

1 Einleitung

„Es sind nicht die stärksten der Spezies, die überleben, nicht die intelligentesten, sondern die, die am schnellsten auf Veränderungen reagieren können.“

Charles Darwin (1809-1882), Begründer der modernen Evolutionstheorie

1.1 Ausgangssituation

Im Laufe der letzten Dekaden haben sich die Rahmenbedingungen, in welchen produzierende Unternehmen operieren, mit einer nie zuvor dagewesenen Geschwindigkeit gewandelt. Die Globalisierung der Absatzmärkte und Produktionsstandorte, die fortschreitende Alterung der Gesellschaften in den Industrienationen des Westens, der Aufstieg Chinas, kürzer werdende Innovationszyklen und schnellere technologische Entwicklungen sowohl bei Produkten, als auch Fertigungsverfahren, haben die Welt grundlegend verändert. Neue Erkenntnisse in der Logistik ermöglichen, in Kombination mit immer fortschrittlicheren Management- und Organisationskonzepten und zusammen mit den entsprechenden Softwarelösungen, eine völlig neue Gestaltung und Disposition von Warenströmen und Wertschöpfungsaktivitäten rund um den Globus. Diese Globalisierung der Wertschöpfung ermöglicht Unternehmen im Zusammenspiel mit immer neuen Märkten und Absatzregionen vielfältige zusätzliche Dimensionen der Unternehmensaktivität. (vgl. u.a. Westkämper et al. 2000; Kirchner et al. 2003; Heger 2007; Fronia 2008; Heinen 2011)

Die immer weiter gehende Vernetzung verschiedenster produzierender Unternehmen untereinander, mit Dienstleistern und Zulieferern in globalen Wertschöpfungsnetzen, hat jedoch auch zu einem deutlichen Anstieg der ein einzelnes Unternehmen tangierenden Veränderungen geführt. Einflussfaktoren wie Produktaufbau, Wettbewerber, verfügbare Technologien, Umweltrichtlinien, Produktlebenszyklen, Faktorpreise sowie neue Fertigungsverfahren oder I&K-Technologien können sich mittlerweile sprunghaft und grundlegend wandeln und so das industrielle Umfeld kurzfristig und nachhaltig beeinflussen (vgl. Warnecke 1993; Lutz 2000; Wiendahl et al. 2002; Bergholz et al. 2002; Wiendahl et al. 2001; Pawlowsky et al. 2008).

Am deutlichsten wird diese Entwicklung am Beispiel der Absatzmärkte. Waren diese in den 80ern herstellergeprägt, entwickelten sie sich in den 90ern rasant in Richtung von Käufermärkten mit ihrem zum Teil sehr individuellen Kundenkaufverhalten (vgl. Dombrowski 2004; Barth 2005; Westkämper 2004). In der Folge sind die Veränderungen von Einflussfaktoren wie Wettbewerber, Marktanteile, Preisentwicklung, Marktstandards, Produktlebenszyklen oder Qualitätsanforderungen nicht mehr länger antizipierbar (vgl. Warnecke 1992; Lutz 2000; Wiendahl et al. 2002; Bergholz et al. 2002). In Summe haben diese Entwicklungen den Begriff eines turbulenten Umfelds

geprägt, welches in immer kürzeren Zeitabständen neue Herausforderungen für produzierende Unternehmen generiert (vgl. Reinhart und Hoffmann 2000).

1.2 Bedeutung einer anpassungsfähigen Produktion

Der Produktion kommt vor dem Hintergrund der eingangs beschriebenen Veränderungen und Entwicklungen eine besondere Bedeutung zu. Als Ort der eigentlichen Wertschöpfung in Unternehmen und Netzwerken spielte sie lange Zeit eine eher untergeordnete Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit. Die Garantien für unternehmerischen Erfolg wurden in der Entwicklung neuer Produkte, den verfügbaren Marketingstrategien zur Steigerung des Absatzes, neuen Beschaffungsstrategien und der Finanzkraft des Unternehmens gesehen. Erst die auf einer effizienten und anpassungsfähigen Produktion basierenden Erfolge japanischer Unternehmen Anfang der 90er Jahre offenbarten die strategischen Potenziale anpassungsfähiger Produktionssysteme für die Sicherung des langfristigen Unternehmenserfolgs (vgl. Hayes et al. 1988; Schiemenz 1996; Abele 2006). Die Wettbewerbsüberlegenheit japanischer Konkurrenz, u.a. in den Bereichen Produktivität, Liefertreue oder Qualität (vgl. Womack et al. 1992, 2007), zwang europäische und amerikanische Unternehmen zum Umdenken und zur Entwicklung neuer Konzepte und Instrumente. In der Folge gewann die Produktion zunehmend an Bedeutung und wird heute nicht mehr nur als Ort zu erbringender Transformationsleistung gesehen, sondern vielmehr als strategischer Erfolgsfaktor in einem globalen und zunehmend dynamischen Umfeld (vgl. Zahn und Dillerup 1994; Abele 2006).

