



1. Einleitung

1.1. Ausgangssituation

Die Wettbewerbsbedingungen in der Automobilindustrie haben sich in den vergangenen Jahren grundlegend verändert. Während in den letzten Jahrzehnten die Märkte von kontinuierlichem Wachstum geprägt waren und die Automobilbranche den Antriebsmotor der europäischen und nordamerikanischen Volkswirtschaft darstellte, unterliegt die Branche derzeit einer Reihe von neuen Herausforderungen. Neben einem zunehmenden Verdrängungswettbewerb zwischen den Herstellern wirken staatliche Auflagen sowie neue ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen zusätzlich auf die Marktteilnehmer ein (siehe Ebel und Hofer (2014), S.4 ff.).

Um dem Wettbewerbsdruck zu begegnen, versuchen die Hersteller weitere Umsätze durch zusätzliche Modelle und Derivate zu generieren, um somit ihre Marktanteile zu erhöhen. Bei dem Automobilhersteller AUDI AG führte dies in den vergangenen Jahren zu einem Anstieg von vier Fahrzeugmodellen und Varianten im Jahre 1996 zu insgesamt 53 Modellen und Varianten im Jahr 2014 (siehe Abbildung 1.1). Allerdings birgt diese Ausweitung der Modellvielfalt auch Risiken. Sowohl die ständige Neueinführung von Produkten im Markt als auch kürzere Marktlebenszyklen der Produkte führen zu sinkenden durchschnittlichen Absatzmengen pro Modell und Derivat (siehe Schulz (2014), S. 13 ff., Schedlbauer (2008), S. 23).

Zusätzlich werden den Kunden umfangreiche Konfigurationsmöglichkeiten angeboten, sodass eine Individualisierung der Fahrzeuge ermöglicht wird und weitere Variantenkombinationen geschaffen werden (siehe Schulz (2014), S. 14). Schneider (2008) beziffert die damit einhergehende Anzahl an Kaufteilesachnummern auf über 20.000 Stück pro Fahrzeugmodell (siehe Schneider (2008), S. 2). Für die Materialversorgung resultieren aus diesem Anstieg der Teilenummern neue Herausforderungen, da nicht nur zusätzliche Variantenteile beherrscht und angeliefert werden müssen, sondern auch Bedarfsmuster



1. Einleitung

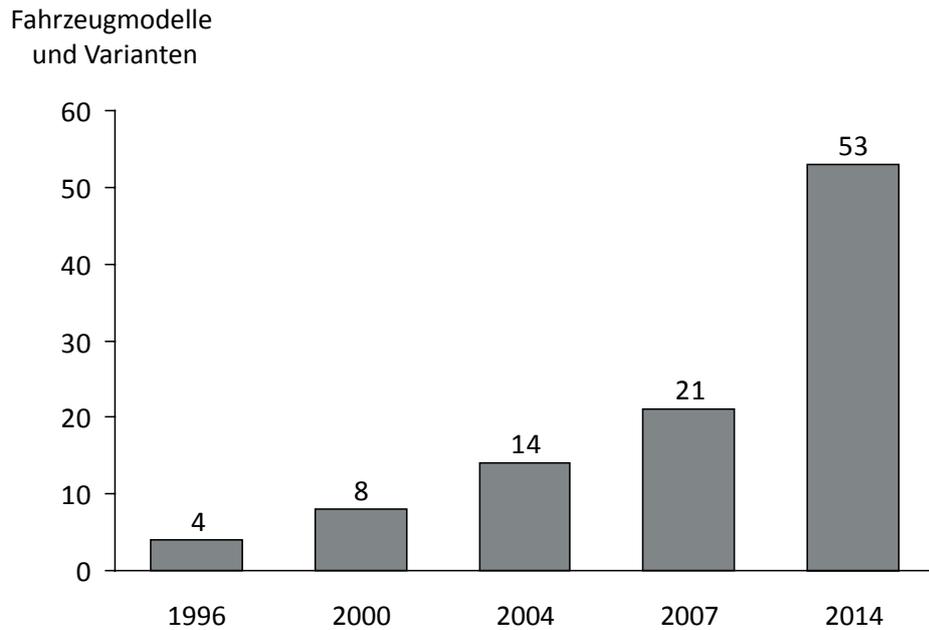


Abbildung 1.1.: Zunahme des Modell- und Derivatespektrums der Audi AG
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Krog und Statkevich (2008), S. 187

entstehen, die vom Produktionsprogramm und von der Fertigungsreihenfolge abhängig sind und nicht zwangsweise einem regelmäßigen Bedarfsverlauf unterliegen (siehe Schedlbauer (2008), S. 22; Golz (2014), S. 3). Diese Variantenvielfalt zieht folglich einen höheren Logistikaufwand und einen zusätzlichen Bedarf an logistischen Ressourcen mit sich (siehe Freye (1997), S. 44).

