

Einführung

„Wenn es ein Land gibt, das nicht trotz der Globalisierung, sondern wegen der Globalisierung erfolgreich ist, dann ist es Deutschland mit seiner Automobilindustrie“ (Matthias Wissmann, Präsident des Verbandes der Automobilindustrie) (Verband der Automobilindustrie 2007).

1.1 Automobilproduktion im Zeitalter der Globalisierung

Die globale Verflechtung der Weltwirtschaft hat seit Beginn der achtziger Jahre deutlich an Dynamik gewonnen. In dieser Zeit wurde der Begriff der Globalisierung in seiner heutigen Form und Bedeutung endgültig geprägt. Bis Ende der siebziger Jahre konzentrierte sich das Auslandsengagement von Unternehmen meist ausschließlich auf den Betrieb von Vertriebsniederlassungen oder Produktionsstätten für den lokalen Markt, welche in der Regel weitestgehend unabhängig vom Stammwerk operierten. Mit Beginn der achtziger Jahre kam es anschließend zu einem sukzessiven Abbau staatlicher und natürlicher Handelsbarrieren. Deregulierungen, Zollsenkungen und die Gründung multilateraler Zollunionen und Wirtschaftsgemeinschaften sowie stetig sinkende Transport- und Kommunikationskosten bewirkten eine zunehmende Liberalisierung des Außenhandels und eine drastische Senkung der Transaktionskosten¹ für grenzüberschreitende Güter- und Dienstleistungsströme. Die Zahl der ausländischen Direktinvestitionen² nahm seither exponentiell zu und

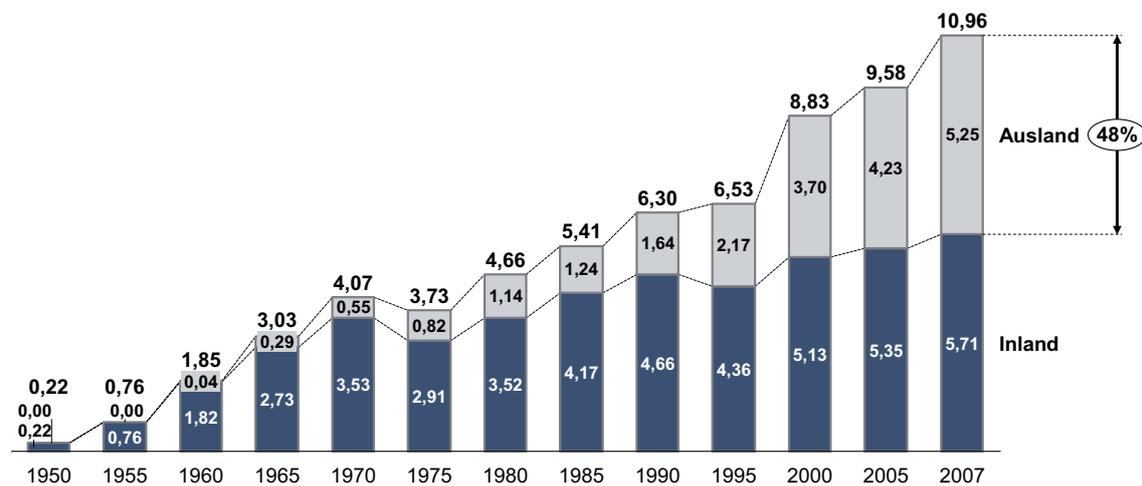
¹ Als Transaktionskosten werden Kosten bezeichnet, „[...] die nicht durch die Produktion von Gütern entstehen, sondern durch die Übertragung eines Aktivums von einem Wirtschaftssubjekt auf ein anderes. [...] Zu Transaktionskosten zählen daher Kosten für Vertragsabschlüsse, Transportkosten, Kosten für das Prüfen von Aktiva, für die Übertragung von Eigentumstiteln usw.“ (DICHTL und ISSING 1993, S. 2101).

² „Direktinvestitionen werden im Sinne der Zahlungsbilanzstatistik dem langfristigen internationalen Kapitalverkehr zugeordnet. Zu ihnen zählen unter anderem

inner- und überbetriebliche multinationale Unternehmensnetzwerke entstanden. Ausländische Produktionsstandorte, die bis zu diesem Zeitpunkt meist der primären Erschließung lokaler Märkte dienten, wurden vermehrt zur gezielten Reduzierung der Herstellkosten durch Ausnutzung weltweit vorhandener Faktorkostenunterschiede³ eingesetzt. Das Geschäftsfeld Produktion gewann seither verstärkt an Bedeutung und der Aufbau kosteneffizienter Wertschöpfungsstrukturen entwickelte sich zu einem wesentlichen Kompetenzfeld produzierender Unternehmen (vgl. JACOB und MEYER 2006, S. 2 ff.).