Erste als Reaktion auf diese Umfeldentwicklungen und die damit einhergehenden neuen Anforderungen entwickelte Strategien waren die Konzentration auf Kernkompetenzen, unternehmensinterne Kompetenzkonzentration, inkrementelle Produktinnovation, Externalisierung von Kosten für Umweltbelastungen oder Sozialkosten oder die Investition in automatisierte Fertigungstechnologien zur Reduktion von Lohn- und Lohnnebenkosten (vgl. dazu die Ausführungen von Wiendahl et al. 2009 sowie die dort zitierte Literatur). Der potenzielle Erfolg dieser Ansätze war jedoch an ein relativ stabiles Unternehmensumfeld geknüpft, in welchem Einflussfaktoren keinen großen und vor allem keinen abrupten Veränderungen unterliegen. Im Zuge der eingangs beschriebenen Entwicklungen veränderten sich wirtschaftliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen jedoch in einer bisher nie dagewesenen Geschwindigkeit (vgl. dazu Lutz et al. 1996; Lutz 2000; Klocke 1998; Wiendahl et al. 2009), was in der Konsequenz die ausbleibenden langfristigen Erfolge der genannten Strategien erklärt.

Diese Zunahme der Häufigkeit, Intensität und Dynamik von Einflussfaktorveränderungen (vgl. Schenk und Wirth 2004) zwingt Fabrik- und Produktionssystemplaner in immer kürzeren Zeitabständen neue Technologien in die betreffenden Systeme zu integrieren, Prozesse und Strukturen anzupassen, Planungsprozesse zu parallelisieren und die Leistungsfähigkeit der Systeme über die Zeit sehr variabel zu gestalten. Der Logik der

Aussagen von SCHENK UND WIRTH folgend, hat die technische Nutzungsdauer von Fertigungsanlagen dabei die Dauer der Produkt-Markt-Zyklen bereits in vielen Bereichen übertroffen (vgl. Schenk und Wirth 2004 sowie Kaluza 1995). Fabriken und Produktionssysteme werden heute nicht mehr nur für ein bestimmtes Produktionsprogramm gebaut, sondern „fertigen“ im Rahmen ihres Lebenszyklus` ggf. eine ganze Reihe nachfolgender Produkte in verschiedenen Varianten (vgl. Hildebrand et al. 2005). Die Ausstattung und Dimensionierung dieser Systeme muss demzufolge in einer Art und Weise erfolgen, welche es ihnen ermöglicht, zum Planungszeitpunkt noch nicht antizipier- oder planbare Situationen zu bewältigen (vgl. Schuh et al. 2008). Als besonders problematisch erweisen sich vor dem Hintergrund zunehmender Dynamik, Intensität und Häufigkeit der Einflussfaktorveränderungen die langen Nutzungszeiträume von Arbeitsmitteln und Gebäuden (vgl. Kaluza 1995). Während Produkte heutzutage je nach Branche und Zielgruppe Lebensdauern zwischen fünf und zwölf Monaten aufweisen, werden die Ressourcen, welche zu ihrer Herstellung verwendet werden, häufig zehn bis 15 Jahre genutzt. Die Gebäude, in welchen die Fertigungseinrichtungen installiert sind, werden mitunter sogar mehr als 30 Jahre betrieben (vgl. Hummel 2006).

In diesem Spannungsfeld zwischen sich immer schneller und bedeutsamer verändernden Einflussfaktoren und mitunter sehr langlebigen (wandlungsträgen) Fertigungsstrukturen sind Produktionsplaner heutzutage permanent damit beschäftigt, ihre Strategien, Konzepte und Systeme entsprechend der auftretenden Einflussfaktorveränderungen anzupassen, um Handlungsspielräume zur Beherrschung der Unsicherheiten zu generieren (vgl. Kaluza und Blecker 2005b; Barth 2005; Krappe et al. 2006). Einer seitens des Fraunhofer IPA durchgeführten Studie zufolge ist die Mehrheit kleiner und mittelständischer Unternehmen gezwungen, ihre Produktionssysteme binnen eines Jahres mehrmals umzuplanen (vgl. Bierschenk et al. 2004). In diesem Kontext kommen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit, als Hauptvertretern Anpassungsfähigkeit konstituierender Systemeigenschaften, eine immer größere Bedeutung zu. Sie zählen in der Diskussion um die Anpassungsfähigkeit von Produktionssystemen zu den zentralen Erfolgsfaktoren für das Überleben erfolgreicher und robuster Unternehmen am Markt (vgl. (Enderlein et al. 2003; Wirth et al. 2000; Westkämper 1999) und werden u.a. als „strategische Erfolgsposition“ (Pümpin 1982), „kritische Erfolgsfaktoren“ (Daniel 1961), „Erfolgspotenzial“ (Gälweiler 1987) oder auch „strategische Schlüsselfaktoren“ (Chrubasik und Zimmermann 1987) bezeichnet. Trotz der derzeitigen Bedeutungszunahme dieser Faktoren haben „traditionelle“ Erfolgsfaktoren, wie Kosten, Qualität oder auch Erzeugnisvielfalt, keineswegs an Bedeutung verloren (vgl. Kaluza und Blecker 2005a). Vielmehr muss der „klassische“ Dreiklang aus Kosten, Qualität und Zeit um weitere Wettbewerbsfaktoren wie Flexibilität, Wandlungsfähigkeit oder auch Agilität erweitert werden (vgl. Milling und Thun 2005; Kaluza und Blecker 2000) (vgl. **Abbildung 1-1**).

