

1 Einleitung und Motivation

1.1 Ausgangssituation

Unternehmen verschiedenster Branchen sehen sich der Anforderung gegenüber mit ihren Produktionsnetzwerken, kundenspezifisch konfigurierbare Produkte mit kurzen Lieferzeiten und gleichzeitig hoher Termintreue anzubieten. Typische Beispiele dafür finden sich in der Automobilindustrie, der High-Tech-Elektronikbranche, der Telekommunikationsindustrie aber auch im Maschinen- und Anlagenbau. Dabei befinden sich die Unternehmen in einem Dilemma: Einerseits führt nicht ausreichende Produktionskapazität im Netzwerk zur Verlängerung von Lieferzeiten und schlechter Termintreue im Netzwerk insgesamt, im schlimmsten Fall droht sogar Absatzverlust. Andererseits stellen Überkapazitäten für jedes Unternehmen im Netzwerk zu vermeidende Kostentreiber dar. Mittelfristig wirken sie so auch auf die Wettbewerbsfähigkeit der Preise und damit auf die Umsatzgenerierung.

Beispiel 1-1: Automobilindustrie VW Tiguan

Jochen Sengpiehl, Leiter Marketing Volkswagen Pkw:

„Für den Tiguan liegen uns drei Monate nach Markteinführung weltweit rund 75 000 Bestellungen vor. Damit werden unsere sehr ambitionierten Erwartungen noch übertroffen. Bei einem komplett neuen Modell wie dem Tiguan kann nur bedingt vorhergesagt werden, wie sich die Nachfrage entwickeln wird und welche Ausstattungskombinationen besonders häufig bestellt werden. Deshalb lassen sich längere Lieferzeiten gerade in der ersten Markteinführungsphase leider nicht immer vermeiden. Derzeit liegen die Lieferzeiten beim Tiguan bei rund sechs Monaten, abhängig von der gewählten Ausstattung auch darüber.“

Als Reaktion auf diese Situation baut VW die Produktionskapazitäten aus. Umbaumaßnahmen in den Werkshallen und die Neuorganisation der Produktionslinien sollen die Kapazität von momentan 440 auf 650 Autos täglich erhöhen. In den Monaten März und April 2008 werden zusätzlich Sonderschichten zur Kapazitätssteigerung eingesetzt.

(Quelle: Focus Online, Lieferschwierigkeiten – VW steigert Tiguan Kapazitäten, 13.02.08)

Durch die Abstimmung des verfügbaren Kapazitätsangebotes mit der aktuellen Bedarfsentwicklung können also logistische Leistungskennwerte positiv beeinflusst werden. Gleichzeitig ist der Auf- und Abbau von Kapazität mit einer Kosten- und Umsatzwirkung verbunden. Die operative Umsetzung der Bedarfs- und Kapazitätsabstimmung ist für das einzelne Unternehmen damit eine wichtige und gleichzeitig sehr anspruchsvolle Aufgabe (vgl. Simchi-Levi et al. 2003, S. 23), denn:

- die Aufgabe der Bedarfs- und Kapazitätsabstimmung bezieht sich nicht nur auf das eigene Unternehmen. Moderne Produktion vollzieht sich in Produktionsnetzwerken, in denen sich die Wertschöpfung auf eine Vielzahl von Partnern verteilt (Möller 2006, S. 3, Corsten u. Gabriel 2004, S. 9, Baumgarten u. Thoms 2002, S. 104). Es gilt also die Kapazitätsabstimmung im gesamten Netzwerk nachfragegetrieben zu steuern.
- die Produktlebenszyklen verkürzen sich immer weiter (European Logistics Association 2004, S. 18). Darum ist es notwendig Ramp-ups and –downs ganzer Produktlinien in immer kürzeren Zeitabständen kapazitiv mit dem Netzwerk abzustimmen.

