch Einsatz der beschriebenen Maßnahme die mittlere Leistung des Produktionssystems temporär erhöht werden. • Bestand: Hoher Auftragsbestand kann durch die zusätzliche Personalkapazität abgebaut werden. • Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit kann durch die gestiegene Leistung und den sinkenden mittleren Auftragsbestand verringert werden. • Termintreue: Durch höhere mittlere Leistung und geringere mittlere Durchlaufzeiten der Aufträge kann eine Erhöhung der Termintreue erreicht werden. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Krüger (2004)
12	Personal	Kapazitätsanpassung	Einsatz von Leiharbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch den Einsatz von Leiharbeitnehmern kann temporäre, zusätzliche Personalkapazität gewonnen werden. Unter der Annahme eines ausreichenden Auftragsbestands sowie entsprechender Anlagenkapazitäten kann die mittlere Leistung erhöht werden. • Bestand: Unter den genannten Annahmen kann ein bestehender Auftragsbestand abgebaut bzw. der mittlere Bestand trotz hoher Belastung annähernd konstant gehalten werden. • Durchlaufzeit: Die Durchlaufzeit entwickelt sich proportional zum Bestand. • Termintreue: In Zeiten starker Nachfrage kann durch Leiharbeit die Personalkapazität entsprechend dem Bedarf erhöht werden, sodass die mittlere Termintreue konstant bleibt. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Krüger (2004)

13	Personal	Kapazitätsanpassung	Einsatz von Kurzarbeit <ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Kurzarbeit wird bei starkem Arbeitsmangel eingesetzt, um die kostenintensive Unterauslastung von Arbeitnehmern zu vermeiden. Durch den Wegfall eines Teils der Personalkapazität sowie durch geringe Arbeitsbelastung sinkt die Leistung des Arbeitssystems und lässt sich somit auf die Nachfragesituation anpassen. • Bestand: Da Kurzarbeit lediglich bei Auftragsmangel Anwendung findet, kommt es nicht zu einem Anwachsen des mittleren Bestands bei sinkender Leistung. Leistung und Auftragslage werden aufeinander abgestimmt, sodass der mittlere Bestand konstant bleibt. • Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit eines neu eingehenden Auftrags bleibt trotz sinkender Leistung konstant, da der mittlere Bestand nicht anwächst. • Termintreue: Die mittlere Termintreue bleibt konstant. 	(Wichert 2017)
14	Personal	Kapazitätsabgleich	Auf- oder Abbau gleitender Überzeit <ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch zusätzliche Personalkapazität kann die Leistung gesteigert werden. Die Leistungskennlinie verschiebt sich nach oben. Da die Mehrarbeit über Freizeit ausgeglichen wird, sinkt die Leistung ab. Die mittlere Leistung über den Betrachtungszeitraum bleibt somit konstant. • Bestand: Der mittlere Bestand im System bleibt konstant. Bei großen Nachfragemengen kann die Belastung durch Mehrarbeit kompensiert werden. Das Produktionssystem kann in diesem Fall durch die höhere Leistung mehr Aufträge im selben Betrachtungszeitraum fertigstellen. • Durchlaufzeit: Die Durchlaufzeit verhält sich annähernd proportional zum Bestandsverlauf. Die mittlere Durchlaufzeit eines neu eingehenden Auftrags bleibt somit ebenfalls konstant. • Termintreue: Die mittlere Termintreue kann durch die flexible Anpassung der Arbeitszeit an den Bedarf beibehalten werden. Bei hoher Belastung und gleichbleibender Leistung würden die Bestände wachsen und die Termintreue sinken. Mit Hilfe des Einsatzes der Überzeit können die Mehrbelastungen jedoch in einem gewissen Rahmen bewältigt werden. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Krüger (2004); Gottschalk (2005); Schellmann (2011)