1.2. Problemstellung und Zielsetzung

Um den Einsatz logistischer Ressourcen zu minimieren, ist insbesondere das Konzept der Nivellierung im Rahmen des Toyota Produktionssystems bekannt geworden. Das Ziel der Nivellierung besteht darin, die Fertigungsreihenfolge derart festzulegen, dass ein möglichst zyklisches und konstantes Intervall für die Produktion eines identischen Modells festgesetzt wird und folglich der Verbrauch der Materialien und Ressourcen möglichst gleichmäßig ist (siehe Monden (1993), S. 63 ff.).

Eine mathematische Modellierung dieser Idee findet sich in den Modellen zur Bestimmung der Fertigungsreihenfolge in Form des Level-Scheduling Ansatzes wieder. Allerdings stehen diese Ansätze anderen Verfahren gegenüber, die eine Modellierung und



Berücksichtigung der Bearbeitungszeiten der Werker in der Endmontage vorsehen (z.B. Mixed-Model-Sequencing, Car-Sequencing). Diese Ansätze zielen wiederum darauf ab, optionsbedingte und modellspezifische Belastungsspitzen und Engpässe zu minimieren.

In der betrieblichen Praxis kann der Einsatz aller Modelle zur Festlegung der Fertigungsreihenfolge beobachtet werden. Jedoch basieren diese Planungsverfahren nicht auf der Grundlage der für die Materialversorgung relevanten Teilevarianten, sondern auf Basis von Fahrzeugmerkmalen. Der tatsächliche und für die logistischen Aktivitäten relevante Teilebedarf resultiert folglich im Rahmen der Stücklistenauflösung auf Grundlage der Fahrzeugmerkmale (siehe Stich (2007), S. 27 ff.). Aufgrund der kombinatorischen Ausprägung unterschiedlicher Fahrzeugmerkmale können schwankende Bedarfsmengen der Teilevarianten hervorgerufen werden und unter Umständen zu einem erhöhten Logistikaufwand in Form von zusätzlichen Personal- und Investitionskosten und zu erhöhten Beständen und somit größeren Lagerflächen führen.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, den Einfluss schwankender Bedarfsmengen auf der Basis von Teilevarianten auf die innerbetriebliche Materialversorgung darzustellen und den Nutzen von gleichmäßigen und nivellierten Bedarfsmengen zu ermitteln. Somit soll im Rahmen dieser Arbeit eine Validierung der Modelle zur materialorientierten Nivellierung stattfinden und deren Einfluss auf die logistische Materialversorgung untersucht werden. Darüber hinaus sollen Rahmenbedingungen identifiziert werden, unter denen eine materialorientierte Nivellierung dazu beitragen kann, die Kosten der Materialversorgung zu minimieren.

1.3. Vorgehensweise und Aufbau

Die Arbeit beginnt zunächst mit einem Überblick der Variantenfließfertigung im Rahmen der Automobilindustrie (Kapitel 2). Dabei werden insbesondere die Planungsprobleme der Variantenfließfertigung beschrieben und die Modellierungsansätze zur Reihenfolgeplanung beleuchtet. Schließlich werden die Grundlagen der Konzepte zur Materialbereitstellung im Rahmen der Variantenfließfertigung beschrieben. Die dargestellten Prinzipien der Materialbereitstellungsstrategien bilden den Ausgangspunkt für die weitere Untersuchung zwischen einer materialorientierten Nivellierung und der innerbetrieblichen Materialversorgung.