2 Stand der Technik

Kap. 2 untersucht die relevanten Konzepte und Methoden des Stands der Technik in Forschung und Praxis. Der Betrachtungsbereich der Arbeit wird definiert. Kap. 2.1 bietet zunächst eine grundlegende Einführung in die Begriffe und Zusammenhänge des Betrachtungsbereichs. Es mündet in eine präzisere Eingrenzung der relevanten Themengebiete für die detaillierte Untersuchung der Konzepte und Methoden des Stands der Technik in den Kap. 2.2 bis Kap. 2.5. Detailliert betrachtet werden in diesen Kapiteln die Aufgaben des SCM und der PPS, die Aufgaben und Ziele des kollaborativen BKM sowie aktuelle Methoden und Konzepte des BKM in Praxis und Forschung, Methoden für die Planung flexibler Kapazitäten, kollaborative Planungsansätze sowie Methoden der zentralen Netzwerkplanung.

2.1 Einführung und begriffliche Grundlagen

Die folgenden Abschnitte dienen der Einführung in die begrifflichen Grundlagen des Betrachtungsbereiches dieser Arbeit. Der Betrachtungsbereich umfasst die Fachgebiete oder thematischen Aspekte, die erkundet werden müssen, um die problemrelevanten Zusammenhänge zu identifizieren.

*Der **Betrachtungsbereich dieser Arbeit** sind Planungs- und Abstimmungsprozesse in Produktionsnetzwerken sowie die notwendigen Planungs- und Entscheidungsmethoden.*

Die in den nachfolgenden Abschnitten vorgenommenen begrifflichen Präzisierungen führen zu einer inhaltlichen Eingrenzung der in den Kap. 2.2 bis 2.5 ausführlich zu untersuchenden Forschungsbereiche und existierenden Lösungsansätzen des Betrachtungsbereichs.

2.1.1 Zum Verständnis von Produktionsnetzwerken

Wertschöpfungsaktivitäten zur Erstellung eines Endproduktes erstrecken sich heute auf eine Vielzahl beteiligter Unternehmen. **Unternehmensnetzwerke** stellen eine auf „die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen zielende Organisationsform ökonomischer Aktivitäten dar, die sich durch komplex-reziproke, eher kooperative denn kompetitive und relativ stabile Beziehungen zwischen rechtlich selbstständig, wirtschaftlich jedoch meist abhängigen Unternehmungen auszeichnet“ (Sydow 1992, S.79). Steht bei einem Unternehmensnetzwerk funktional die Produktion einer Sachleistung im Vordergrund, kann verkürzend auch von einem **Produktionsnetzwerk** gesprochen werden (Sydow u. Möllering 2004, S.19).

*Im Rahmen dieser Arbeit wird ein **Produktionsnetzwerk** als die koordinierte Zusammenarbeit mehrerer rechtlich selbstständiger Unternehmen bei Beschaffungs-, Herstellungs- und Lieferprozessen zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen verstanden.*

Ziel der Unternehmen in einem Produktionsnetzwerks ist es, durch die gemeinsame Wertschöpfung einen Gewinn zu erwirtschaften. Wertschöpfung geschieht durch Wertschöpfungsprozesse.

3 Bewertung des Stands der Erkenntnisse und Handlungsbedarf

Kap. 3 entwickelt zunächst die Anforderungen des Anwendungsbereichs an eine Lösung für das kollaborative BKM. Anschließend werden die identifizierten Anforderungen systematisch mit den in Kap. 2 vorgestellten Konzepten und Methoden des Betrachtungsbereichs abgeglichen. Aus dieser Analyse wird der Handlungsbedarf für die zu leistende Lösungsentwicklung abgeleitet.

Ausgangssituation

Wie dargestellt, müssen Unternehmen die Herausforderung bewältigen, Wertschöpfungsprozesse in Netzwerken zu planen und auszuführen. Betrachtet werden in dieser Arbeit Netzwerke mit stabilen Beziehungsstrukturen, die bei hoher Arbeitsteiligkeit variantenreiche, kundenindividuelle Produkte herstellen. Es wurde aufgezeigt, dass die unternehmensübergreifende Abstimmung der Bedarfe und Kapazitäten eine Aufgabe ist, die sowohl die Kosten als auch Leistungsziele der Unternehmen im Netzwerk beeinflusst.