15	Personal	Kapazitätsabgleich	Kurz- oder langfristige innerbetriebliche Versetzung von Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die Maßnahme wird sinnvoll bei Personalkapazitätsengpässen eingesetzt. In diesem Fall kann die temporäre Versetzung von Personal zu einer Steigerung der mittleren Leistung führen. • Bestand: Aufgrund eines Kapazitätsengpasses können bei ausreichendem Bedarf Warteschlangen vor der Engpassstation entstehen. Der Umlaufbestand steigt somit an. Mit Hilfe des Einsatzes der beschriebenen Maßnahme ist es möglich, die Engpassstation zu unterstützen und die Warteschlange auf diesem Wege abzarbeiten. Der mittlere Umlaufbestand kann gesenkt werden. • Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit steigt bei Kapazitätsengpässen aufgrund der beschriebenen Warteschlangen an. Der Einsatz von Springerpersonal kann die Engpassstation kurzfristig unterstützen und somit den Bestand abbauen. Als Resultat dessen sinken auch die mittleren Durchlaufzeiten der Aufträge. • Termintreue: Lange Warteschlangen vor einer Engpassstation führen zu einer Erhöhung der mittleren Durchlaufzeiten und somit zu einer Verschlechterung der mittleren Termintreue. Die beschriebene Maßnahme kann die Durchlaufzeiten verkürzen und infolge dessen die Termintreue erhöhen. 	Krüger (2004); Gottschalk (2005)
16	Personal	Kapazitätsabgleich	Innerbetrieblicher Austausch von Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch die höhere Intensität der Leistungserbringung kann in sehr begrenztem Rahmen positive auf die mittlere Leistung (z. B. einer Schicht) eingewirkt werden. • Bestand: Der mittlere Bestand kann entsprechend der marginal höheren Leistung leicht abgebaut werden. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung können die mittleren Durchlaufzeiten leicht verringert werden. • Termintreue: Die mittlere Termintreue kann ebenfalls leicht beeinflusst werden. Die Steigerung der Intensität führt zu einer geringen Erhöhung der Termintreue. 	Wiendahl (1997)

17	Personal	Belastungsabgleich	Verlagerung von Bedarfsmengen auf alternative interne Personalkapazitäten	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch die Erweiterung der Personalkapazität des betreffenden Arbeitssystems um zusätzliches internes Personal können mehr Aufträge pro Zeiteinheit bearbeitet werden. Die mittlere Leistung des Produktionssystems steigt somit an. • Bestand: Durch den Belastungsabgleich wird dem Anstieg des mittleren Umlaufbestands entgegengewirkt. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung kann auch die mittlere Durchlaufzeit der Aufträge auf einem annähernd konstanten Niveau gehalten werden. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Schellmann (2011)
18	Personal	Belastungsabgleich	Verkürzung oder Verlängerung von Personalausführungszeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die Erhöhung der Intensität führt zur Steigerung der Leistung. Der Grad der Steigerung ist jedoch als gering zu bewerten. • Bestand: Durch die höhere Leistung ist in geringem Maße eine Senkung des mittleren Umlaufbestands möglich. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung ist auch grundsätzlich eine Verkürzung der mittleren Durchlaufzeiten denkbar. Jedoch ist der Effekt als gering anzusehen. • Termintreue: Die Termintreue steigt marginal, da geringfügig mehr Aufträge pro Betrachtungszeitraum fertiggestellt werden können. 	Gottschalk (2005)

19	Technologie	Kapazitätsanpassung	Mechanisierung von Prozessen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die Mechanisierung von Arbeitsprozessen resultiert in einer Steigerung der Leistungsfähigkeit der Personalkapazität. Der Anstieg der Kapazität ist jedoch als gering anzunehmen. Eine Arbeitskraft kann an einem mechanisierten Arbeitsplatz eine größere Anzahl Produkte pro Zeiteinheit fertigtellen als an einem rein manuellen Arbeitsplatz. • Bestand: Im Falle einer hohen Arbeitsbelastung kann durch die Mechanisierung von Arbeitsplätzen eine Bestandsreduzierung erreicht werden. • Durchlaufzeit: Entsprechend einer möglichen Bestandsreduzierung ist eine Reduzierung der mittleren Durchlaufzeiten möglich. • Termintreue: Die mittlere Termintreue kann durch die Bewältigung höherer Nachfragebelastungen leicht verbessert werden. 	Krüger (2004); Lotter (2012); Köstermann (1997)
20	Technologie	Kapazitätsanpassung	Teil- bis Vollautomatisierung von Prozessen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: In der Annahme, dass die Automatisierung zur Maximierung der Ausbringungsleistung eingesetzt wird, resultiert die Maßnahme in einem mittleren bis sehr hohen Anstieg der Betriebsmittelkapazität. Unter der Voraussetzung, dass sowohl ausreichend Kapazitätsbedarf als auch Personalkapazität zur Verfügung steht, ist eine deutliche Steigerung der mittleren Systemleistung realisierbar. • Bestand: Die erhöhte Leistung führt zu einer Reduzierung des mittleren Umlaufbestands. • Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit kann aufgrund der kürzeren Warteschlangen vor den Stationen verkürzt werden. • Termintreue: Tendenziell ist eine Erhöhung der Termintreue die Folge der erhöhten Leistung. Allerdings sinkt die Fähigkeit flexibel auf Veränderungen zu reagieren. Somit können kurzfristig eingehende Eilaufträge aufgrund der geringen Flexibilität nicht unmittelbar bearbeitet werden. In diesem Fall kann die Termintreue nicht beibehalten werden. 	
21	Technologie	Kapazitätsanpassung	Erwerb oder Veräußerung manueller Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Bei ausreichendem Bedarf und verfügbarer Personalkapazität kann die Leistung des Arbeitssystems erhöht werden. • Bestand: Wartende Aufträge bilden vor den Arbeitsstationen Warteschlangen. Durch die gesteigerte Leistungsfähigkeit können diese abgebaut werden. Auf diese Weise sinkt der mittlere Umlaufbestand. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung können Durchlaufzeiten gesenkt werden. Da durch die hohe Flexibilität einer manuellen Anlage auch kurzfristige Eilaufträge schnell bearbeitet werden können, entsteht keine Verlängerung der Durchlaufzeiten. • Termintreue: Die Termintreue kann durch die beschriebenen Auswirkungen auf Leistung und Bestand erhöht werden. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Gottschalk (2005)

