

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Produzierende Unternehmen sehen sich zunehmend mit dem Kundenwunsch konfrontiert, Produkte anzubieten, welche eine hohe Individualisierbarkeit aufweisen. Zeitgleich sehen sich die Hersteller gezwungen, den Produktaufbau erheblich zu standardisieren, um Skaleneffekte zur Reduzierung der Herstellkosten zu erreichen. Für das Endkundengeschäft sind Konzepte zur Realisierung kundenindividueller Produkte unter dem Begriff „*Mass Customization*“ bekannt geworden. Das wohl bekannteste Beispiel hierfür ist das Automobil (s. BECKER 2007, S. 27 – 30). Insbesondere auf dem europäischen Markt können Fahrzeuge vom Kunden mithilfe von Produktkonfiguratoren den eigenen Wünschen angepasst werden (s. STÄBLEIN U. AOKI 2015, S. 263ff). Doch auch im B2B-Geschäft ohne direkten Endkundenbezug ist der Trend zu individualisierten und konfigurierbaren Produkten zu verzeichnen. Hierunter fallen Nutzfahrzeuge wie Landmaschinen (s. HUCHZERMEIER ET AL. 2020, S. 1) und LKW (s. REINHART U. PRÖPSTER 2012, S. 404 – 405), Flugzeuge (s. BUERGIN ET AL. 2018, S. 759), aber auch Industriegüter wie Maschinen und Geldautomaten.

Zur Gewährleistung der Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung individualisierbarer Produkte sind einerseits modulare Produktarchitekturen und andererseits geeignete, flexible Produktionssysteme erforderlich (s. BÜRGIN 2018, S. 1). Bevorzugte Organisationsform für die Produktion und Montage standardisierter Produkte in hoher Stückzahl ist die Fließfertigung, welche von Henry Ford für die Produktion des Model-T erstmals im Bereich der industriellen Produktion eingesetzt wurde (s. BOYSEN ET AL. 2007c, S. 760). Durch die steigende Zahl der Produktvarianten und eine sinkende Zahl von Autos je Derivat wurde die Wirtschaftlichkeit dieses Systems jedoch immer mehr in Frage gestellt. Am Beispiel der Automobilindustrie kann der Trend zu einer überproportionalen Steigerung der Produktvarianten veranschaulicht werden (s. Abbildung 1-1).

Durch technologische Innovationen, welche schnelle Werkzeugwechsel erlauben, und neue Organisationskonzepte in der Montage für die Materialbereitstellung, ist es im Rahmen der sogenannten Variantenfließfertigung möglich, die Vorteile der Fließproduktion auch für die kundenindividuelle Fertigung zu nutzen. Heutzutage wird daher auf einem Produktionssystem eine Vielzahl verschiedener Varianten eines Produkts auf demselben Fließsystem gefertigt (vgl. DECKER 1993; BOYSEN 2005). Neben den daraus resultierenden Vorteilen, wie der Nutzung von Skaleneffekten durch Standardisierung und Arbeitsteilung, ergibt sich auch eine Reihe von Herausforderungen zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit derartiger Produktionssysteme.

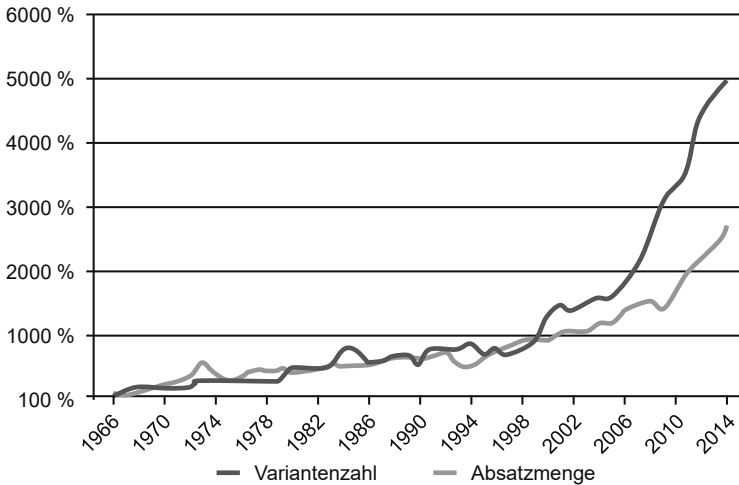


Abbildung 1-1: Entwicklung der Produktvarianten und Absatzmengen bei der Audi AG (KERN ET AL. 2015, S. 2)