Nahezu die Hälfte der Fahrzeugproduktion deutscher Automobilhersteller erfolgt inzwischen im Ausland

Entwicklung Pkw Produktion deutscher Automobilhersteller im In- und Ausland [in Mio. ME]



Quelle: Eigene Darstellung, Datenquelle: VDA 2008b

Abb. 1.1. Auslandsproduktion deutscher Automobilhersteller

Auch innerhalb der deutschen Automobilindustrie ist seit den achtziger Jahren ein zunehmender Globalisierungstrend erkennbar. Während 1980 noch mehr als 75 Prozent der Pkw Produktion deutscher Hersteller im Inland erfolgte,

der Auf- oder Ausbau von Betriebsstätten im Ausland, der Erwerb von Unternehmensbeteiligungen im Ausland mit der Absicht, einen maßgeblichen Einfluss auf die Geschäftstätigkeit zu erhalten, sowie die Zuführung neuer Mittel [...] an diese Unternehmen“ (DICHTL und ISSING 1993, S. 455).

³ Als Faktorkosten werden die Kosten bezeichnet, die im Produktionsprozess durch den Einsatz der Produktionsfaktoren anfallen. Hierzu zählen im Wesentlichen die Kosten für menschliche Arbeit, für Betriebsmittel sowie für Werkstoffe (Rohstoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse) (vgl. DICHTL und ISSING 1993, S. 650 und S. 1708 f.).

wurden in 2007 bereits knapp die Hälfte der rund 11 Millionen produzierten Pkw an ausländischen Produktionsstandorten gefertigt (vgl. Abbildung 1.1). Der Großteil der Auslandsproduktion konzentrierte sich dabei mit 2,7 Millionen Fahrzeugen schwerpunktmäßig auf europäische Standorte wie Spanien, Tschechien oder Belgien. Die Regionen außerhalb Europas verzeichneten jedoch in den vergangenen Jahren überdurchschnittlich hohe Wachstumsraten. Auf Amerika entfielen davon insgesamt 1,5 Millionen produzierte Einheiten und in den Regionen Afrika und Asien mit Schwerpunkt China überschritt das Produktionsvolumen deutscher Pkw Hersteller in 2007 erstmals die Millionengrenze (vgl. VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE 2008a, S. 60 f.).

Die Globalisierung hatte jedoch für die beiden strategischen Gruppen von Pkw-Herstellern zunächst unterschiedliche Bedeutung. Volumenhersteller wie Volkswagen oder Opel sahen sich bereits in den siebziger Jahren im Zuge zunehmender Konkurrenz aus Japan mit einem verstärkten weltweiten Preiswettbewerb und Kostendruck im Massensegment konfrontiert und versuchten daher frühzeitig die Befriedigung lokaler Marktnachfragen mit der Ausnutzung weltweit vorhandener Faktorkostenunterschiede zu verbinden (vgl. AUTSCHBACH 1997, S. 1 f.). Inzwischen unterhält der Volkswagen Konzern mehr als 60 Fertigungsstätten in 21 Ländermärkten weltweit und fertigte 2009 bereits mehr als 70 Prozent seiner Volkswagen Pkw Modelle außerhalb des deutschen Heimatmarktes (vgl. AUDI 2009, vgl. VOLKSWAGEN 2009, S. 1). Premiumhersteller wie Audi, BMW, Mercedes oder Porsche hingegen, bei denen der Produktpreis nicht den entscheidenden Wettbewerbsfaktor darstellt, sondern primär durch Design und technologische Innovation bestimmt wird, setzten bis Anfang der neunziger Jahre schwerpunktmäßig auf eine exportorientierte Fertigung ihrer Produkte im Inland. Hinzu kam, dass die vergleichsweise geringen Produktionsstückzahlen den Aufbau globaler Produktionsnetzwerke im Premiumsegment bis zu diesem Zeitpunkt häufig erschwerte. Ausgelöst durch neue Wettbewerber wie Lexus oder Infinity nahm jedoch auch unter den Premiumanbietern der Wettbewerbs- und Kostendruck seit den neunziger Jahren spürbar zu (vgl. AUTSCHBACH 1997, S. 1 f.). Unterstützt durch ein stetiges Volumenwachstum kam es daher auch im Premiumsegment in den neunziger Jahren zu einer verstärkten Fokussierung internationaler Standortvorteile und zu strukturellen Neuausrichtungen der Unternehmen (vgl. FERBER 2005, S. 3 f.). Im Vergleich zu Massenherstellern überwiegen jedoch die Anteile der Inlandsproduktion im Premiumbereich nach wie vor deutlich. So wurden bei Audi und Porsche 2009 noch mehr als 85 Prozent der Fahrzeuge im Inland gefertigt, BMW und Mercedes kamen jeweils auf 66 und 63 Prozent (vgl. AUDI 2009). Überdurchschnittlich hohe Wachstumsraten außerhalb des Heimatmarktes und ein weiter zunehmender Wettbewerbs- und Kostendruck lassen jedoch auch in Zukunft einen anhaltenden Globalisierungstrend im Premiumsegment erwarten und werden durch Vorhaben, wie die Ankündigung von Daimler, 2012 einen neuen Produktionsstandort für die nächste Generation der Mercedes A- und B-Klasse in Ungarn zu eröffnen, bestätigt (vgl. HANDELSBLATT 2008).