Am Beispiel der Automobilindustrie wurde die Ausgangssituation in der Praxis untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass es den Netzwerken an Transparenz hinsichtlich der kapazitiven Restriktionen mangelt. Den Unternehmen im Netzwerk ist meist nicht bekannt, welchen Restriktionen ihre Lieferanten oder Kunden unterliegen. Netzwerke sind damit nur in sehr geringem Maße fähig, die Machbarkeit von Veränderungen der Bedarfe zu überprüfen. Heute erfordert die Abstimmung darüber, wann im Netzwerk wieviel Kapazität auf- und abgebaut werden kann, einen sehr hohen manuellen und persönlichen Aufwand. Eine systematische und proaktive Vermeidung zukünftiger Engpässe ist auf dieser Grundlage nicht möglich.

Bewertung des Stands der Erkenntnisse

Um den Stand der Technik in Praxis und Forschung zu erfassen, wurden verschiedene für das kollaborative BKM relevante Teilgebiete innerhalb des Betrachtungsbereichs der Arbeit untersucht: Lösungen für das kollaborative BKM in der Praxis und diesbezügliche aktuelle Forschungsarbeiten, Ansätze für die unternehmensinterne Flexibilitätsplanung und Ansätze für die kollaborative Planung. Die gewonnenen Einsichten in den Stand der Technik sollen nun abschließend vor dem Hintergrund der Anforderungen an die Lösungsentwicklung bewertet werden. Darauf aufbauend wird der Handlungsbedarf für diese Arbeit abgeleitet. Der Handlungsbedarf benennt die im Gestaltungsbereich dieser Forschungsarbeit zu erreichenden Neuerungen bzw. Weiterentwicklungen bestehender Lösungsansätze. Der Gestaltungsbereich ist eine Eingrenzung des Betrachtungsbereichs auf jene Gebiete, in denen Veränderungen systematisch vorgenommen werden sollen.

Der Gestaltungsbereich dieser Arbeit sind die Organisation, die Prozesse und eingesetzten Methoden für das kollaborative Bedarfs- und Kapazitätsmanagement, die an den Schnittstellen zwischen den Unternehmen eingesetzten Abstimmungsmechanismen sowie die notwendige Informationstechnologie für ein kollaboratives BKM.

4 Konzeptioneller Rahmen

Kap. 4 erläutert den konzeptionellen Rahmen für die Lösungsentwicklung. Dazu wird in Kap. 4.1 der Lösungsansatz zunächst charakterisiert. Der Aufgaben- und Leistungsumfang des Lösungsansatzes wird dargestellt. Der Lösungsansatz bietet einen kollaborativen und dezentralen Ansatz für das unternehmensübergreifende BKM. Er betrachtet build-to-order Produktionsnetzwerke, in denen Unternehmen die Rollen von Endherstellern, Auftragsfertigern oder Lagerfertigern einnehmen können. Die elementaren Aufgaben des Lösungsansatzes sind die unternehmensübergreifende Abstimmung der Bedarfe und Kapazitäten und die unternehmensinterne Planung der Ressourcenkapazitäten. Es wird mit stochastischen Bedarfsinformationen gearbeitet. Für die unternehmensübergreifende Abstimmung wird ein verhandlungsbasierter Ansatz gewählt. Die notwendigen Bausteine des Lösungsansatzes sind Kollaborationsvereinbarung, Prozesskonzept, Organisationkonzept und IT-Konzept. Diese Bausteine werden in Kap. 4.2 vorgestellt und inhaltlich abgegrenzt. In Kap. 4.3 wird in die für das weitere Verständnis der Arbeit notwendige Notation eingeführt. In den Kap. 4.4-4.7 werden die eingeführten Bausteine des Lösungsansatzes konzeptionell ausgearbeitet.

4.1 Charakterisierung des Lösungsansatzes

Die folgenden Abschnitte erläutern die Grundideen des entwickelten Lösungsansatzes und die damit verfolgten Zielsetzungen.

Kollaborative und dezentrale Planung

Entwickelt werden soll ein kollaborativer Planungsansatz, welcher die aufgezeigten Potenziale der kollaborativen Planung (vgl. Kap. 2.1.3 und Kap. 2.4) für die unternehmensübergreifende Abstimmung von Bedarfen und Kapazitäten ausnutzt.