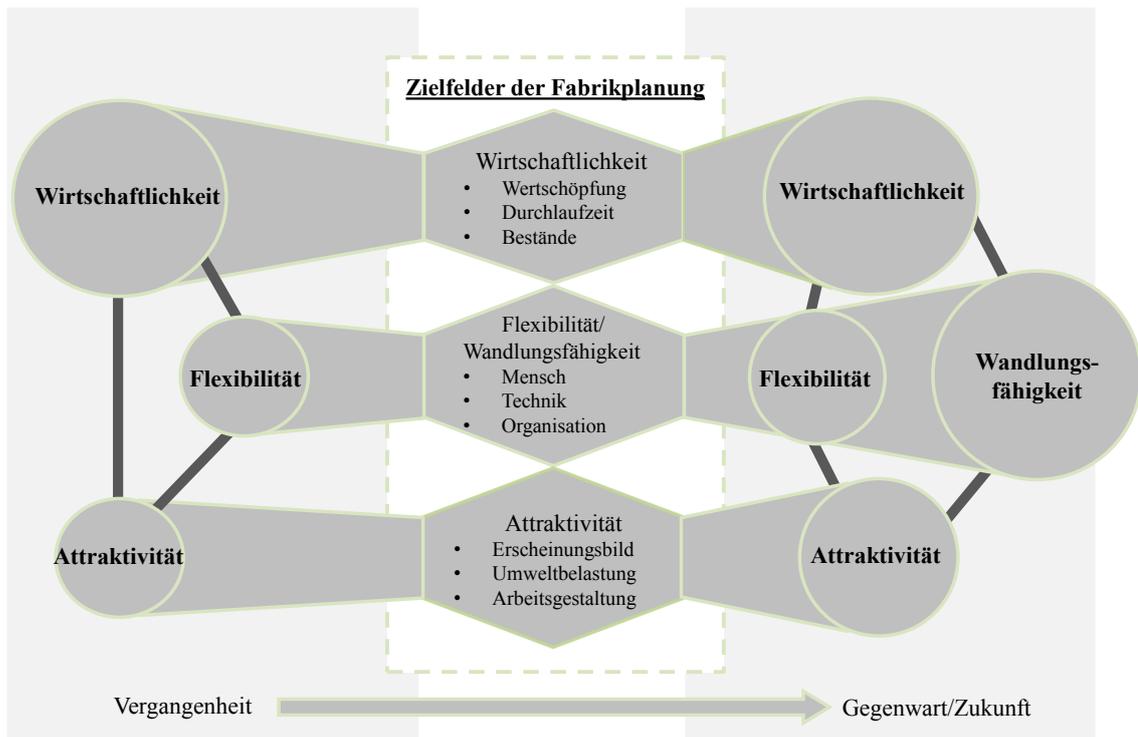


Abbildung 1-1: Wandel der Zielfelder in der Fabrikplanung (Hernández Morales 2003)

Um eine gesteigerte Flexibilisierung von Produktionssystemen zu erreichen, wurden in der Vergangenheit Computer Integrated Manufacturing (CIM), Total Quality Management (TQM), Business Reengineering und Lean-Management entwickelt. Diese Strategien besitzen noch immer ihre Gültigkeit und wurden über die Jahre weiterentwickelt (vgl. Barth 2005; Krappe et al. 2006). Jedoch zeigte sich, dass insbesondere der Ansatz des CIM nicht die erhofften Erfolge bei der Flexibilisierung der Produktion, welche insbesondere vor dem Hintergrund der in Deutschland sehr hohen Arbeitskosten erwartet wurden, erreichen konnte (vgl. Wiendahl et al. 2009). Derzeitige weiterführende Strategien im Kontext der Anpassungsfähigkeit sind das Agile Manufacturing, Konzepte im Kontext Ganzheitlicher Produktionssysteme oder die Vision der Supraadaptivität (vgl. Barth 2005; Kaluza und Blecker 2005b; Günthner et al. 2005).

Aus der Bandbreite derzeit verfolgter Konzepte zur Realisierung einer flexibleren Produktion zählen u.a. das Outsourcing (vgl. Wildemann 2005; Bellmann 2005), räumliches Insourcing (vgl. Bellmann 2005; Wildemann 2005), automatisierte und konfigurierbare Fertigungssysteme (vgl. Bellmann 2005; Denkena et al. 2006), Bestandserhöhungen (vgl. Zäh et al. 2006) und Arbeitszeitflexibilisierung (vgl. Kaluza und Blecker 2005a) zu den momentan am häufigsten eingesetzten.