Zur Sicherstellung der zukünftigen Profitabilität und Wettbewerbsfähigkeit ist es erforderlich, dass Unternehmen ihre bestehenden Produktionsstrukturen regelmäßig überprüfen und an veränderte Rahmenbedingungen anpassen. Produktionsnetzwerke sind häufig historisch gewachsen und nicht immer strategisch geplant worden. Systematische Anpassungen oder Neuausrichtungen der Produktionsstrukturen ermöglichen im Idealfall eine Verbesserung der Herstellkosten zwischen 20 und 40 Prozent (vgl. JACOB und MEYER 2006, S. 2). Die optimale Ausgestaltung des Produktionsnetzwerkes stellt jedoch häufig eine große Herausforderung für Unternehmen dar. Gegenstand dieser Planungsaufgabe ist zunächst die Auswahl der einzelnen Fertigungsstandorte. Darauf aufbauend erfolgt dann die Auslegung der Produktionsstätten hinsichtlich Kapazität, Flexibilität, Eigenleistungstiefe und Fertigungstechnologie. Darüber hinaus umfasst die Planungsaufgabe eine aggregierte Ausgestaltung der Werkstrukturen, die Allokation der einzelnen Produkte zu den Fertigungsstandorten und die Festlegung der inner- und überbetrieblichen Lieferbeziehungen. Eine optimale Ausgestaltung erfordert die Berücksichtigung zahlreicher Aspekte und eine integrierte und abgestimmte Planung aller Funktionsbereiche im Unternehmen. Neben sämtlichen betriebswirtschaftlichen Aspekten, wie beispielsweise Investitionen, Material-, Fertigungs- oder Distributionskosten, sind auch nicht-monetäre Einflussfaktoren, wie Personalauslastung und -verfügbarkeit, in den Planungs- und Entscheidungsprozess einzubeziehen. Im Kontext einer globalen Produktion kommen zudem eine Reihe internationaler Rahmenbedingungen wie Wechselkurseffekte, natürliche und staatliche Handelsbarrieren oder länderspezifische Produktivitätsunterschiede hinzu (vgl. FERBER 2005, S. 3 ff., vgl. MEYER 2006b, S. 36 ff., vgl. MEYER und JACOB 2006, S. 144 ff.).

In der Automobilindustrie hat diese Planungsaufgabe in den letzten Jahren aufgrund der zunehmenden Multi-Standort-Strukturen und infolge der gestiegenen Modellvielfalt deutlich an Komplexität und Dynamik gewonnen (vgl. Abbildung 1.2). Betrachtet man beispielsweise den Premiumhersteller Audi, so hat alleine zwischen 2005 und 2010 eine Erweiterung des Produktionsnetzwerkes um zwei zusätzliche Fertigungsstandorte stattgefunden⁴ (vgl. AUDI 2010c). Im gleichen Zeitraum erfolgte auch eine Erweiterung der Modellpalette von 14 auf insgesamt 26 Fahrzeugmodelle⁵ (vgl. AUDI 2005, vgl. AUDI 2010b). Eine weitere Herausforderung im Rahmen der strategischen Ausgestaltung des Produktionsnetzwerkes stellt in der Automobilindustrie der Umgang mit Planungsunsicherheiten dar. Der Aufbau neuer Produktionsstrukturen ist meist mit erheblichen Investitionen verbunden und daher auf eine mittel- bis langfristige Nutzungsdauer ausgelegt. Gleichzeitig unterliegt das automobiler Markt- und Wettbewerbsumfeld einem stetigen Wandel (vgl. FERBER 2005, S. 5, vgl.

