

Entwicklung einer aggregierten Produktionsprogrammplanung unter Kapazitätsrestriktionen mittels Methoden der Mehrzieloptimierung

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M.Sc.)“ im Studiengang
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der
Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Schulze
Vorname: Rabea



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Ort, den* Hohne, 27.03.2019
*(Datum der Beendigung der Arbeit)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Abstrakt	xi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Relevanz der Thematik	1
1.2 Zielstellung und wissenschaftliche Vorgehensweise	2
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Produktion im Automobilbau	5
2.1.1 Klassifizierung der Automobilfertigung	5
2.1.2 Historie	13
2.1.3 Aufbau einer Fabrik	15
2.1.4 Aktuelle Herausforderungen	18
2.2 Hierarchische Produktionsplanung	20
2.2.1 Sukzessivplanung	22
2.2.2 Horizontale und vertikale Koordination	25
2.2.3 Strategische Planung	27
2.2.4 Taktische Planung	28
2.2.5 Operative Planung	31
2.3 Aggregierte Produktionsprogrammplanung	33
2.3.1 Aufgaben und Ziele	33
2.3.2 Methoden	40
2.4 Operations Research	42
2.4.1 Exakte Optimierungsmethoden	43
2.4.2 Heuristische Methoden	45
2.4.3 Mehrzieloptimierung	45
2.4.4 Nutzen in der Praxis	48
3 Entwicklung eines Optimierungsmodells zur aggregierten Produktionsprogramm-	50
planung	
3.1 Forschungsüberblick	50
3.2 Ableitung relevanter Zielstellungen	55
3.3 Modellformulierung	56
3.3.1 Anforderungen	56
3.3.2 Notation	59

3.3.3	Erläuterung	61
4	Numerische Untersuchung	69
4.1	Vorstellung des Praxispartners	69
4.1.1	Unternehmensdaten Volkswagen AG	69
4.1.2	Produktionsstruktur Volkswagen PKW in Wolfsburg	70
4.2	Konzeption der Testszenarien	71
4.2.1	Parameterdaten	72
4.2.2	Ableitung der Zielwerte für Zielprogrammierung	74
4.3	Benutzeroberfläche und Untersuchungseinstellungen von IBM CPLEX Orga- nization Studio	78
5	Kritische Würdigung	80
5.1	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	80
5.1.1	Verifizierung der Allgemeingültigkeit	80
5.1.2	Verifizierung der Praktikabilität	82
5.1.3	Verifizierung einer dominanten Methode der Mehrzieloptimierung	84
5.2	Implikationen für die Praxis	86
5.3	Limitationen und Handlungsempfehlungen	88
6	Fazit	91
6.1	Zusammenfassung	91
6.2	Ausblick	92
	Literatur	94
	Anhang	99
A	Heuristische Methoden	99
B	Kennzahlen und Begrifflichkeiten der Stablen Produktion	103
C	Spezialisierungsstufen kundenindividueller Fahrzeuge	106
D	Kundenauftragsprozess	107
E	Das Entscheidungsunterstützungssystem	108
F	Wertebereiche der Modellbestandteile	109
G	Diskussion der Hypothesen	110
H	Implementierung in IBM Optimization Studio	112

1 Einleitung

1.1 Motivation und Relevanz der Thematik

„Viele Unternehmen stehen mit der digitalen Entwicklung vor der Herausforderung, Prozesse [...] automatisieren zu müssen. [...] Idealerweise werden mögliche Szenarien in einer Simulation durchgespielt.“¹