Die Anwendung dieser Konzepte hat gezeigt, dass sich die Produktion innerhalb eines gewissen, vorgedachten Rahmens flexibel gestalten lässt (vgl. Kaluza und Blecker 2005b; Bellmann 2005; Wiendahl 2002a; Kircher und Wurst 2006). Obwohl diese Fortschritte bei der Schaffung von Flexibilitätspotenzialen in gewissen Bereichen und für

bestimmte Branchen mitunter durchaus bemerkenswert sind, kann konstatiert werden, dass trotz der deutlich gestiegenen Forschungsaktivitäten in diesen Bereichen nur unzureichende Instrumente zur Quantifizierung und Bewertung von Flexibilitätsbedarfen, -defiziten und -überschüssen existieren (vgl. Reichwald und Behrbohm 1983; Hillmer 1987; Kaluza und Blecker 2005b; Nyhuis 2010; Nyhuis et al. 2008; Rogalski und Krahtov 2006; Zäh et al. 2006). Besonders schwer wiegen ROGALSKI zufolge die in diesem Zusammenhang fehlenden Rückgriffsmöglichkeiten auf flexibilitätsbezogene Kennzahlen (vgl. Rogalski 2009). Ursachen sind dafür neben dem Fehlen allgemeingültiger Mess- und Bewertungskriterien für Flexibilität (welches mitunter auf deren multidimensionalen Charakter zurückzuführen ist) die meist sehr schwierige Erfassung und Definition von Flexibilitätsanforderungen für unterschiedliche Unternehmensbereiche, da diese in der Regel multifaktoriell bedingt und für die einzelnen Unternehmen und ihre Teilbereiche individuell verschieden sind (vgl. Rogalski und Krahtov 2006; de Toni und Tonchia 1998; Kaluza und Blecker 2005b; Georgoulas et al. 2009).

Neben der Komplexität soziotechnischer Systeme, zu welchen Produktionssysteme zählen, erweisen sich Vielfalt und Inhomogenität existierender Klassifizierungsvorschläge und Definitionsansätze als großes Hindernis, da aufgrund der oft unterschiedlich betrachteten Inhalte und berücksichtigten Grunddaten eine Vergleichbarkeit oder auch Übertragbarkeit der Vorgehensweisen und Ergebnisse nicht möglich ist. Die Vielfalt der im Laufe der letzten fünf Dekaden im Themenkomplex der Flexibilität erschienenen Arbeiten ist nahezu unüberschaubar, so dass MEFFERT den Begriff der Flexibilität bereits 1985 als Modewort bezeichnete (vgl. Meffert 1985), welches mitunter polymorphe Inhalte beschreibe (vgl. Kickert 1985; Fleck 1995). Die Begriffs- und Verständnisvielfalt und somit auch die Interpretationsmöglichkeiten sind durch die in den letzten Jahren zunehmend populärer gewordenen Begriffe Wandlungsfähigkeit, Robustheit oder auch Adaptivität eher breiter und vielschichtiger denn übersichtlicher und klarer geworden.

Nach Auffassung der überwiegenden Mehrzahl der Autoren stellt Flexibilität ein systemimmanentes Anpassungspotenzial dar, welches die Kompensation von Veränderungen festgelegter Kenngrößen bis zu einem gewissen Grad ermöglicht (vgl. Luft et al. 2011; Westkämper und Zahn 2009; Rogalski 2009). Der genaue Umfang, in welchem ein System in der Lage ist, Veränderungen mittels dieser systemimmanenten Potenziale zu bewältigen, wird durch den sog. Flexibilitätskorridor beschrieben (vgl. Nyhuis et al. 2010; Rogalski 2009) (vgl. **Abbildung 1-2**).

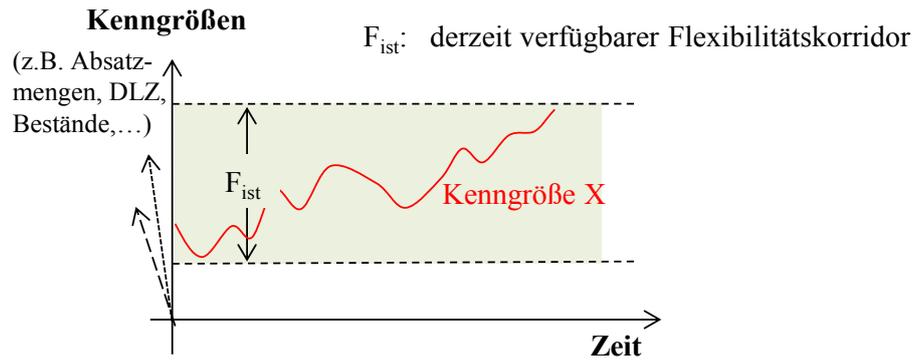


Abbildung 1-2: Flexibilitätskorridore und Kenngrößen (i.A.a. Nyhuis et al. 2010)

Flexibilität stellt in einem wirtschaftlich turbulenten Umfeld somit anerkanntermaßen einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar, jedoch ist deren Schaffung und Aufrechterhaltung mit zusätzlichen Investitionen verbunden (vgl. Will 1992; Rogalski 2009; Ost et al. 1993). Flexibilitätspotenziale bieten Systemen eine gewisse Sicherheit gegen Einflussfaktorveränderungen. Sie haben allerdings nur dann einen wirklichen ökonomischen Nutzen, wenn Einflussfaktorveränderungen eintreten, die mit weniger flexiblen Systemen nicht ohne wirtschaftlichen Schaden zu bewältigen wären. Die Planung der Anpassungsfähigkeit gestaltet sich somit als bewertungsdefektes Entscheidungsproblem. Während die Kosten für eine verbesserte Flexibilität in der Regel verhältnismäßig exakt bestimmt werden können, ist der in der Zukunft liegende Nutzen meist nur schwer quantifizierbar und von vielfältigen Entwicklungen abhängig (vgl. Eversheim 1987; Gerwin und Traondeau 1989). Die sich daraus ergebende Möglichkeit, dass anpassungsfähige Systeme trotz der gesteigerten fixen Flexibilitätskosten bis zu einem bestimmten Punkt geringere Gesamtkosten als unflexible Systeme aufweisen können, beschreiben OST und REICHWALD als das Dilemma der Flexibilitätsplanung (vgl. Reichwald und Behrbohm 1983; Ost et al. 1993).