1. Einleitung

Eine Beschreibung des Forschungsrahmens findet in Kapitel 3 statt. Dabei werden existierende Forschungs- und Modellierungsansätze kritisch gewürdigt und Forschungsfragen abgeleitet. Ein Lösungskonzept wird in Kapitel 3.3 vorgestellt. Um nivellierte und gleichmäßige Fertigungsreihenfolgen quantitativ zu beschreiben und zu bewerten, wird in Kapitel 4 zunächst eine Kennzahl entwickelt. Mithilfe dieser Kennzahl wird im Rahmen einer empirischen Studie die Nivellierungsgüte bei einem Automobilhersteller untersucht.

Eine Beschreibung des Wirkungszusammenhangs findet schließlich in Kapitel 5 statt. Ausgehend von unterschiedlich nivellierten Fertigungsreihenfolgen werden mögliche Auswirkungen auf den Ressourcenbedarf in der Logistik in Form von Materialbeständen, Flächenbedarfe sowie personellen und kapazitiven Ressourcen beschrieben und mögliche strukturelle und operative Rahmenbedingungen erläutert. Somit soll der konzeptionelle Rahmen für das in Kapitel 6 entwickelte Bewertungsmodell zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen einer materialorientierten Nivellierung und dem Ressourcenbedarf geschaffen werden.

Die Durchführung der Untersuchung anhand des Bewertungsmodells sowie die Beschreibung und Auswertung der Ergebnisse findet schließlich in Kapitel 7 statt. Dabei erfolgt die Untersuchung von multiplen Zusammenhängen mithilfe des CART-Algorithmus'. In einem abschließenden Anwendungsbeispiel werden die gewonnenen Erkenntnisse anhand eines praxisnahen Datensatzes überprüft und das Potential einer materialorientierten Nivellierung ermittelt (Kapitel 8).

Eine Zusammenfassung der Arbeit und der wichtigsten Erkenntnisse sowie eine Darstellung von Handlungsempfehlungen und des weiteren Forschungsbedarfs erfolgt abschließend in Kapitel 9.



2. Variantenfließfertigung in der Automobilindustrie

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und Rahmenbedingungen der Variantenfließfertigung definiert und gegenüber anderer Arten der Fließfertigung abgegrenzt. Dabei wird zunächst im Detail auf die Fließfertigung (Kapitel 2.1) und die Variantenfertigung (Kapitel 2.2) eingegangen. Darauf aufbauend werden die Planungsprobleme, die insbesondere im Rahmen der automobilen Variantenfließfertigung entstehen, aufgezeigt und erläutert (Kapitel 2.3). Besonders hervorgehoben werden aktuelle Modellierungsansätze zur Reihenfolgeplanung (Kapitel 2.4). Kapitel 2.4.2 konzentriert sich auf die überlastungsorientierten Ansätze des Mixed-Model-Sequencing, bevor in Kapitel 2.4.3 die Ansätze im Rahmen des Car-Sequencing näher beleuchtet werden. Einen ausführlichen Überblick über die Level-Scheduling Ansätze zur Planung der Fahrzeugreihenfolge erfolgt in Kapitel 2.4.4.

Kapitel 2.5 befasst sich mit der Materialbereitstellung innerhalb einer Variantenfließfertigung und beschreibt auf Basis einer hierarchischen Planung die logistischen Probleme im Kontext der Automobilindustrie (Kapitel 2.5.1). Dabei werden die Planungsprobleme sowohl hinsichtlich ihres zeitlichen Horizonts als auch hinsichtlich ihres Funktionsbereichs gegliedert. Neben den Planungsproblemen der Beschaffungs- und Distributionslogistik wird detailliert auf die Planungsprobleme der innerbetrieblich stattfindenden Produktionslogistik eingegangen. Kapitel 2.5.2 beschäftigt sich mit den Prinzipien der Materialbereitstellung und stellt die typischen Vertreter der Materialbereitstellungsstrategien dar. Die Einordnung und Abgrenzung möglicher Strategien zur Materialbereitstellung im Kontext eines deutschen Premiumherstellers findet in Kapitel 2.5.3 statt. Ein abschließendes Zwischenfazit wird in Kapitel 2.6 geboten.