⁴ Das Produktionsnetzwerk der AUDI AG umfasste 2009 insgesamt sechs Fertigungsstätten in fünf Ländermärkten. 2006 wurde das Produktionsnetzwerk um den Standort Aurangabad in Indien ergänzt, 2007 um ein zusätzliches Produktionswerk in Brüssel (Belgien) (vgl. AUDI 2010c).

⁵ Keine separate Ausweisung der Audi S-Modelle.

Die Planung von Produktionsnetzwerken stellt gegenwärtig in der Automobilindustrie eine sehr komplexe Aufgabenstellung dar

Aktuelle Herausforderungen für die Netzwerkplanung in der Automobilindustrie



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 1.2. Aktuelle Herausforderungen in der Automobilindustrie

JORDAN und GRAVES 1995, S. 577). Neben Wechselkursschwankungen und Preisschwankungen am Rohstoffmarkt erfordern veränderte Kundenanforderungen, neue Technologietrends sowie steigende Anforderungen aus Umwelt- und Klimaschutzgründen regelmäßig eine Anpassung des Produktportfolios und der Produktkonzepte sowie der prognostizierten Absatzvolumina. Dies gilt es in Einklang zu bringen mit den meist langfristig gebundenen Produktionsstrukturen. In diesem Zusammenhang spielt der Aufbau flexibler Produktionsstrukturen und der Einsatz flexibler Fertigungstechnologien zukünftig eine immer wichtigere Rolle (vgl. ZIELKE et al. 2005, S. 72 ff.). Der wirtschaftliche Nutzen flexibler Strukturen lässt sich jedoch im Vorfeld meist nur schwer begründen und bedarf einer systematischen Entscheidungsvorbereitung unter Risikogesichtspunkten (vgl. KUHN und SCHMAUSSER 2007, S. 39 ff.).

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Eine systematische Ausgestaltung globaler Produktionsnetzwerke lässt sich in der Automobilindustrie mit herkömmlichen Planungsmethoden kaum noch umsetzen. Zur Reduzierung der Planungskomplexität werden in der betrieblichen Praxis oftmals wesentliche Aspekte vernachlässigt oder standort-, bereichs- oder produktspezifische Einzeloptimierungen anstelle ganzheitlicher

Optimierungsansätze verfolgt (vgl. FLEISCHMANN et al. 2006, S. 196). Eine integrierte Planung und die Lösung derart komplexer Planungsprobleme erfordern den Einsatz modellgestützter computerbasierter Entscheidungsunterstützungssysteme, die eine übergreifende Planung und Optimierung erlauben (vgl. FERBER 2005, S. 6). Sie stellen eine logische Weiterentwicklung der einfachen Werkzeuge der Unternehmensführung dar und ermöglichen die quantitative Analyse komplexer Zusammenhänge auf Basis eines einheitlichen Vorgehens. Die Entscheidungsunterstützung erfolgt dabei entweder mittels Simulations- oder Optimierungsmethoden oder entsprechenden Mischformen aus beiden Verfahren (vgl. MEYER 2006c, S. 122 ff.). Simulationsverfahren dienen in erster Linie zur Beschreibung realer oder geplanter Sachverhalte und zur Schaffung eines besseren Verständnisses hinsichtlich der vorhandenen Beziehungen und Abhängigkeiten im System. Optimierungsverfahren hingegen ermöglichen die Ableitung normativer Handlungsanweisungen und konkreter Entscheidungsvorschläge im Sinne einer optimalen Lösung. Optimierungsverfahren werden daher auch den normativen Verfahren der Entscheidungsunterstützung zugeordnet, während Simulationsmethoden den rein deskriptiven Verfahren angehören (vgl. SHAPIRO 2001, S. 10 f.). Gerade bei komplexeren Fragestellungen ist der Einsatz von Optimierungsmodellen meist zielführender (vgl. MEYER 2006c, S. 126). Hierzu wird das reale Planungsproblem zunächst in einem mathematischen Modell mit Hilfe von Variablen und Relationen abgebildet. Im Anschluss daran werden geeignete Verfahren zur Lösung des Modells entwickelt und der Ansatz in eine entsprechende Softwarelösung überführt (vgl. SCHOLL 2001, S. 27 ff., vgl. KALLRATH 2002b, S. 3).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines geeigneten Optimierungsmodells für die Automobilindustrie, das eine systematische und ganzheitliche strategische Planung von globalen Produktionsnetzwerken erlaubt. Dies setzt zunächst voraus, dass das Modell alle wesentlichen Einflussfaktoren implizit oder explizit berücksichtigt und die wesentlichen Entscheidungsfelder im Rahmen der Planungsaufgabe abdeckt. Letzteres umfasst insbesondere die strategische Entwicklung der Standort- und Werkstrukturen hinsichtlich technischer Kapazitäten und Flächen, die Auswahl der passenden Anlagen- und Fertigungstechnologien, die Allokation der Fahrzeugmodelle zu den einzelnen Fertigungsstandorten und -linien sowie die Ausgestaltung der entsprechenden Lieferbeziehungen. Ein besonderes Augenmerk soll in diesem Zusammenhang auf die Auswahl der passenden Anlagen- und Fertigungstechnologien gelegt werden, da hierüber die Belegungsflexibilität und die Kapazität des Produktionsnetzwerkes unmittelbar definiert wird und ein enger Zusammenhang mit den geplanten technischen Produktkonzepten besteht. Um einen hinreichenden Praxis- und Realitätsbezug sicherstellen zu können, erfolgt die Entwicklung in Zusammenarbeit mit dem Automobilhersteller Audi und ist auf die spezifischen Bedürfnisse und Rahmenbedingungen eines Premiumherstellers abgestimmt. Der fehlende Praxisbezug rein theoretischer Ansätze hat in der Vergangenheit häufig dazu geführt, dass der Einsatz entwickelter Optimierungs-