Den vorangestellten Ausführungen folgend, leitet sich der Flexibilitätsbedarf u.a. aus den mangelnden Antizipationsmöglichkeiten künftiger Entwicklungen, dem Grad der Umweltturbulenzen sowie dem Anspruchsniveau der flexibilitätsbestimmenden Oberziele der Unternehmen (hier wären u.a. das Sicherheitsstreben oder die Aggressivität der Unternehmenspolitik zu nennen) ab (vgl. Schauerhuber 1998; Kaluza 1995). Ihr Nutzen ergibt sich aus der Verfügbarkeit gewisser Anpassungsmöglichkeiten bzw. Freiheitsgrade nach dem Treffen einer Ausgangsentscheidung (vgl. Corsten 1995; Will 1992). Zu den Nachteilen, welche aus einer zu hohen Flexibilität erwachsen können, zählen PAULI zufolge u.a. ein erhöhter Informations- und Kommunikationsbedarf in der Produktion, eine potenziell hohe Kapitalbindung durch ein größeres Investitionsvolumen, hohe Fixkosten bei mangelnder Kapazitätsauslastung, ein erhöhtes Ausfallrisiko durch technisches und menschliches Versagen oder auch ein geringerer Personalbedarf mit Freistellungen (vgl. Pauli 1987). In diesem Spannungsfeld sind Produktionssystemplaner gezwungen, jenes Maß an Flexibilität zu finden und zu installieren, welches über den Ge-

samtlebenszyklus des Systems hilft, den Primat der Wirtschaftlichkeit zu erfüllen und ein Gleichgewicht zwischen dem System und seinem Umfeld zu schaffen (vgl. Westkämper 2002a).

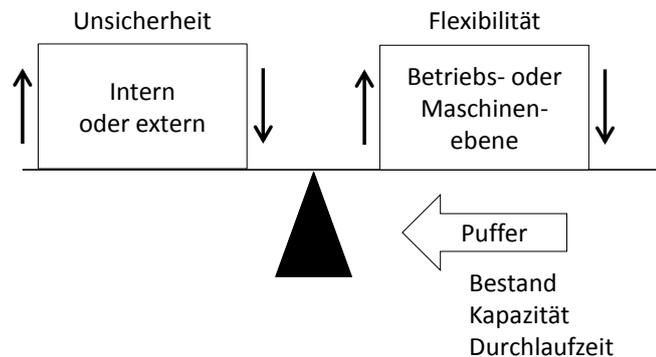


Abbildung 1-3: Gleichgewicht zwischen Unsicherheit und Flexibilität (Newman et al. 1993)

Neben den oben angeführten Sicherheitsüberlegungen, Unternehmenszielen oder auch Kostenaspekten gibt es noch eine weitere Größe, welche signifikanten Einfluss auf die Breite der vorzuhaltenden Flexibilitätskorridore besitzt und keinesfalls vernachlässigt werden darf. Dies ist die für die Anpassung der Systeme benötigte Reaktionszeit. Der Argumentation folgend, dass Flexibilität Geld kostet (breite Korridore somit sehr teuer sind) und ihr Erfolg / Nutzen aufgrund technischer, wirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Veränderungen gewissen Unsicherheiten unterliegt, können Produktionssysteme nicht so gestaltet werden, dass sie alle potenziellen Entwicklungen kompensieren und die an sie gestellten Anforderungen für alle Zeiten erfüllen. Die Anforderungsprofile entwickeln sich mit dem Umfeld weiter und die Flexibilität eines Produktionssystems kann diese Entwicklung nur bis zu einem bestimmten Punkt kompensieren. Die Systeme müssen über die Zeit angepasst werden. Je breiter der Flexibilitätskorridor eines Produktionssystems ist, desto mehr Zeit steht für die Anpassung zur Verfügung, da Kenngrößenentwicklungen länger kompensiert werden können. Im Umkehrschluss kommt dem Anpassungsprozess somit vor dem Hintergrund zunehmender Dynamik, Häufigkeit und Intensität der Einflussfaktorveränderungen und den mit Unsicherheiten behafteten Flexibilitätspotenzialen eine entscheidende Bedeutung zu, da er die Breite der bereitzuhaltenden Flexibilitätskorridore und demzufolge auch die Menge des dafür aufzuwendenden Kapitals maßgeblich mit determiniert.