*Der entwickelte Lösungsansatz setzt an der **Schnittstelle zwischen Wertschöpfungspartnern** an. Er ermöglicht den Wertschöpfungspartnern eine **synchronisierte Planung** ihrer Produktionsprozesse unter der Voraussetzung einer **gemeinsamen Zielsetzung** und der **Einhaltung eines partnerschaftlichen Planungsprozesses**.*

Der Lösungsansatz erfordert eine aktive und konstruktive Zusammenarbeit zwischen den Netzwerkpartnern. Voraussetzung dafür ist, dass die beteiligten Partner gewillt sind, gemeinsame Geschäftsprozesse einzuführen und nach definierten Regeln und Verantwortlichkeiten den Austausch von Daten und Informationen zu gewährleisten. Es wird unterstellt, dass Unternehmen, die das im Folgenden entwickelte Planungskonzept einsetzen, sich grundsätzlich kooperativ verhalten. Zwischen den an der Kollaboration beteiligten Unternehmen besteht ein mittel- bis langfristiges Interesse an einer partnerschaftlichen Supply Chain Planung. Der vorgestellte Lösungsansatz stellt für diese Unternehmen ein Mittel zur Reaktion auf die geänderten ökonomischen und logistischen Rahmenbedingungen dar. Die Kollaboration verbessert die Wettbewerbsfähigkeit hinsichtlich logistischer Leistungsfähigkeit, Kosteneffizienz und

5 Dezentrales Planungs- und Prozesskonzept für ein flexibilitätsorientiertes kollaboratives BKM

Kap. 5 beschreibt das entwickelte Planungs- und Prozesskonzept für das kollaborative BKM. Es werden die Planungsaufgaben, der Ablauf des Planungsprozesses und die zur Durchführung der Aufgaben eingesetzten Methoden im Detail beschrieben. Um die koordinierende Abstimmung zwischen den Unternehmen zu gewährleisten, wird ein Vorgehen für den Planaustausch, für das Monitoring der gemeinsamen Kapazitätsvereinbarung und für die verhandlungsbasierte Konfliktlösung entwickelt. Zur Steuerung des Verhandlungsablaufs wird ein Protokoll definiert, das verschiedene Nachrichtentypen (Anfragen, Angebote, temporäre Reservierungen, Reservierungen) nutzt. Der Verhandlungsablauf wird damit so gestaltet, dass ein Verhandlungsergebnis sicher erreicht wird. Weitere Schwerpunkte des Kapitels sind die zur Bewältigung der Planungsaufgaben eingesetzten Methoden. Für die Primärbedarfsplanung wird ein nichtlineares Optimierungsmodell mit stochastischen Bedarfsdaten eingesetzt. Die Anpassungsplanung verwendet ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell. Um Auswirkungen von Engpässen auf Leistungszusagen an Kunden zu ermitteln, werden für die Aufgabe der Defizitrechnung verschiedene Algorithmen zur Allokation von Kapazitäts- oder Mengendefiziten entworfen.

Das **Planungs- und Prozesskonzept** beschreibt die Planungsaufgaben, die Zusammenhänge zwischen ihnen und die zur Durchführung der Aufgaben eingesetzten Methoden im Detail. In Kap. 5.1 wird zunächst ein Überblick über den Ablauf des Planungsprozesses gegeben. Im Anschluss werden in den Kapiteln 5.2 bis 5.14 die einzelnen Planungsaufgaben, Prozesse und Methoden detailliert erläutert.

Die Erläuterungen nehmen in der Regel die Planungsaktivitäten eines BTO Lieferanten als Beispiel. Bedingt durch seine Position im betrachteten Produktionsnetzwerk führt der BTO Lieferant alle Planungsaufgaben inklusive der Aufgaben zur Abstimmung mit dem Kunden- bzw. Lieferantennetzwerk aus. Für Endhersteller und BTS-Lieferanten fällt ein Teil dieser Aufgaben weg. Durch ihre Position auf der vordersten bzw. letzten Stufe des betrachteten Produktionsnetzwerks ist die Abstimmung mit dem Kunden- bzw. Lieferantennetzwerk obsolet. Auf Besonderheiten der Planung beim Endhersteller bzw. BTS Lieferanten wird an den entsprechenden Stellen hingewiesen. In Bezug auf die eingesetzten Methoden stellt die mengenbasierte Planung des BTS Lieferanten im Vergleich zur kapazitätsbasierten Planung beim BTO Lieferanten und Endhersteller den wesentlichen Unterschied dar.