2.1. Definition und Abgrenzung der Fließfertigung

Die Produktion kann grundsätzlich als ein Prozess verstanden werden, bei dem Produktionsfaktoren in Produkte umgewandelt werden. Die dabei eingesetzten Produktionsfaktoren können sowohl aus menschlicher Arbeitskraft als auch aus stofflichen Gütern bestehen, die im Laufe der Produktion eingesetzt oder im Produktionsprozess verbraucht werden (siehe Boysen (2005), S. 6 ff.). Der jeweilige Produktionsprozess stellt nach Günther und Tempelmeier (2012) eine Folge von Arbeitsgängen dar, die von Arbeitssystemen verrichtet werden. In diesem Zusammenhang werden die Arbeitssysteme als die „[...] kleinsten arbeitsfähigen Einheiten im betrieblichen Leistungsvollzug“ (Günther und Tempelmeier (2012), S. 13) beschrieben und können anhand ihrer organisatorischen Anordnung und den erforderlichen Transportbeziehungen in mehrere Organisationstypen unterschieden werden (siehe Abbildung 2.1).

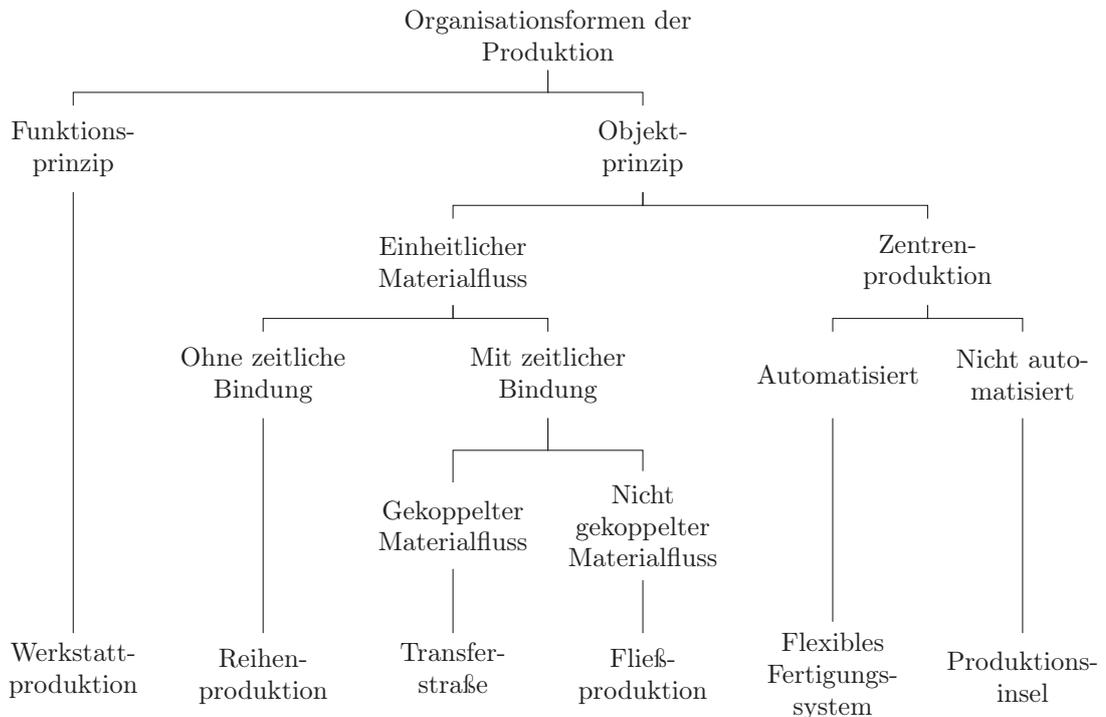


Abbildung 2.1.: Organisationstypen in der Produktion
Quelle: Günther und Tempelmeier (2012), S.13

In einer ersten Gliederungsebene kann die Produktion nach dem Funktions- und nach dem Objektprinzip gegliedert werden, wobei das Funktionsprinzip die Arbeitssysteme