Mit den heute verfügbaren Werkzeugen, Methoden und Konzepten ist es nur in den seltensten Fällen möglich, die Anpassung der jeweiligen Systeme abzuschließen, bevor die Verschiebungen des Anforderungsprofils eintreten und das System nicht mehr in der Lage ist, diese vollständig zu bedienen (vgl. Kuhn et al. 2011; Luft et al. 2011). Die zur Anpassung von Systemen benötigten Entscheidungs- und Ausführungszeiträume haben sich in den vergangenen 20 Jahren, bedingt durch die rasante Zunahme der Komplexität des unternehmerischen Umfelds, die gestiegene Anzahl zu berücksichtigender Einfluss-

faktoren und die große Menge betroffener Systemelemente, deutlich verlängert (vgl. Womack et al. 1992; Reinhart et al. 2002). LINDEMANN zufolge haben sich in Folge dieser Entwicklungen die Zeitspannen vom Erkennen eines Anpassungsbedarfs bis zum Abschluss der Anpassungsmaßnahmen zwischen den Jahren 1994 und 2005 beinahe verdreifacht (vgl. Lindemann 2005). Dieser Konflikt zwischen einem sich einerseits immer weiter und schneller verändernden Umfeld, mit einer sowohl in Anzahl als auch Interdependenz zunehmenden Menge von Einflussfaktoren und der als Ergebnis der zunehmenden Veränderungshäufigkeit und -intensität sinkenden verfügbaren Reaktionszeit, wurde von BLEICHERT in einer auseinandergelassenen Zeitschere visualisiert (vgl. Bleichert 2004) (vgl. **Abbildung 1-4**).

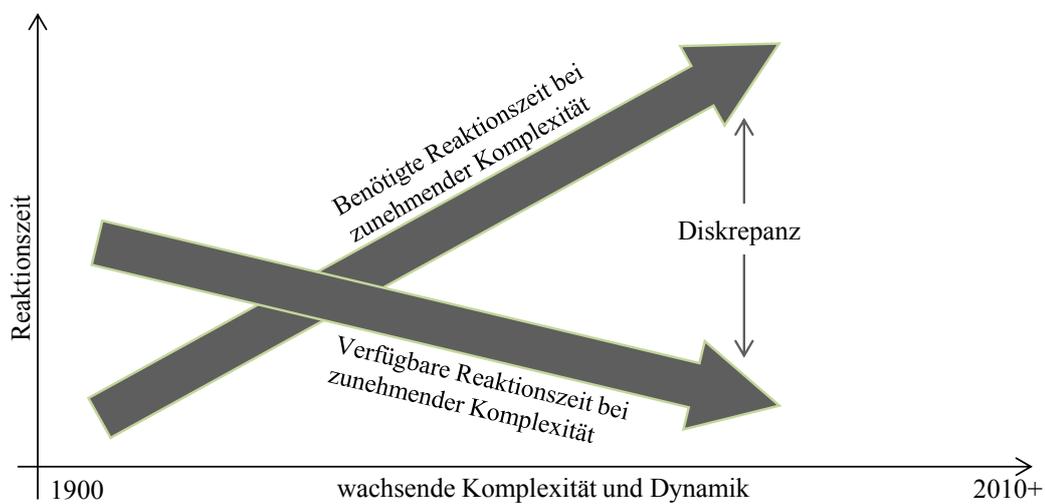


Abbildung 1-4: Zeitschere nach BLEICHERT (Bleichert 2004)

Der Annahme folgend, dass nicht realisierbare Anforderungsprofile für die betreffenden Unternehmen mit zusätzlichen Kosten durch Lieferterminverletzungen, höhere Durchlaufzeiten, nicht erfüllbare Aufträge oder zu hohe Bestände verbunden sind und somit mitunter deutliche Mehrkosten verursachen, kommt dem Anpassungsprozess (im Sinne seiner Dauer) eine ebenso große Bedeutung wie der eigentlichen Flexibilitätsbewertung zu.

1.3 Zielsetzung und leitende Forschungsfragen

Mit der vorliegenden Arbeit wird ein Beitrag zur Analyse und Bewertung der Flexibilität von Produktionssystemen in einem dynamischen und schwer antizipierbaren Umfeld geleistet. Ziel ist es, den von BLEICHERT beschriebenen Konflikt zwischen der kontinuierlichen Verkürzung der verfügbaren Reaktionszeiten zur Systemanpassung auf der einen und den ungeachtet dieser Entwicklung ansteigenden benötigten Planungszeiten auf der anderen Seite zu lösen. Besondere Herausforderung ist in diesem Kontext weiterhin die immer häufiger vorliegende veränderungsinduzierte Notwendigkeit zur tatsächlichen Anpassung der Produktionssysteme. Ausgehend von den eingangs beschrie-

benen Entwicklungen und Zusammenhängen und der oben formulierten Zielsetzung lässt sich die grundlegende Problemstellung in zwei zentrale Forschungsfragen untergliedern. Die erste zu klärende Fragestellung behandelt den Betrachtungsrahmen, innerhalb dessen die Flexibilitätsbewertung erfolgen sollte, der zweite Themenkomplex die von BLEICHERT beschriebene Problematik längerer Reaktionszeiten vor dem Hintergrund zunehmend kürzer werdender verfügbarer Anpassungsintervalle.