Eine der zentralen Herausforderungen liegt dabei in der Ausgestaltung der Auftragsabwicklung als zentrales Element der Wertschöpfung (s. SCHRÖDER 2019, S. 2). Zur Gewährleistung der Flexibilität zur Reaktion auf Kundenwünsche bei gleichzeitiger Reduzierung der Warenbestände wird die Variantenfließfertigung oftmals mit einem Build-to-Order-Fertigungskonzept verbunden (s. MANDEL 2012, S. 6). Damit wird die Herstellung der Enderzeugnisse erst zum Zeitpunkt der verbindlichen Kundenbestellung angestoßen. Allerdings sind für die Auftragsabwicklung und die vorgelagerten Planungsschritte der Fabrikplanung hohe Vorlaufzeiten zu berücksichtigen. Diese Planung basiert im Wesentlichen auf Prognosen über den erwarteten Kapazitätsbedarf (s. BÜRGIN 2018, S. 1 – 4). Bei der operativen Auftragsabwicklung wird der durch die Nachfrage bestimmte Kapazitätsbedarf im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung mit dem Kapazitätsangebot in Deckung gebracht. Im mittelfristigen Bereich geschieht dies bei der aggregierten Produktionsprogrammplanung sowie der Fließbandabstimmung. Im Kurzfristbereich sind die operative Produktionsprogrammplanung und die Reihenfolgeplanung wesentliche Planungsschritte im Bereich der Produktion (s. DÖRMER 2013, S. 34 – 43).

Die Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung ist notwendig, da die unterschiedlichen und zahlreichen Produktvarianten zu Schwankungen der Bearbeitungszeiten und des Materialbedarfs für variantenspezifische Bauteile führen können (s. SWIST 2014, S. 4; WÖRNER 2015, S. 2 – 3), welche wiederum zu Instabilitäten des Materialflusses und damit einer Termingefährdung führen können. Die Varianz der Bearbeitungszeiten führt einerseits zu reihenfolgeunabhängigen Taktzeitverlusten sowie

andererseits zu reihenfolgeabhängigen Modell-Mix-Verlusten (s. PRÖPSTER 2015, S. 31). Taktzeitverluste haben ihren Ursprung in der Vielzahl der variantenspezifischen durchführbaren Montageoperationen und der dadurch suboptimalen Verteilung der Arbeitsinhalte auf die Stationen (s. SWIST 2014, S. 22). Modell-Mix-Verluste sind von KOETHER definiert als „[...] die Aufwendungen für Über- und Unterlastungen [...]“ an der Montagestation bei „[...] unterschiedlichen Vorgabezeiten der Werkstücke [...]“ (s. KOETHER 1986, S. 16). Diese ergeben sich aus der spezifischen Reihenfolge, in welcher die Aufträge aufgelegt werden. Auch wenn die Reihenfolgeplanung oftmals lediglich als notwendiger Zwischenschritt betrachtet wird und Empfehlungen für die Gestaltung der Auftragsabwicklung die Minimierung der Restriktionen für die Produktionsreihenfolge beinhalten (s. MEIßNER 2009, S. 139 – 140; COPACIU 2013, S. 159 – 160), ist die Ausgestaltung dieses Planungsschritts aufgrund der hohen Implikationen auf die Stabilität und Robustheit des Materialflusses entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Variantenfließfertigung.

Eine vergleichende Studie zur Auftragsabwicklung deutscher und japanischer Automobilhersteller kommt zu dem Ergebnis, dass sich die eingesetzten Verfahren der Reihenfolgeplanung in den letzten zehn Jahren kaum geändert haben (s. STÄBLEIN U. AOKI 2015). Dem steht eine Vielzahl von Forschungsarbeiten aus der Operations-Research gegenüber. Einen Überblick liefern BOYSEN ET AL. die festhalten, dass ein theoretischer und empirischer Forschungsbedarf zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Ansätzen der Reihenfolgeplanung und den Implikationen selbiger auf die betriebliche Praxis existiert (s. BOYSEN ET AL. 2009b, S. 367).