modelle nur geringfügige Verbreitung und Akzeptanz fand (vgl. MEYER 2006c, S. 124, vgl. VOS und AKKERMANS 1996, S. 58).

Da zwischen den einzelnen Entscheidungsfeldern hohe Interdependenzen vorliegen, wird die Entwicklung eines entsprechenden Totalmodells⁶ angestrebt, welches in der Lage ist, die zusammenhängenden Entscheidungsprobleme simultan zu analysieren und zu lösen (vgl. SCHOLL 2001, S. 20 f.). Die Umsetzung des integrierten Ansatzes wird an dieser Stelle insbesondere durch die vergleichsweise überschaubare Netzwerkgröße von Premiumherstellern gestützt. Für Massenhersteller mit deutlich mehr Fertigungsstandorten und Fahrzeugmodellen würde ein Simultanansatz vermutlich zu erheblichen Lösungsproblemen führen.

Die Entwicklung baut dabei auf bereits vorhandene theoretische und praxisbezogene Arbeiten zur Netzwerkplanung auf und versucht diese gezielt weiterzuentwickeln. An dieser Stelle sind insbesondere die Forschungsarbeiten von HENRICH (2002), FERBER (2005), FLEISCHMANN ET AL. (2006), MEYER (2006a), BUNDSCHUH (2008), KAUDER (2008) und BIHLMAIER ET AL. (2009) zu nennen, die sich überwiegend mit der Netzwerkplanung in der Automobilindustrie auseinandersetzen. Neben der Modellentwicklung an sich soll im Rahmen dieser Arbeit außerdem ein geeignetes Lösungsverfahren konzipiert werden, das es erlaubt, reale Probleminstanzen in akzeptablen Rechenzeiten zu lösen. An dieser Stelle werden insbesondere Ansätze zum logischen Ausschluss nicht relevanter Entscheidungsvariablen und Nebenbedingungen untersucht. Zur Sicherstellung der Nachhaltigkeit im Unternehmen erfolgt im Anschluss an diese Arbeit eine entsprechende Überführung des entwickelten Optimierungsmodells und des Lösungsansatzes in eine anwenderfreundliche und praxisnahe Softwarelösung.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden dem Leser einführend die Grundlagen zur strategischen Planung globaler Produktionsnetzwerke vorgestellt. Sie dienen dem Grundverständnis und bilden die Basis der weiteren Ausführungen. Dies beginnt

⁶ Ein Totalmodell bezeichnet ein Modell, das ein reales System in seiner Gesamtheit vollständig abbildet. Da dies meist nicht möglich ist, spricht man auch von Totalmodellen, "[...] wenn versucht wird, mehrere miteinander zusammenhängende Entscheidungsprobleme simultan, d. h. unter Beachtung ihrer gegenseitigen Verflechtungen, zu analysieren [...]" (SCHOLL 2001, S. 21). Partialmodelle hingegen beschränken sich jeweils nur auf einen bestimmten Ausschnitt des realen Systems. Die Lösungen der Teilmodelle müssen anschließend wieder zu einer konsistenten und günstigen Lösung der Gesamtaufgabe zusammengeführt werden (vgl. SCHOLL 2001, S. 20 f.).