Betrachtungsrahmen

Die zunächst grundlegende Fragestellung ist jene nach dem zu wählenden Betrachtungsrahmen. Produktionssysteme sind hochkomplexe Gebilde, bestehend aus einer Vielzahl von Elementen und Ebenen, welche auf vielfältigste Weise miteinander und mit der Systemumwelt in Verbindung stehen. Die Identifikation der für eine Flexibilitätsbewertung entscheidenden Bestandteile und Betrachtungsebenen ist somit eine notwendige Grundvoraussetzung. Gleiches gilt für die Einflussfaktoren, welche die vorzuhaltenden Flexibilitätskorridore und anzustoßenden künftigen Entwicklungen des Produktionssystems bestimmen. Aus der Vielzahl der existierenden Einflussfaktoren gilt es jene zu identifizieren, welche dominierenden Einfluss besitzen. Der letzte Teilaspekt dieser ersten Fragestellung sind die zu berücksichtigenden Flexibilitätsarten. Aus der sehr großen Zahl an Veröffentlichungen, Beiträgen, Inhalten, Taxonomien, Definitionen und Klassifizierungsvorschlägen sind jene Flexibilitätsarten zu identifizieren und zu selektieren, welche - auch im Hinblick auf die als flexibilitätsrelevant identifizierten Systemelemente und Einflussfaktoren - von entscheidender Bedeutung für Produktionssysteme sind. Die erste zu beantwortende Forschungsfrage lautet somit:

Welche Bestandteile von Produktionssystemen, welche Einflussfaktoren und welche Flexibilitätsarten sind im Rahmen einer für den vorliegenden Betrachtungskontext zielführenden Flexibilitätsbewertung zwingend zu berücksichtigen?

Die Beantwortung dieser Forschungsfrage determiniert die Merkmalsbasis, an welcher existierende Bewertungskonzepte und -verfahren hinsichtlich der durch ihre Anwendung erreichbaren Vollständigkeit der Flexibilitätsbewertung und die dafür erforderlichen Zeiträume gespiegelt werden müssen, um so die Unzulänglichkeiten des derzeit verfügbaren Wissens offenzulegen.

Anpassungsprozessbeschleunigung

Eine signifikante Verkürzung der erforderlichen Reaktionszeit und die damit verbundene Beschleunigung des Anpassungsprozesses stellt neben der vollständigen Bewertung der systemischen Flexibilität (Betrachtungsrahmen) die zweite große Herausforderung im Rahmen der Anpassungsplanung dar. Entsprechend der obigen Ausführungen nehmen die für die Anpassungsprozesse erforderlichen Zeiträume (insbesondere für die Analyse und Bewertung des systemischen Leistungsvermögens und die Entwicklung von Handlungsalternativen), bedingt durch die kontinuierlich steigende Gesamtkomplexität, immer weiter zu. Die Auswirkungen dieser Entwicklung auf die vorzuhaltenden

Flexibilitätskorridore wurden bereits skizziert. Vor diesem Hintergrund kommt der Betrachtung von Anpassungsprozessen unter Flexibilitäts Gesichtspunkten eine besondere Bedeutung zu, da ihre Dauer direkt mit den Flexibilitätskosten korreliert. Je mehr Zeit die Anpassung der Systeme erfordert, je länger die Phasen werden, in welchen die Produktionssysteme nicht mit den Anforderungen synchronisiert sind, desto teurer ist dies für das Unternehmen. Die zweite Forschungsfrage lautet demzufolge:

Wie kann der Anpassungsprozess von Produktionssystemen ausreichend beschleunigt werden, um die Anforderungen eines dynamischen, schwer antizipierbaren Umfelds zu erfüllen?

Entsprechend den vorangegangenen Ausführungen bezüglich der Häufigkeit und Unvorhersehbarkeit systemrelevanter Einflussfaktorveränderungen bedeutet dies in letzter Konsequenz die Schaffung einer permanenten Planungsbereitschaft für systemische Flexibilitätspotenziale unter Einbeziehung aller selbige konstituierenden Systemelemente.

Sowohl die Analyse des Betrachtungsraums als auch des Anpassungsprozesses kann im Rahmen einer einzelnen Arbeit nicht für alle Branchen und Güter auf einmal erfolgen. Dazu sind die Unterschiede zwischen Prozessindustrie auf der einen und der Stückgutfertigung auf der anderen Seite zu groß und fundamental. Aus diesem Grund muss der Anwendungsbereich bzw. Betrachtungsraum an einigen Stellen eingeschränkt werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Analyse, Bewertung und Entwicklung existierender soziotechnischer Produktionssysteme in der Stückgutfertigung betrachtet. Dies geschieht auf einer rein konzeptionellen Ebene, welche die tatsächliche Anpassung der physischen realweltlichen Systeme nicht beinhaltet. Die Betrachtung spezieller Flexibilitätsarten, wie beispielsweise der Anlaufflexibilität, ist demzufolge nicht Gegenstand dieser Arbeit. Gleiches gilt für die Konstruktion verkaufsfähiger Erzeugnisse. Auch wenn die in einem Produktionssystem gefertigten Produkte einen der Haupteinflussfaktoren auf ebendiese Systeme darstellen, so ist die Diskussion der Fragestellungen, in wie weit die Flexibilität eines Produktionssystems beispielsweise durch eine Normierung von Bauteilen und Baugruppen oder die Verwendung gleicher Werkstoffe beeinflusst werden kann, ebenfalls nicht Gegenstand dieser Arbeit.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die beiden grundlegenden Forschungsfragen stellen die zentrale Leitlinie dar, an welcher sich der Aufbau der vorliegenden Arbeit orientiert. In diesem Zusammenhang diente *Kapitel eins* der Beschreibung der Ausgangssituation und der Hervorhebung der in diesem Kontext herausragenden Bedeutung von Produktionssystemen sowie der sich daraus ableitenden Notwendigkeit zur Entwicklung angemessener Methoden zur Flexibilitätsbewertung und der signifikanten Beschleunigung systemischer Anpassungsprozesse.