22	Technologie	Kapazitätsanpassung	Erwerb oder Veräußerung teil- bis voll-automatisierter Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Die mittlere Ausbringungsleistung des Arbeitssystems kann durch eine automatisierte Anlage deutlich erhöht werden. Je nach Anlagengestaltung ist es möglich, durch Variation der Personalanzahl an der Station die Ausbringungsleistung zu variieren und so auf Bedarfsschwankungen zu reagieren. Die Ausbringungsleistung einer teilautomatisierten Anlage, die bei 100 % Auslastung mit 5 Mitarbeitern betrieben wird, kann in Zeiten sehr geringer Nachfrage durch Besetzung mit einem einzigen Mitarbeiter auf 20 % der maximalen Leistung gedrosselt werden. • Bestand: Der mittlere Bestand im Produktionssystem wird durch die signifikante Erhöhung der Ausbringungsleistung abgebaut. • Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit kann bei regelmäßigen Aufträgen über große Stückzahlen deutlich verringert werden. Jedoch geht die Verwendung automatisierter Betriebsmittel mit einem Rückgang der Flexibilität. Kurzfristige Eilaufträge oder kundenspezifische Veränderung der Produktvarianten können daher schlecht bearbeitet werden. Daher muss in diesen Fällen eine große Durchlaufzeit berücksichtigt werden. • Termintreue: Abhängig von der Variantenvielfalt und der Belastungssituation resultiert die Verwendung automatisierter Anlagen in einer Verbesserung der Termintreue. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Gottschalk (2005)
23	Technologie	Kapazitätsanpassung	Leasing manueller Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch das Anlagenleasing erfolgt eine temporäre Erhöhung der Betriebsmittelkapazität. Bei ausreichender Personalkapazität sowie vorhandenem Bedarf ist somit eine Steigerung der mittleren Leistung für die Dauer des Leasingvertrags möglich. • Bestand: Durch große Belastung stark erhöhter Bestand kann mit Hilfe der zusätzlichen Kapazität abgebaut werden. Bei hoher Prognosesicherheit und Berücksichtigung der Vorlaufzeit ist es möglich, bereits zum Zeitpunkt der Bedarfsentwicklung auf die zusätzliche Belastung zu reagieren. Auf diese Weise kann der mittlere Umlaufbestand nahezu konstant gehalten werden. • Durchlaufzeit: Analog zu der Entwicklung des mittleren Bestand erfolgt eine Reduzierung der Durchlaufzeit durch Abbau von Warteschlangen. Bei konstantem mittlerem Bestand wird auch die mittlere Durchlaufzeit der Aufträge trotz erhöhter Belastung konstant gehalten. • Termintreue: Die mittlere Termintreue erfährt eine Steigerung im Falle sinkenden Bedarfs und geringerer Durchlaufzeiten. 	Gottschalk (2005); Schellmann (2011)