Auch die Automobilindustrie steht zahlreichen Herausforderungen im Hinblick auf das Thema Digitalisierung gegenüber. Insbesondere in den letzten Jahren verschärfte sich der Wettbewerbsdruck aufgrund von politisch und wirtschaftlich globalen Umwälzungen zunehmend.² Politische Differenzen, wie der derzeit drohende Brexit oder die Diskussion um amerikanische Strafzölle für europäische Autoimporte, wirken sich in großem Maße auf die Automobilbranche aus. Gleichzeitig erhöht der steigende Wettbewerbsdruck die Kaufkraft des Kunden. In Kombination mit dem Wunsch nach vielseitigen Individualisierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Fahrzeugkonfiguration sowie dem gleichzeitigen Verlangen eines optimalen Preis-Leistungs-Verhältnisses ergeben sich signifikante Änderungen im Prozess der automobilen Wertschöpfung.³ Die traditionell auf eine Massenfertigung ausgerichtete Branche muss sich zusehends auf eine steigende Produkt- und Variantenvielfalt einstellen. Gleichzeitig geht damit ein verkürzter Produktlebenszyklus einher, der die Hersteller gar erst dazu befähigt, die ständig wachsende und wechselnde Kundennachfrage zu bedienen.⁴ Daraus lassen sich einerseits sinkende Stückzahlen pro Fahrzeugmodell sowie die Notwendigkeit ableiten, die Fertigungskapazitäten unter zusätzlichen Fahrzeugmodellen aufzuteilen. Andererseits besteht der Bedarf, die ständig fluktuierende Nachfrage im Rahmen der Produktionsprogrammplanung innerhalb der vorliegenden Restriktionen der Produktionsstätte einplanen zu können. Restriktionen treten in Form von Fertigungskapazitäten und technischen Fabrikstrukturen auf. Insbesondere bei volumenstarken Produktionssystemen, deren Wertschöpfungskette erheblichen internen und externen Wechselwirkungen ausgesetzt ist, wird eine praxistaugliche Entscheidungsunterstützung in Bezug auf die aggregierte Produktionsprogrammplanung (APPP) benötigt. Zur Sicherung des langfristigen Unternehmenserfolges ist es daher unumgänglich, die aktuellen Prozesse der APPP kritisch zu hinterfragen und mit Hilfe von geeigneten Methoden zu verbessern. Die Resultate sollen sowohl eine effiziente Nutzung der Produktionsressourcen im Rahmen der tatsächlichen Fertigung als auch eine nachweisbare Steigerung der Produktivität und spürbare Reaktionsfähigkeit im Hinblick auf das Vorgehen der Programmplanung sicherstellen.

¹o.V. (2018): Wie die Logistikbranche die Digitalisierung verschläft (Stand 27.07.18), <https://www.produktion.de/trends-innovationen/wie-die-logistikbranche-die-digitalisierung-verschlaeft-103.html> [online aufgerufen am 20.02.19].

²Vgl. Shahrestani et al. (2013), S. 1016.

³Vgl. ebd., S. 1016, Vgl. Grinninger (2012), S. 18ff.

⁴Vgl. Dörmer (2013), S. 2., Vgl. Argoneto et al. (2008), S. 1.

1.2 Zielstellung und wissenschaftliche Vorgehensweise

Wie bereits angesprochen, stellen die fortschreitende Digitalisierung sowie der Wunsch nach größerer Individualisierungsmöglichkeit seitens der Kunden die Automobilindustrie vor zunehmend wachsende Herausforderungen. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Arbeit, ein mathematisches Entscheidungsmodell aufzustellen, das den Vorgang der aggregierten Produktionsprogrammplanung abbildet. Genauer gesagt, soll der Modelloutput angeben, welche Magnitude die Soll-Stückzahlen der verschiedenen Modelle auf den jeweiligen Fließlinien in allen Kalenderwochen des betrachteten Planungshorizontes innehaben. An dieser Stelle werden diverse Rahmenbedingungen, wie beispielsweise die verfügbaren Kapazitäten der Fließlinien, in das Modell einbezogen. Wichtig hervorzuheben ist jedoch, dass das Optimierungsmodell nicht ausschließlich für die Fabrikstruktur eines Automobilherstellers gelten soll, im Rahmen derer es in dieser Ausarbeitung getestet wird, sondern grundsätzlich für diverse Fabrikstrukturen gültig ist. Darüber hinaus soll das Modell auf verschiedene Branchen der produzierenden Industrie übertragbar sein. Daraus ergibt sich die folgende Hypothese:

H1: „Das entwickelte Optimierungsmodell ist für Anwendungsszenarien der aggregierten Produktionsprogrammplanung unabhängig von der Parameterwahl allgemeingültig.“