Kapitel zwei dient der Beschreibung der für die nachfolgenden Betrachtungen erforderlichen terminologischen Grundlagen und der Analyse des systemischen Anpassungsprozesses als Ganzem.

Im Rahmen von *Kapitel drei* wird der für eine umfassende Flexibilitätsbewertung erforderliche Betrachtungsrahmen etabliert. Das Vorgehen erfolgt dabei gewissermaßen von außen nach innen, so dass zunächst die Einflussfaktoren, welche auf Produktionssysteme wirken, hinsichtlich ihrer Bedeutung priorisiert werden (Kapitel 3.1). Darauf aufbauend werden die Potenziale, mit welchen Produktionssysteme auf diese Einflussfaktorveränderungen reagieren können, die systemischen Flexibilitäten, eingehend betrachtet (Kapitel 3.2). Im Anschluss daran erfolgt eine flexibilitätsbezogene Betrachtung jener Systemobjekte und -strukturen, welche Konstituenten dieser Flexibilitäten sind (Kapitel 3.3). Kapitel 3.4 dient der genaueren Betrachtung der derzeitigen Verknüpfung von Einflussfaktorveränderungen mit ebendiesen Flexibilitätskonstituenten. In Kapitel 3.5 werden die Ergebnisse der vorangegangenen Analysen in Form eines Betrachtungsrahmens, welcher zugleich die Antwort auf die erste Forschungsfrage ist, zusammengefasst. In Kapitel 3.6 erfolgt eine auf dem entwickelten Betrachtungsrahmen und den aus einer Beschleunigung des Anpassungsprozesses resultierenden Anforderungen basierende differenzierte Betrachtung der derzeit existierenden Flexibilitätsbewertungskonzepte.

Kapitel vier dient der differenzierten Analyse des derzeitigen Stands der Forschung, der kritischen Beurteilung der derzeit existierenden Bewertungsverfahren (Kapitel 4.1) sowie der Präzisierung der leitenden Forschungsfragen vor dem Hintergrund der bis zu diesem Punkt gewonnenen Erkenntnisse (Kapitel 4.2).

Gegenstand des *fünften Kapitels* ist die Entwicklung flexibilitätsbewertungs- und anpassungsprozessadäquater Grundlagen, welche einerseits alle innerhalb des entwickelten Betrachtungsrahmens befindlichen Kriterien berücksichtigen und andererseits eine signifikante Beschleunigung der Planungsphasen eines Anpassungsprozesses ermöglichen. Erste dazu erforderliche Schritte (nach einer Klärung weiterer terminologischer Grundlagen in Kapitel 5.1) sind die Entwicklung einer flexibilitätsbewertungsadäquaten Datenbasis (Kapitel 5.2) und deren Integration in ein entsprechendes Bewertungsmodell. Darauf aufbauend werden die entscheidenden Flexibilitätsarten im Kontext der neu geschaffenen Grundlagen diskutiert und quantifiziert (Kapitel 5.4 und 5.6). Darüber hinaus wird die entwickelte grundlegende Datenbasis in einem weiteren Schritt um zusätzliche Parameter erweitert, welche eine signifikante Beschleunigung zukünftiger Anpassungsmaßnahmen sowohl an der Datenbasis als auch am Bewertungsmodell selbst ermöglichen (Kapitel 5.5). Abschließend werden diese Grundlagen (Datenbasis und Flexibilitätsbewertungsmodell) in ein ganzheitliches Modell zur Beschreibung von Produktionssystemen integriert (Kapitel 5.7), welches zugleich Grundlage für die Entwicklung eines Modells zur beschleunigten Wahrnehmung von Veränderungen ist (Kapitel 5.8).

Ausgerichtet an den Phasen eines Anpassungsprozesses wird in *Kapitel sechs* ein Referenzvorgehensmodell entwickelt, welches die in Kapitel fünf entwickelten Grundlagen gesamthaft und durchgängig entlang des Anpassungsprozesses integriert und somit Informationsbruchstellen an den Phasenübergängen vermeidet und gleichzeitig den Anpassungsprozess als Ganzes strukturiert.

Die Arbeit schließt mit dem *siebten Kapitel*, einer kurzen Zusammenfassung der Ergebnisse (Kapitel 7.1) und einem Ausblick auf weitere, in Zukunft durchzuführende Forschungsaktivitäten (Kapitel 7.2), ab.