Der gesamte Prozessablauf wird aus der Sicht eines Unternehmens beschrieben. Die Beschreibung endet jeweils an den Schnittstellen zu den angebotenen Kunden bzw. Lieferanten, die in gleicher Weise ihre Planungsergebnisse bestimmen und über die entwickelten Kommunikationsprozesse kommunizieren. Für das kollaborative BKM wurden zwei Planungsebenen mit unterschiedlicher Granularität und Fristigkeit definiert. Ablauf der Planung und eingesetzte Methoden sind unabhängig von der Granularität und der Anzahl der Perioden im Planungszeitraum. Das Planungs- und Prozesskonzept wird daher allgemein für einen beliebigen Planungshorizont T mit einzelnen Planungsperioden $t \in [1, \dots, T]$

6 Validierung des Planungskonzeptes

Kap. 6 beschreibt die Eprobung des entwickelten Planungskonzeptes in zwei Anwendungsbeispielen. Das erste Anwendungsbeispiel demonstriert die Anwendung des Planungskonzeptes in einem realitätsnahen Produktionsnetzwerk. Die Ergebnisse des Anwendungsbeispiels zeigen, dass das Ziel erreicht wird, durch kollaborative und verhandlungsbasierte Abstimmung den Aufbau von Kapazitäten im Netzwerk in Abhängigkeit der Marktnachfrage zu koordinieren. Das zweite Anwendungsbeispiel vergleicht den entwickelten dezentralen Planungsansatz mit zentralen Methoden der Netzwerkplanung. Es werden die zentrale Netzwerkoptimierung und die Netzwerkheuristik als zentrale Planungsmethoden für diesen Vergleich herangezogen. Der Methodenvergleich ergibt, dass die Leistung des kollaborativen BKM zwischen Netzwerkoptimierung und Netzwerkheuristik liegt.

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise des entwickelten Planungskonzeptes an einem Anwendungsbeispiel demonstriert. Die prototypische Implementierung des Planungskonzeptes wurde mittels MS Excel, MS Access, Visual Basic und der Agentenentwicklungsumgebung JADDEX ausgeführt. Konzeptionelle Grundlage dafür war das in Kap. 4.7 skizzierte IT-Konzept auf Basis des dort bereits erwähnten Agentenframeworks (Hellingrath et al. 2009).

Die Validierung des Planungskonzeptes gliedert sich in zwei Unterkapitel. In Kap.6.1 wird die Tauglichkeit des Planungskonzeptes in einem realitätsnahen Anwendungsbeispiel untersucht. Das Validierungsziel ist es, zu zeigen, dass sich das Planungskonzept auf die Problemstellung eines realistischen Anwendungsfalles anwenden lässt und mit Hilfe der entwickelten Prozesse und Methoden die Koordinierung des Netzwerks sinnvoll unterstützt wird. Dazu wird nachgewiesen, wie durch die verhandlungsbasierte Abstimmung die Bedarfe und verfügbaren Kapazitäten im Netzwerk synchronisiert werden. Kap. 6.2 führt in einem zweiten Anwendungsbeispiel einen Methodenvergleich durch. Die Leistungsfähigkeit des entwickelten dezentralen Planungskonzeptes wird mit existierenden Ansätzen für eine zentrale Planung des Netzwerks verglichen.

6.1 Anwendungsbeispiel für das kollaborative BKM

Das Anwendungsbeispiel orientiert sich an realistischen Wertschöpfungsstrukturen aus der Automobilindustrie, die in ähnlicher Weise bereits im EU-Forschungsprojekt ILIPT (siehe Parry u. Graves, S. 297ff) und von Toth (2008) für die Validierung der entwickelten Methoden herangezogen wurden.