Insbesondere vor dem Hintergrund der anhaltenden Bestrebungen zur Steigerung der Flexibilität von Produktionssystemen durch Anpassung der Produktstruktur und Wertschöpfungsketten steigt die Komplexität bei der Bildung einer wirtschaftlichen Produktionsreihenfolge. So geht zwar mit der Einführung einer modularen Produktarchitektur eine Reduzierung der Variantenvielfalt einher, allerdings werden derartige Konzepte auch genutzt, um die Standortflexibilität zu erhöhen. Hierunter wird die Möglichkeit verstanden, auf Nachfrageschwankungen durch Anpassung des Modell-Mix zu reagieren (s. LEMKE 2013, S. 17). BMW erwartet, neben Kosteneinsparungen bei der Entwicklung, auch eine Steigerung der Flexibilität durch die Produktion von Fahrzeugen mit verschiedenen Antriebskonzepten auf einer Montagelinie (s. HARALD KRÜGER 2017). Diese Bestrebungen führen nicht zwangsläufig zu einer Reduzierung der Modell-Mix-Verluste, sondern erhöhen im Gegenteil u. U. die Planungskomplexität zusätzlich.

Bei näherer Betrachtung der betrieblichen Praxis und dem Vergleich mit wissenschaftlichen Erkenntnissen ergibt sich ein widersprüchliches Bild: Den zahlreichen Modellerweiterungen und Heuristiken zur Lösung der Reihenfolgeplanung stehen in der Praxis häufig pragmatische Ansätze gegenüber, welche mehrere Modellierungsaspekte zu einer regelbasierten Reihenfolgeplanung verbinden (s. FLEXIS AG 2020b; PSI FLS FUZZY LOGIK & NEURO SYSTEME GMBH 2017; CONSILIO GMBH 2020; SAP DEUTSCHLAND SE & Co. KG 2017a; TAKTIQ GMBH & Co. KG 2020). Diese Lösungen

sind aus den vielfältigen Kundenanforderungen entstanden und erfahren fortwährend Anpassungen. Bisher fehlt es jedoch sowohl an einer funktionalen als auch prozessualen Beschreibung der Reihenfolgeplanung für die Sicherstellung standardisierter und robuster Prozessabläufe im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung. Erschwerend kommen die teilweise in Konflikt stehenden Zielstellungen der verschiedenen Verfahren der Reihenfolgeplanung hinzu. BOYSEN ET AL. halten fest, dass die Auswahl eines Ansatzes in Ermangelung einer kostenseitigen Bewertungsmethodik zur „Philosophiefrage“ wird (s. BOYSEN ET AL. 2007b, S. 39). Auch hier fehlt es an praktischen Empfehlungen auf Basis eindeutig beschreibbarer Eigenschaften der Variantenfließfertigung.

Die Gestaltung der Auftragsabwicklung geschieht in der Praxis abgeleitet aus Erfahrungswissen und der Kombination und Anpassung verschiedener Konzeptbausteine. Eine zielgerichtete Prozessgestaltung der Reihenfolgeplanung als Teil der Produktionsplanung und -steuerung erfordert neben einer systematischen Vorgehensweise entsprechende Referenzmodelle als Orientierungshilfe. Allerdings mangelt es hierfür an wissenschaftlich fundierten und differenzierten Modellen.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Das übergeordnete Ziel der Dissertationsschrift ist die Optimierung der Reihenfolgeplanung als Teil der operativen Produktionsplanung für die Variantenfließfertigung durch eine effiziente und zielorientierte Prozessgestaltung. Der Fokus der Arbeit liegt auf bestehenden, praxisrelevanten Lösungsverfahren für material- und kapazitätsorientierte Ansätze der Reihenfolgeplanung. Eine korrekte und anwendungsfallgeeignete Ausgestaltung der Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung der logistischen Zielsetzung der Variantenfließfertigung birgt Potenziale zur Reduzierung der Produktionskosten und Bestände. Für die Prozessgestaltung sollen dabei die unterschiedlichen Entwicklungsstufen der Variantenfließfertigung im Hinblick auf damit verbundene organisatorische und produktionslogistische Konzepte in ein Referenzmodell überführt werden. Dieses liefert standardisierte Prozessbeschreibungen und fasst so theoretische Erkenntnisse und praktisch validierte Best Practices zusammen. Durch die Überführung der Erkenntnisse in ein praktikables Vorgehen werden die erarbeiteten Erkenntnisse schließlich anwendbar und können in der betrieblichen Praxis umgesetzt werden. Das hierbei entwickelte Vorgehen fügt sich dabei in die typische Projektstruktur von Optimierungsprojekten ein. Hiermit soll auch ein Beitrag für die Gestaltung der Reihenfolgeplanung außerhalb der Automobilindustrie geleistet werden, in welcher diese Form der Fertigungsorganisation stark verbreitet ist.