2.1. Definition und Abgrenzung der Fließfertigung

zusammenfasst, die gleichartige Funktionen durchführen können. Eine Ausprägung, die hierunter subsumiert werden kann, ist die Werkstattproduktion. Unter dem Anordnungskriterium Objektprinzip findet dagegen eine Gliederung anhand der zu bearbeitenden Erzeugnisse statt. Im Gegensatz zur Zentrenproduktion, die einen flexiblen und beliebigen Materialfluss erlaubt, kann ein einheitlicher Materialfluss weiterhin anhand der zeitlichen Bindung differenziert werden. Existiert keine zeitliche Bindung der jeweiligen Arbeitsgänge, so kann von einer Reihenproduktion gesprochen werden. Dabei ist der Materialfluss für alle Erzeugnisse identisch, ein Überspringen einzelner Bearbeitungsstationen jedoch möglich. Dagegen kann eine zeitliche Bindung sowohl in Form eines gekoppelten als auch in Form eines nicht gekoppelten Materialfluss' vorliegen. Eine typische Form des gekoppelten Materialfluss' ist die Transferstraße, bei der eine simultane und synchrone Weitergabe der Werkstücke erfolgt. Im Rahmen des nicht gekoppelten Materialfluss' können die Werkstücke auch asynchron und unabhängig voneinander weitergegeben werden. Als typischer Vertreter kann hier die Fließproduktionslinie genannt werden (siehe Günther und Tempelmeier (2012), S. 13 ff.).

Nach Boysen (2005) werden die Arbeitsgänge an einer Fließproduktion an den (Bearbeitungs-) Stationen verrichtet, wobei sich die Bearbeitungsreihenfolge aus dem Arbeitsplan des Produkts ableiten lässt. Die einheitliche Bearbeitungshöchstzeit, die zur Verrichtung der Arbeitsschritte an den Stationen zur Verfügung steht, wird als Taktzeit definiert. Nach der Bearbeitung des Werkstücks wird dieses an die nächste Station weitergegeben bis das Werkstück den gesamten Materialfluss durchlaufen hat. Somit kann nach Ablauf der Taktzeit für das gesamte System jeweils ein Werkstück fertiggestellt werden. Die daraus resultierende Produktionsgeschwindigkeit lässt sich somit aus dem Kehrwert der Taktzeit errechnen (siehe Boysen (2005), S. 8 ff.).

Für die Automobilindustrie ergibt sich im Wesentlichen eine Gliederung der gesamten Fließproduktion in vier Fertigungsstufen (Gewerke): Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage (siehe Meyr (2004), S. 451). Um den einheitlichen Materialfluss zwischen den Gewerken zu entkoppeln, existieren häufig Puffer- oder Zwischenlager zwischen den jeweiligen Fertigungsstufen. Diese werden genutzt, um die Fertigungsreihenfolge an die Anforderungen der jeweiligen Gewerke anzupassen bzw. um den einheitlichen Materialfluss gewerkespezifisch zu individualisieren (siehe Mollemer (1997), S. 7 f.; Ihme (2006), S. 341 ff.).

2.2. Abgrenzung der Variantenfertigung

Die Fließproduktion wird insbesondere zur Herstellung von größeren Stückzahlen eingesetzt. Dabei werden die Fließproduktionssysteme hinsichtlich der Anzahl der Produkte klassifiziert, die auf der Fertigungslinie nacheinander produziert werden (siehe Abbildung 2.2). Scholl (1995) unterscheidet im Wesentlichen drei Arten der Fließproduktion (siehe Scholl (1995), S. 7 f.):