24	Technologie	Kapazitätsanpassung	<p>Leasing teil- bis vollautomatisierter Anlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Unter der Voraussetzung des Vorhandenseins ausreichender Nachfrage sowie Personalkapazität zum Betrieb der Anlage, kann die Maßnahme zu einem signifikanten Anstieg der Produktivität und somit der Leistung des Produktionssystems führen. Bei längerfristiger Bedarfserhöhung bleibt die gesteigerte Produktivität bis zum Ablauf des Leasingvertrags erhalten. Ein anschließender Erwerb der Anlage ist in vielen Fällen möglich. • Bestand: Unter der Voraussetzung einer geringen Variantenvielfalt sowie der Nachfrage nach großen Stückzahlen, lässt sich die Maßnahme sehr effizient einsetzen. In diesem Fall können wartende Aufträge abgearbeitet werden und der mittlere Umlaufbestand somit verringert werden. • Durchlaufzeit: Die mittleren Durchlaufzeiten von Standardaufträgen entwickeln sich proportional zu der Bestandsveränderung. Aufgrund des Verlustes an Flexibilität können allerdings Produktvariationen, Eilaufträge oder kundenspezifische Modifikationen nicht kurzfristig umgesetzt werden. In diesen Fällen bedingt der höhere Automatisierungsgrad eine Steigerung der Durchlaufzeiten. • Termintreue: Die mittlere Termintreue folgt derselben Systematik wie die Entwicklung der Durchlaufzeiten. Kurze Durchlaufzeiten bedingen eine Erhöhung der Termintreue. Im Falle kurzfristig notwendig werdender Variationen sinkt die Termintreue jedoch. 	Gottschalk (2005); Schellmann (2011)
25	Technologie	Kapazitätsanpassung	<p>Verleih erworbener Anlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Bei konstanter Auftragsbelastung führt die Verringerung der Betriebsmittelkapazität zu einem Verlust an Leistungsfähigkeit. Unter der Annahme einer geringen Nachfrage und der damit verbundenen Unterauslastung der Betriebsmittel bleibt die mittlere Leistung konstant. Die Auslastung der verbliebenen Betriebsmittel steigt jedoch an. • Bestand: Im Falle einer konstant hohen Nachfrage führte der Einsatz der Maßnahme aufgrund der verringerten Leistungsfähigkeit des Produktionssystems zu einem Anstieg des mittleren Umlaufbestands. Da die Maßnahme jedoch lediglich in Zeiten geringer Nachfrage sinnvoll eingesetzt wird, sollte die verbliebene Betriebsmittelkapazität ausreichen, um die Auftragsbelastung bewältigen zu können. In diesem Falle bliebe der mittlere Bestand konstant. • Durchlaufzeit: Entsprechend der Bestandsentwicklung verändert sich auch die Durchlaufzeit. • Termintreue: Unter der Annahme eines durch den Einsatz der Maßnahme gestiegenen Bestands, erfolgt eine Verschlechterung der mittleren Termintreue. 	Gottschalk (2005); Schellmann (2011)

26	Technologie	Kapazitätsanpassung	Modularer Aus- oder Rückbau skalierbarer Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Der modulare Ausbau einer skalierbaren Anlage verschiebt die Kapazitätsgrenzen nach oben. Das bedeutet einen Zugewinn an verfügbarer Kapazität. Im Falle ausreichender Nachfrage ist somit eine höhere Leistung des Produktionssystems erreichbar. • Bestand: Ein durch hohe Belastung gesteigener Bestand kann durch die Skalierbarkeit der Anlagen nachhaltig gesenkt werden. • Durchlaufzeit: Die Durchlaufzeit entwickelt sich entsprechend einer möglichen Bestandsreduzierung hin zu niedrigeren Zeiten. • Termintreue: Im Falle einer längerfristig anhaltenden Bedarfserhöhung kann die Termintreue durch die gestiegene Betriebsmittelkapazität beibehalten werden. Bei konstanter Belastung führt der modulare Ausbau zu einer Erhöhung der Termintreue. 	Krüger (2004)
27	Technologie	Belastungsabgleich	Verlagerung von Bedarfsmengen auf alternative interne Anlagenkapazitäten	<ul style="list-style-type: none"> • Leistung: Durch die Erweiterung der Anlagenkapazität des Arbeitssystems durch alternative interne Anlagenkapazitäten kann die mittlere Leistung deutlich positiv beeinflusst werden. • Bestand: Bei hoher Belastung würde an der betreffenden Arbeitsstation ein großer Warteschlangenbestand anwachsen. Durch die Verlagerung eines Teils der Aufträge kann der Bestand abgebaut werden. • Durchlaufzeit: Die Durchlaufzeiten können durch die Verkürzung der Warteschlangen ebenfalls vermindert werden. • Termintreue: Die mittlere Termintreue kann durch geringere Durchlaufzeiten der Aufträge erhöht werden. 	REFA (1991); Wiendahl (1997); Schellmann (2011)

28	Technologie	Belastungsabgleich	Verkürzung oder Verlängerung von Anlagenausführungszeiten	<ul style="list-style-type: none">• Leistung: Die Steigerung der Intensität führt zu einer Steigerung der Ausbringungsleistung. Es ist jedoch notwendig, die Qualitätsrate zu berücksichtigen. Eine Steigerung der Ausschussquote würde den positiven, leistungssteigernden Effekt verhindern.• Bestand: Unter der Annahme einer konstanten Ausschussquote kann durch die Steigerung der Intensität in einem begrenzten Rahmen Bestand abgebaut werden.• Durchlaufzeit: Die mittlere Durchlaufzeit kann unter derselben Annahme entsprechend der Bestandentwicklung reduziert werden.• Termintreue: Die mittlere Termintreue kann ebenfalls unter der Annahme eines konstanten Qualitätsgrades erhöht werden.	Wiendahl (2010); Gottschalk (2005)
----	--------------------	--------------------	---	--	------------------------------------