zunächst in Abschnitt 2.1 mit der Vorstellung der unterschiedlichen strategischen Zielsetzungen und Motive, die Unternehmen mit der Globalisierung von Produktionsstrukturen verbinden. Abschnitt 2.2 befasst sich daraufhin mit verschiedenen Grundtypen von globalen Produktionsnetzwerken und unterschiedlichen Rollentypologien von Produktionsstandorten in einem Netzwerk. Wenngleich Grundtypen in der betrieblichen Praxis meist nur selten in Reinform auftreten, können sie dennoch einen wertvollen Diskussionsbeitrag bei der Konfiguration von Produktionsnetzwerken leisten und helfen, bestimmte Zusammenhänge besser zu verstehen. Mit Hilfe dieser Grundtypen lassen sich auch die vorhandenen Produktionsstrukturen in der Automobilindustrie besser einordnen und anschaulich darstellen. In Abschnitt 2.3 wird dann ausführlich auf die zentralen Planungsaufgaben und Entscheidungsfelder eingegangen, die mit der strategischen Ausgestaltung globaler Produktionsnetzwerke einhergehen. Diese umfassen die Planung und Auswahl neuer Fertigungsstandorte, die Kapazitäts- und Flexibilitätsplanung, die Festlegung des Produktionsprogramms für die einzelnen Standorte sowie die Auswahl der standortspezifischen Anlagen- und Fertigungstechnologien. Weitere zentrale Aufgaben betreffen die Festlegung der Lieferbeziehungen zwischen den Werken und zur Distribution der Endprodukte in die Absatzmärkte, die Planung der Werkstrukturen und die Festlegung der Eigenleistungstiefe. Abschnitt 2.4 setzt sich darauf aufbauend mit den unterschiedlichen Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen auseinander, die bei der Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke von Relevanz sind. Wesentliche Vorgaben ergeben sich beispielsweise aus der Produktionsstrategie und den daraus abgeleiteten Teilstrategien für die einzelnen Elemente des Produktionssystems. Darüber hinaus müssen neue Zukunftsmärkte sowie die erwartete Absatzentwicklung bestehender Märkte in die Planung mit einbezogen werden. Sie dienen als wesentliche Inputgrößen und bilden mit dem langfristigen Absatzplan eine zentrale Basis für die zukünftige Auslegung des Produktionsnetzwerkes. Eine weitere zentrale Einflussgröße stellen die erforderlichen Investitionen dar, die für eine Migration des Produktionsnetzwerkes von der Ist-Struktur zur Zielstruktur benötigt werden. Die Auslegung des Produktionsnetzwerkes hängt darüber hinaus auch von der Realisierung möglicher Skalen- und Verbundeffekte ab. Im Kontext global ausgerichteter Produktionsnetzwerke müssen zudem internationale Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Dies betrifft zum einen länderspezifische Faktorkosten- oder Produktivitätsunterschiede sowie Logistikkosten. Diese Einflussfaktoren haben signifikante Auswirkungen auf die Kostenstrukturen eines globalen Produktionsnetzwerkes und sind in der Regel zentraler Bestandteil der Wirtschaftlichkeitsanalyse. Hinzu kommen Rahmenbedingungen wie die Entwicklung von Wechselkursen oder Zollkostensätzen sowie die Einhaltung nicht tarifärer Handelshemmnisse in Form von Local-Content-Vorschriften oder Exportbeschränkungen. Im Anschluss daran werden in Abschnitt 2.5 verschiedene qualitative und quantitative Methoden vorgestellt, die zur Entscheidungsunterstützung im Rahmen dieser Planungsaufgaben eingesetzt werden können.