Das betrachtete Netzwerk ist lediglich ein Ausschnitt eines wirklichen automobilen Produktionsnetzwerks. Es beschränkt sich auf einige ausgewählte Wertschöpfungsprozesse mit hohem kundenauftragsspezifischen Anteil über die gesamte Lieferkette. Das betrachtete Produktionsnetzwerk ist in **Abbildung 6-1** dargestellt. Es beinhaltet kundenauftragsspezifische Wertschöpfungsprozesse, die teilweise bis auf die zweite und dritte Zulieferstufe reichen. Hergestellt werden variantenreiche Fahrzeugmodule und Komponenten, die weitestgehend bestandsfrei über just-in-time (JIT) oder just-in-sequence (JIS) Prozesse bereitgestellt werden.

7 Zusammenfassung, kritische Reflexion und Ausblick

Zusammenfassung und Fazit

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Problematik, variantenreiche konfigurierbare Produkte in build-to-order Produktionsnetzwerken bei kurzen Lieferzeiten herzustellen. Es wurde erkannt, dass dies nur möglich ist, wenn es gelingt, die verfügbaren Kapazitäten im Netzwerk effektiv zu planen. Die Herausforderung besteht darin im Netzwerk abzustimmen, wie die Möglichkeiten der einzelnen Netzwerkunternehmen, ihre Produktionsressourcen an die veränderliche Marktnachfrage anzupassen, genutzt werden können. Die Abstimmung soll Überkapazitäten genauso vermeiden wie ungenügende Nachfrageerfüllung durch zu knappe Kapazitäten. Erschwerend kommt hinzu, dass Unternehmen mehrere Kunden gleichzeitig versorgen und in Produktionsnetzwerke verschiedener Endhersteller eingebunden sind. Konflikte bei der Zuteilung knapper Ressourcen bleiben dabei nicht aus. Schlussfolgernd aus der Darstellung dieser Ausgangssituation (Kap. 1) und den Untersuchungen des Stands der Technik und der Praxis (Kap. 2) wurden in Kap. 3 Anforderungen an die Lösungsentwicklung abgeleitet. Um nun abschließend den Fortschritt der geleisteten Lösungsentwicklung zu bewerten, werden in **Tabelle 7-1** die Eigenschaften und der Leistungsumfang des entwickelten Planungskonzeptes gegen die aufgestellten Anforderungen abgeglichen. Die Auswertung von **Tabelle 7-1** zeigt, dass die im Handlungsbedarf identifizierten Lücken bestehender Ansätze (vgl. Kap. 3) durch das entwickelte Planungskonzept ausgefüllt werden. Der geleistete Fortschritt spiegelt sich insbesondere in folgenden Punkten wider:

- **Eignung für mehrstufige Produktionsnetzwerke:** Mehrere Zulieferstufen können mit Hilfe des entwickelten Planungskonzeptes in Abhängigkeit der Marktnachfrage koordiniert werden. Dabei können Netzwerkunternehmen gleichzeitig Planungsbeziehungen mit mehreren Kunden unterhalten bzw. in mehreren Produktionsnetzwerken aktiv sein.
- **Flexibilitätsorientierte Koordination von Kapazitäten:** Der Kapazitätsauf- und abbau im Netzwerk wird in Abhängigkeit der Marktnachfrage abgestimmt.
- **Integration von Anpassungskosten:** Kosten für den Auf- und Abbau von Produktionskapazitäten können in die unternehmensübergreifende Abstimmung miteinbezogen werden.
- **Dezentrales Planungs-, Organisations- und IT-Konzept:** Die Autonomie der Netzwerkunternehmen wird bewahrt. Der Informationsaustausch beschränkt sich auf Informationen, deren Austausch als unbedenklich erachtet werden kann.

Entsprechend der gesetzten Forschungsziele wurden ein Planungskonzept, ein Prozesskonzept sowie die notwendigen Planungsmethoden erarbeitet. Das Planungskonzept als Rahmen für die Entwicklung geeigneter Planungsprozesse und –methoden besteht aus der Kollaborationsvereinbarung, dem Organisations- und IT-Konzept. Damit ist eine umfassende Basis für die Umsetzung der entwickelten Planungsprozesse gelegt. Die Planungsprozesse wurden entlang identifizierter Aufgaben für das kollaborative BKM entwickelt. Die definierten Planungsaufgaben decken alle notwendigen Aktivitäten von der unternehmensinternen Planung