Des Weiteren soll das Entscheidungsmodell einen konkreten Nutzen im Vergleich zu der aktuellen Planungsmethodik liefern. Diesbezüglich könnte sowohl eine grundsätzliche Arbeitserleichterung als auch eine gesteigerte Planungsqualität erreicht werden. Ein konkreter Anwendungsfall würde beispielhaft mit der spontanen Integration zusätzlicher Anforderungen seitens des Managements vorliegen. In diesem Zusammenhang muss sichergestellt werden, dass sich die Rechenzeiten (RZ) der einzelnen Modelldurchläufe in einem adäquaten Rahmen befinden. Vor diesem Hintergrund lässt sich die folgende Annahme ableiten:

H2: „Ungeachtet der Parameterdetermination ist das Optimierungsmodell für die betrachtete Produktionsstruktur praktikabel einsetzbar.“

Da das Entscheidungsproblem der aggregierten Produktionsprogrammplanung nicht nur eine singuläre Zielstellung (ZS) betrachtet, sondern eine parallele Verfolgung diverser Zielstellungen notwendig ist, wird eine Mehrzieloptimierung modelliert. Dazu werden die Methoden der gewichteten Summe und des Goal Programmings genutzt. Um letztendlich für die Anwendung in der Praxis eine der beiden Methodiken auswählen zu können, wird im Rahmen der numerischen Untersuchung die folgende Hypothese geprüft:

H3: „In diesem Betrachtungsrahmen liegt eine eindeutig dominante Methode der Mehrzieloptimierung vor.“

Diese drei Hypothesen gilt es im Verlauf der Arbeit vor dem Hintergrund der Anwendungsorientierung dieser Ausarbeitung zu untersuchen.

Zu diesem Zweck werden im zweiten Kapitel zunächst die theoretischen Grundlagen vermittelt, die notwendig sind, um das Umfeld der Automobilproduktion zu verstehen sowie das Verständnis für das später folgende Entscheidungsmodell zu schärfen. Außerdem erfolgt in diesem Zusammenhang die Eingrenzung des Betrachtungsbereichs. Dazu wird beginnend mit Hilfe einer morphologischen Klassifizierung die Automobilproduktion in den Gesamtverbund produzierender Industrien eingeordnet und anschließend mit grundlegenden historischen sowie strukturellen Hintergrundinformationen untermauert. Damit wird sichergestellt, das reale Entscheidungsproblem, auf dem das später resultierende Optimierungsmodell basiert, korrekt verstanden zu haben. Im Anschluss daran erfolgt die Einführung in die Thematik der hierarchischen Produktionsplanung. In diesem Kontext wird detailliert auf die Aufgaben und Ziele der aggregierten Produktionsprogrammplanung eingegangen, da dieses Feld den Betrachtungsbereich des nachfolgenden Optimierungsmodells widerspiegelt. Abschließend werden in Kapitel 2 ausgewählte Methoden des Operations Research vorgestellt, die als Basis für die Formulierung des mathematischen Optimierungsmodells dienen sowie aufzeigen sollen, wieso eine bestimmte Art der Modellierung gewählt wurde. An dieser Stelle wird außerdem der Nutzen der Verwendung von Methoden des Operations Research in der Praxis hervorgehoben.

Die Entwicklung und Erläuterung des Entscheidungsmodells folgt in Kapitel 3, nachdem der aktuelle Forschungsstand anhand einer Literaturanalyse nach Webster und Watson (2002) herausgearbeitet wurde. Es werden zwei verschiedene Zielfunktionen (ZF) hinsichtlich der Mehrzieloptimierung aufgestellt, eine für die Methode der gewichteten Summe und eine für das Goal Programming. Im Rahmen des vierten Kapitels wird der kooperierende Praxispartner kurz vorgestellt, um daraus folgend die Konzeption der Testszenarien des Optimierungsmodells vorzunehmen. In Kapitel 5 werden die Untersuchungsergebnisse diverser Modelldurchläufe kritisch diskutiert sowie im Hinblick auf die soeben aufgestellten Hypothesen getestet. Zur Verifizierung der Fragestellungen wird nach einer deduktiven Vorgehensweise gehandelt. Dabei wird eine allgemeine Theorie mit Hilfe von empirischen Erkenntnissen untersucht und bewertet. Popper (2002) zufolge gibt es im Rahmen der Erkenntnislogik vier verschiedene Arten der deduktiven Prüfung, um Hypothesen zu begutachten:

- logischer Vergleich von Folgerungen,
- Untersuchung der logischen Form,
- Vergleich mit anderen Theorien und
- empirische Anwendung.