Kapitel 3 widmet sich anschließend speziell der modellgestützten Planung mittels quantitativer Optimierungsmodelle. Hierzu werden zunächst in Abschnitt 3.1 einige wichtige Grundlagen erläutert. Neben begrifflichen Grundlagen und der Gegenüberstellung verschiedener Klassen von Optimierungsmodellen wird hier auch auf die Vorgehensweise im Rahmen der Modellbildung näher eingegangen. Darüber hinaus werden unterschiedliche Ansätze zur Lösung von Optimierungsmodellen und zur postoptimalen Analyse vorgestellt. In einem nächsten Schritt werden verschiedene Kriterien erarbeitet, die anschließend zur Beschreibung der Netzwerkoptimierungsmodelle mit Bezug zur Automobilindustrie herangezogen werden. Neben Kriterien wie Modellklasse, Lösungsansatz und Anwendungsbereich, die in erster Linie zur formalen Beschreibung der Modelle dienen, sollen auch Kriterien entwickelt werden, die es ermöglichen, klar darzustellen, welche Aspekte die einzelnen Modelle abdecken und welche Entscheidungsprobleme mit Hilfe dieser Modelle gelöst werden können. Abschnitt 3.2 gibt darauf aufbauend einen Überblick über die in der wissenschaftlichen Literatur vorhandenen Netzwerkoptimierungsmodelle. Hierzu wird zunächst in Form einer Kurzübersicht das gesamte Spektrum an Netzwerkoptimierungsmodellen vorgestellt, das im Rahmen dieser Arbeit recherchiert wurde. Aufgrund der Vielfalt der Modelle wird jedoch an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arbeiten verzichtet. Im Anschluss daran werden speziell die Netzwerkoptimierungsmodelle aufgegriffen, die für die Automobilindustrie konzipiert wurden. Diese werden dann anhand des zuvor entwickelten Klassifizierungsschemas systematisch beschrieben und darauf aufbauend noch einmal ausführlich vorgestellt. In Abschnitt 3.3 erfolgt dann abschließend die kritische Würdigung dieser Modelle und die Ableitung von Handlungsfeldern. Diese bilden wiederum eine wichtige Grundlage für die weitere Eingrenzung der Forschungsaufgaben im Rahmen dieser Arbeit.

Kapitel 4 bildet den Kern der vorliegenden Arbeit. In diesem Kapitel erfolgt die Entwicklung eines quantitativen Optimierungsmodells für die Automobilindustrie, das zur Planung von globalen Produktionsnetzwerken herangezogen werden kann. Die Entwicklung ist dabei auf die Anforderungen eines Premiumherstellers zugeschnitten, kann jedoch hinsichtlich der Modellstruktur grundsätzlich auch auf Massenhersteller oder zum Teil auch auf branchenfremde Unternehmen übertragen werden. Als Basis für die Modellentwicklung werden die Planungsgegebenheiten des Automobilherstellers Audi zugrunde gelegt. Diese werden in Abschnitt 4.1 ausführlich erläutert und dienen als Grundlage zum Modellaufbau. Neben dem Modellaufbau werden in diesem Abschnitt auch die Vorgehensweisen zur Ermittlung der relevanten Planungsdaten skizziert, die zusammen mit den entsprechenden Fachabteilungen im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden. Einführend wird zunächst auf die langfristige Produkt- und Absatzplanung eingegangen, die eine wesentliche Inputgröße für die strategische Ausgestaltung der Produktionsstrukturen darstellt. Im Anschluss daran werden das Produktionssystem und die unterschiedlichen Fertigungsformen im Automobilbau näher erläutert. Der Fokus liegt hierbei auf der prozessorientier-

ten und infrastrukturellen Beschreibung des Produktionssystems. Methodisch-konzeptionelle Aspekte werden an dieser Stelle nicht weiter aufgegriffen. Darauf aufbauend erfolgt anschließend eine Erläuterung der wesentlichen Produktionsfaktoren, die zur Herstellung der Fahrzeuge erforderlich sind und die im Zuge der Netzwerkplanung berücksichtigt werden müssen. Diese umfassen neben dem direkten und indirekten Personal die Fertigungs- und Anlagentechnologien sowie den Produktionsfaktor Material. Im Weiteren wird ausführlich auf die vor- und nachgelagerten Lieferbeziehungen im Automobilbau eingegangen und dargelegt, wie diese modellseitig entsprechend abgebildet werden können. Dies betrifft zum einen die Lieferbeziehungen zur Beschaffung der Vorprodukte, zum anderen die Lieferbeziehungen, die mit der Distribution der Fahrzeuge in die Absatzmärkte einhergehen. In Abschnitt 4.2 erfolgt dann die mathematische Modellformulierung durch Beschreibung des Planungsproblems mit Hilfe von Variablen und Relationen. Darauf aufbauend wird anschließend in einem nächsten Schritt auf die softwareseitige Implementierung des entwickelten Basismodells eingegangen und die Softwarelösung vorgestellt, die gemeinsam mit der strategischen Produktionsplanung des Automobilherstellers Audi entwickelt wurde. Abschnitt 4.3 setzt sich anschließend näher mit der Lösbarkeit des entwickelten Optimierungsmodells auseinander. Hierzu wird zunächst die Lösungsdauer des Basismodells für verschiedene Probleminstanzen untersucht. Darauf aufbauend werden dann verschiedene Ansätze vorgestellt, die zur Verbesserung der Lösbarkeit des Basismodells herangezogen werden können und die sich im Zuge der betrieblichen Anwendung als erfolgversprechend erwiesen haben. Hierzu zählt zum einen die Relaxierung bestimmter binärer Entscheidungsvariablen. Zum anderen wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene logische Einschränkungen entwickelt, die es erlauben, die Anzahl der zugrunde liegenden Entscheidungsvariablen und Nebenbedingungen ex ante bereits um ein deutliches Maß zu reduzieren. In Abschnitt 4.4 erfolgt anschließend eine Erläuterung, wie ein derartiges Optimierungswerkzeug in den Produktplanungsprozess eines Automobilherstellers eingebunden werden kann. Die Vorgehensweise wird dabei anhand eines einfachen Beispiels anschaulich illustriert. Die wesentlichen Erkenntnisse dieses Kapitels finden sich abschließend in Abschnitt 4.5 für den Leser noch einmal zusammengefasst.