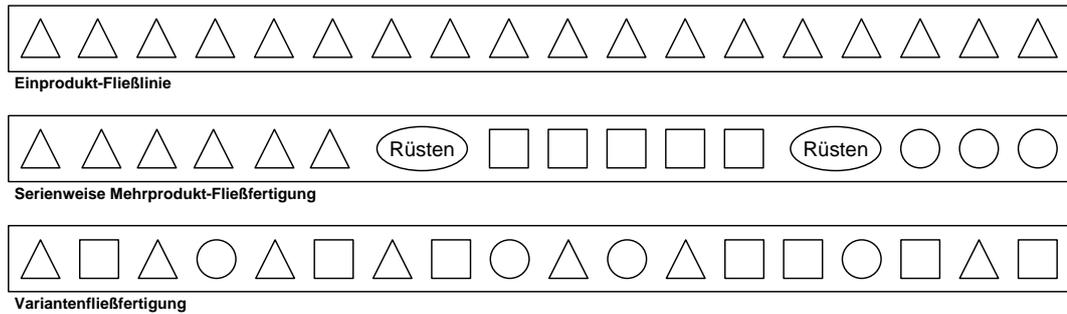


Abbildung 2.2.: Arten der Fließfertigung
Quelle: Scholl (1995), S.7

- **Einprodukt-Fließfertigung:** Im Rahmen der Einprodukt-Fließfertigung (Single-Model Line) werden gleichartige Produkte in großen Mengen hergestellt. Dabei verrichten alle Arbeitssysteme an allen Produkten die gleichen Tätigkeiten. Somit resultiert im Zeitverlauf die gleiche Arbeitslast für alle Arbeitssysteme.
- **Serienweise Mehrprodukt-Fließfertigung:** Bei der serienweisen Mehrprodukt-Fließfertigung (Multi-Model Line) werden wie bei der Einprodukt-Fließfertigung gleichartige Produkte nacheinander hergestellt. Der wesentliche Unterschied besteht jedoch darin, dass nach einer begrenzten Anzahl an Produkten eine Umstellung auf ein anderes Produkt stattfindet. Die Umstellung der Fertigungslinie auf das neue Produkt wird als Rüstvorgang bezeichnet, die Menge der produzierten Produkte zwischen den Rüstvorgängen als Losgröße.
- **Variantenfließfertigung:** Die Variantenfließfertigung (Mixed-Model Line) ist dadurch charakterisiert, dass verschiedene Produkte nacheinander gefertigt werden können, ohne dass ein Rüsten der Fertigungslinie vorausgesetzt wird. Die Produkte sind hinsichtlich des grundlegenden Aufbaus sehr ähnlich und unterscheiden sich hinsichtlich einiger Eigenschaften (z.B. Produktfarbe oder speziellen Zusatzfunktionen wie ein Schiebedach). Diese Produktvarianten können in der Variantenfließfertigung hergestellt werden.



2.3. Planungsprobleme in der Variantenfließfertigung

tenfließfertigung in wahlfreier Reihenfolge produziert werden, wodurch sich eine Losgröße von Eins ergibt. Im Gegensatz zur Einprodukt-Fließlinie kann bei der Variantenfließfertigung die Arbeitslast an den Arbeitssystemen in Abhängigkeit der Produktvariante divergieren. Die daraus entstehenden Planungsprobleme werden in Kapitel 2.3 behandelt.

Während traditionelle Fließproduktionssysteme in der Automobilindustrie auf die Herstellung einer einzelnen Produktvariante ausgelegt waren (z.B. Modell T von Ford) und aus diesem Grund der Einprodukt-Fließfertigung zugeordnet werden konnten, können die heutigen Fließproduktionssysteme eine Vielzahl von Varianten beherrschen (siehe Boysen u. a. (2009c), S. 349). So bietet die BMW AG nach Angaben von Meyr (2004) theoretisch 10^{32} verschiedene Varianten an (siehe Meyr (2004), S. 349)¹. Diese Vielfalt an Varianten kommt insbesondere aufgrund der wählbaren Optionen zustande, über die ein Kunde beim Kauf entscheiden kann (Pil und Holweg (2004)). Boysen u. a. (2009c) definiert in diesem Zusammenhang eine Option als die "[...] alternativen Ausprägungen eines Merkmals" (Boysen u. a. (2009c), S.12) und differenziert zwischen Mussvarianten (Merkmalsausprägung, die zwingend in einer Form gewählt werden muss) und Kannvarianten (Möglichkeit zur Nicht-Auswahl einer Option). Eine Übersicht über die Ursachen und Gründe der hohen Variantenvielfalt im Kontext der Automobilindustrie kann bei Freye (1997) gefunden werden (siehe Freye (1997), S. 37 ff.). Hierbei wird insbesondere zwischen unternehmensinternen und -externen Faktoren differenziert.

Die grundlegenden Planungsprobleme, die im Rahmen der Variantenfließfertigung entstehen, werden im folgenden Kapitel 2.3 dargestellt und erläutert. Dabei findet eine Einordnung der Planungsprobleme anhand der zeitlichen Fristigkeit statt.

2.3. Planungsprobleme in der Variantenfließfertigung

Planungsprobleme können grundsätzlich nach der Länge des Planungshorizonts und der Wichtigkeit der Entscheidung für das Unternehmen eingeteilt werden. Fleischmann u. a. (2010) unterscheidet zwischen den drei Entscheidungsebenen lang-, mittel- und kurzfristiger Planung und ordnet diese in ein hierarchisches Planungssystem ein. Die Entscheidungen der langfristigen Planung betreffen die zukünftige Ausrichtung des Unternehmens und haben in der Regel einen weitreichenden und spürbaren Effekt auf das Un-

¹Weitere Hinweise zur Anzahl möglicher Produktvarianten finden sich u.a. bei Pil und Holweg (2004) sowie Yano und Rachamadugu (1991).