In dieser Dissertationsschrift wird daher ein Vorgehen entwickelt, welches Unternehmen mit einer Variantenfließfertigung sowohl für die Prozessgestaltung als auch die operative Durchführung ein Vorgehen an die Hand gibt, mit dem sich die Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung der unternehmensspezifischen Gegebenheiten systematisch konfigurieren lässt. Ergänzend können die

Erkenntnisse auch zur Erweiterung des Funktionsumfangs für betriebliche Anwendungssysteme zur Produktionsplanung und -steuerung genutzt werden. Aus dieser Zielsetzung leitet sich für das Forschungsvorhaben folgende Forschungsfrage ab:

Wie gestaltet sich die Konfiguration – das heißt die Auswahl des richtigen Verfahrens, der Zielfunktion und die Ermittlung der Planungsparameter – der Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage sollen folgende Unterforschungsfragen beantwortet werden:

- *Wie lässt sich die Variantenfließfertigung vor dem Hintergrund der Vielfalt der Modelle und Verfahren für die Reihenfolgeplanung hinreichend genau beschreiben?*
- *Welches sind Typen oder Merkmale der Variantenfließfertigung, die einen Rückschluss auf die Notwendigkeit und das am besten geeignete Verfahren zur Reihenfolgeplanung für die Variantenfließfertigung zulassen?*
- *Wie sind die Parameter in Abhängigkeit von Merkmalen und der Zielstellung der Reihenfolgeplanung idealerweise zu bestimmen?*
- *Wie lassen sich Reihenfolgen für die unterschiedlichen Typen der Variantenfließfertigung in Form einer Zielfunktion bewerten?*

1.3 Forschungskonzeption

Das vorliegende Dissertationsvorhaben befasst sich mit einer Fragestellung aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften. Für die wissenschaftstheoretische Einordnung wird der Ansatz von ULRICH U. HILL gewählt. Diese unterteilen die Wissenschaft in Formal- und Realwissenschaft (s. ULRICH U. HILL 1976a, S. 305 – 306). Bei der Formalwissenschaft werden abstrakte, nicht real existierende Objekte und ihre wechselseitigen Beziehungen zueinander untersucht. Hierunter fallen u. a. die Logik und die Mathematik. Können keine logischen Widersprüche aufgezeigt werden, gilt die Richtigkeit der wissenschaftlichen Aussage als bewiesen. Hingegen verfolgt die Realwissenschaft das Beschreiben, Erklären und Gestalten empirisch wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte (s. ULRICH U. HILL 1976a, S. 305 – 306). Sie lässt sich in Grundlagen- und Handlungswissenschaft unterteilen. Zu den Grundlagenwissenschaften zählen die gemeinhin als Naturwissenschaften bekannten Disziplinen wie Biologie, Chemie und Physik. Handlungswissenschaften wiederum fokussieren den Menschen als Individuum und Gesellschaft. Hierunter fallen auch die Betriebswissenschaften. Die Ingenieurwissenschaft stellt eine Schnittmenge aus der Grundlagen- und der angewandten Handlungswissenschaft dar (s. ULRICH U. HILL 1976a, S. 305).

Die vorliegende Arbeit umfasst Fragestellungen der Ingenieurwissenschaften, der Betriebswirtschaftslehre und der Wirtschaftsinformatik. Wie bereits dargelegt, ist erstere den angewandten Handlungswissenschaften zuzuordnen. Hierbei werden technisch