In Kapitel 5 werden darauf aufbauend die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten des in Kapitel 4 beschriebenen Optimierungsmodells anhand einer Fallstudie näher aufgezeigt. Die Fallstudie nimmt dabei Bezug auf drei in der Automobilpraxis häufig auftretende Fragestellungen und legt dar, wie diese mit Hilfe des entwickelten Modells gelöst werden können. Da der Einsatz von Fallstudien in der wissenschaftlichen Literatur häufig ohne theoretische Fundierung erfolgt, werden zunächst in Abschnitt 5.1 einige Grundlagen zur Fallstudienmethodik vorgestellt sowie verschiedene Problemklassen von Fallstudien voneinander abgegrenzt. Der Aufbau und die Bearbeitung der Fallstudie unter Einsatz des Modells erfolgt anschließend in Abschnitt 5.2. Im Mittelpunkt der Fallstudie steht die Fragestellung nach der optimalen strategischen Ausgestal-

tung des Produktionsnetzwerkes eines fiktiven Herstellers von Premiumfahrzeugen. Aus Geheimhaltungsgründen wurde bewusst auf den Einsatz von Realstudien und Realdaten des Automobilherstellers Audi verzichtet und stattdessen der Einsatz einer fiktiven Fallstudie gewählt. Die zugrunde gelegten Daten und Annahmen basieren jedoch weitestgehend auf realen Entscheidungsproblemen und wurden von diesen abgeleitet, so dass eine hinreichende Realitätsnähe zu Demonstrationszwecken gewährleistet werden kann. Zu Beginn erfolgt zunächst eine Einführung in die Fallstudie, in welcher die Ausgangssituation und das Profil des Unternehmens ausführlich beschrieben werden. Anschließend werden drei zentrale Planungsprobleme aufgegriffen und jeweils mittels des Modells gelöst. Im ersten Teil der Fallstudie steht die Fragestellung nach der kostenoptimalen Belegung der Produktionsstandorte mit den zukünftigen Fahrzeugmodellen im Mittelpunkt. Der zweite Teil setzt sich darauf aufbauend mit der Fragestellung nach der Ausgestaltung der Produktionsstandorte und der optimalen Auswahl der Fertigungstechnologien auseinander. Im letzten Teil der Fallstudie werden schließlich die Auswirkungen unterschiedlicher alternativer Produktkonzepte auf die Ausgestaltung des Produktionsnetzwerkes und auf die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens untersucht. Am Kapitelende erfolgt eine zusammenfassende Diskussion der Fallstudienresultate und der Anwendbarkeit des Optimierungsmodells in der betrieblichen Praxis.

In Kapitel 6 werden die wichtigsten Ergebnisse und Inhalte dieser Arbeit noch einmal zusammengefasst und deren Beitrag für die Automobilpraxis diskutiert. Außerdem wird abschließend ein Ausblick auf mögliche Ansätze zur Weiterentwicklung gegeben und Schwerpunkte für weitere Forschungsprojekte aufgezeigt. Die Erstellung der vorliegenden Arbeit erfolgte dabei im Wesentlichen auf Basis der LaTeX-Vorlage von GÖCKEL (2008).