Grundsätzlich bedeutet eine Verifikation bei allen vier Varianten, dass die Prüfung vorläufig bestanden ist. Eine Falsifikation liegt bei einer nicht bestandenen Prüfung vor. Die

Falsifizierung betrifft in der Folge das gesamte untersuchte System. Im Rahmen des logischen Vergleichs wird die aufgestellte Theorie auf Widerspruchslosigkeit geprüft, während die Untersuchung der logischen Form auf die Frage abzielt: „Ist die Theorie empirisch-wissenschaftlich?“. Ein Vergleich mit anderen Theorien soll darüber Auskunft geben, welche Theorie mehr beziehungsweise detailliertere Vorhersagen für den betreffenden Sachverhalt liefert. Die empirische Anwendung prüft schließlich, ob die Theorie sich in der Praxis bewährt.⁵ Da in dieser Ausarbeitung ein Test des mathematischen Optimierungsmodells im Rahmen verschiedener Szenarien erfolgt, wird von der vierten Alternative Gebrauch gemacht. Des Weiteren wird im Rahmen der Testszenarien eine Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf unterschiedliche Parameter durchgeführt.

Basierend auf den Ergebnissen der multiplen Testreihen werden mögliche weitere Schritte für die Praxis vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf eine Überführung des mathematischen Modells in ein geeignetes Softwaretool eingegangen. Außerdem wird die Bedeutung des Change Managements im Kontext von Prozessveränderungen hervorgehoben. Weiterhin werden diverse Limitationen des Modells aufgezeigt sowie Handlungsempfehlungen im Hinblick auf eine Modellerweiterung beziehungsweise -veränderung abgegeben. Das letzte Kapitel fasst die Ergebnisse dieser Ausarbeitung zusammen, bevor ein Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder des Operations Research (OR) im Kontext der aggregierten Produktionsprogrammplanung und bevorstehende Trends im Umfeld der Automobilindustrie gegeben wird.

⁵Vgl. Popper (2002), S. 10ff.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung

Aufgrund des ansteigenden Wettbewerbsdrucks innerhalb der Automobilproduktion ist es mehr denn je notwendig, eine optimale aggregierte Produktionsprogrammplanung zu garantieren und somit Kapazitätsverschwendungen zu vermeiden. Zum einen treiben die zunehmenden Individualisierungswünsche der Kunden die Veränderung der Automobilbranche voran. Zum anderen verursachen sowohl die zusätzlichen Belastungen, die aus wirtschaftlichen und politischen Ungewissheiten bestehen, als auch die Verschiebung der wichtigsten Absatzmärkte in Richtung China und Schwellenländer einen enorm hohen Wettbewerbsdruck innerhalb der Branche. Aus diesem Grund ist es das Ziel dieser Arbeit, eine Entscheidungsunterstützung für das Planungsproblem der APPP zu liefern, die eine optimale Nutzung der vorhandenen Produktionskapazitäten ermöglicht. Dazu ist ein Optimierungsmodell aufgestellt worden, das im späteren Verlauf im Rahmen einer numerischen Untersuchung auf drei verschiedene Hypothesen getestet wurde, die an dieser Stelle in Kurzform aufgelistet sind:

- H1: Allgemeingültigkeit
- H2: Praktikabilität
- H3: Dominante Methode der Mehrzieloptimierung

Bevor jedoch das entsprechende mathematische Modell formuliert wurde, erfolgte die Einführung in die Automobilindustrie mittels einer morphologischen Klassifizierung. Daraufhin wurden die Grundlagen der hierarchischen Produktionsplanung und des Operations Research dargelegt, um mit Hilfe des theoretischen Wissens und den notwendigen Modellanforderungen schließlich ein Entscheidungsmodell aufzustellen. Das Modell wurde in der Folge auf die drei soeben genannten Hypothesen getestet.