2. Variantenfließfertigung in der Automobilindustrie

ternehmen und dessen Erfolg über Jahre hinweg. Diese Art von Entscheidungen werden daher auch als strategisch aufgefasst. Die mittelfristigen Planungsaufgaben detaillieren die Vorgaben der langfristigen Planung und verfeinern die Entscheidung unter Einbeziehung weiterer Informationen. In der Regel umfassen diese Entscheidungen einen zeitlichen Horizont von sechs bis 24 Monate. Die letzte Instanz der Planungsaufgaben stellt die kurzfristige Planung dar. Hierbei werden die Vorgaben aus der lang- und mittelfristigen Planung berücksichtigt und im Detail geplant. Dabei werden Arbeitsaufträge und -anweisungen zur unmittelbaren Durchführung getroffen. Diese Art von Entscheidungen haben insbesondere Einfluss auf die operative Leistung des Unternehmens. Der Planungshorizont umfasst in der Regel wenige Tage bis hin zu drei Monaten (siehe Fleischmann u. a. (2010), S. 89 ff.).

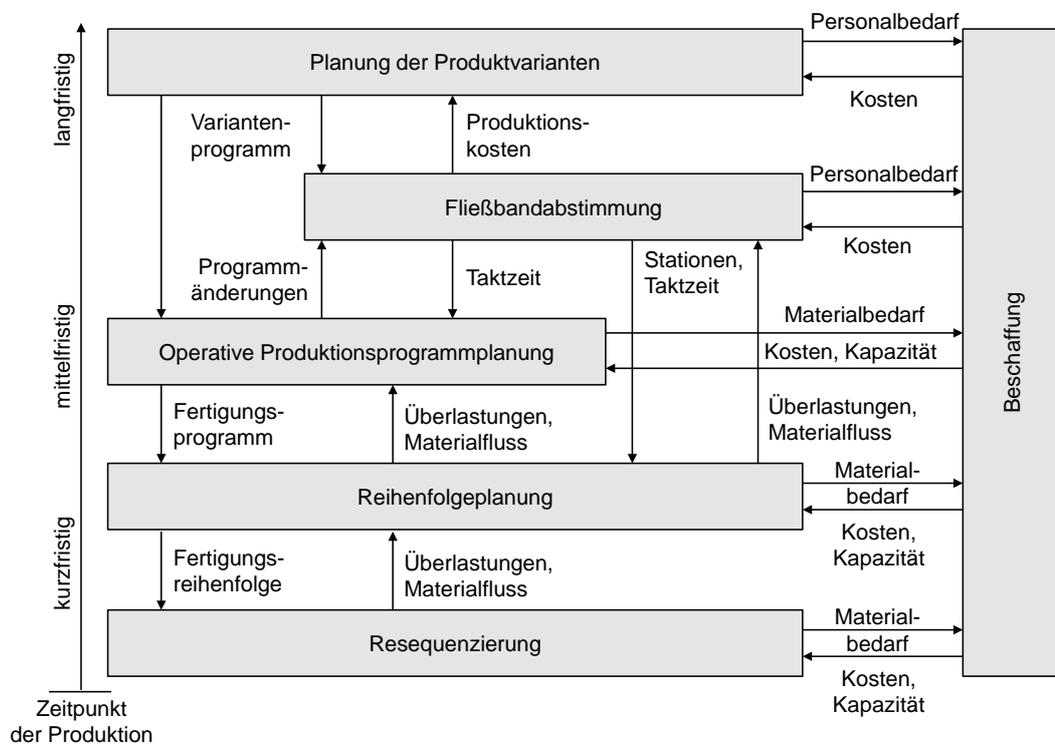


Abbildung 2.3.: Hierarchisches Planungssystem
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Boysen (2005), S. 25

Planung der Produktvarianten

Im Kontext der Variantenfließfertigung ordnet Boysen (2005) die Planung der Produktvarianten an die oberste Stelle (siehe Abbildung 2.3). Bei dieser Entscheidung muss das