Die Testergebnisse zeigen eine Verifizierung der Hypothesen, die sich auf Allgemeingültigkeit sowie Praktikabilität beziehen. Dabei kann die Allgemeingültigkeit jedoch nur bedingt bestätigt werden, da zum einen für den Glättungsfaktor, der die Stabilität betrifft, ausschließlich Lösungen für den GF größer 0,3% bestehen und zum anderen das Optimierungsmodell lediglich für den Fertigungsbereich 1 der vorliegenden Fabrikstruktur getestet wurde. Es wird daher empfohlen, eine ausgeweitete Testphase zu starten, in der sowohl verschiedene Kapazitäts- als auch Bedarfsszenarien untersucht werden. Hypothese H3, die die Existenz einer dominanten Methode der Mehrzieloptimierung postuliert, konnte nicht bestätigt werden. Dennoch wird die Empfehlung ausgesprochen, die Methode des Goal Programmings zur Modellierung der multiobjektiven Zielfunktion zu nutzen, da sie im Vergleiche zu der gewichteten Summe weniger anfällig für Verzerrungen aufgrund subjektiver Einflüsse ist.

6.2 Ausblick

Durch die Verifizierung der ersten beiden Hypothesen wurde die Güte des Modells bewiesen. Dennoch gibt es Aspekte, die im Kontext zukünftiger Forschungen behandelt werden könnten. Auf der einen Seite plant das vorliegende Optimierungsmodell die Kapazitäten auf Tagesbasis ein. Dabei liegt der Ausgangspunkt stets in einer 3-Schicht-Fahrweise der Fertigungsstätte. Aufgrund der genannten Herausforderungen kann es zukünftig auch zu Veränderungen der Schichtmodelle kommen, sodass es von Interesse ist, eine Kapazitätsausplanung auf Schichtbasis zu modellieren. Darüber hinaus würde im Hinblick auf die Mehrzieloptimierung mittels Goal Programming eine Formulierung der Zielstellungen in prozentualen Anteilen ein besseres Verständnis und somit eine intuitivere Ableitung der Zielwerte für das GP ermöglichen. Die Umsetzung dieses Aspektes ist im Rahmen einer linearen Programmierung nicht möglich, sodass eine quadratische Programmierung in Betracht gezogen werden müsste. Ein anderer interessanter Ansatz wäre die Modellierung des Planungsproblems mit Hilfe einer Produktionswechselheuristik, die auf Basis eines bestehenden Szenarios eine möglichst geringe Abweichung in der zu ermittelnden Lösung verfolgt.

Mit großer Wahrscheinlichkeit wird sich in zukünftigen Jahren die Nachfrage nach Automobilen grundlegend verändern und zusätzlich dazu signifikant abnehmen. Das liegt insbesondere an den zunehmend beim Autokauf wichtigen Faktoren Neo-Ökologie, Individualisierung und Mobilität. Im Sinne der Neo-Ökologie achten Kunden gezielt auf die Nachhaltigkeit der Produkte, die sie kaufen. Es werden vermehrt Produkte ausgewählt, die Umweltbewusstsein verkörpern und eine ausgeglichene oder gar positive CO₂-Bilanz aufweisen. Auch der staatliche Sektor geht diesem Faktor beispielsweise durch staatliche Förderungsinstrumente bei Dienstwagen oder der Erneuerung der öffentlichen Flotten nach. Die CO₂-Grenzwerte aus den Klimaschutzziele stellen vor allem in Kombination mit den Stickoxid (NO_x)-Grenzwerten eine große Herausforderung für die OEM dar. Während mit Benzin betriebene Fahrzeuge im Hinblick auf die NO_x-Werte besser abschneiden, liegt dieselbe Tatsache für mit Diesel betriebene Fahrzeuge hinsichtlich der CO₂-Werte vor. Daraus entsteht im Kontext der Flotten-Grenzwerte für die Automobilhersteller der stetig steigende Druck, in kurzer Zeit eine Vielzahl an elektrifizierten Fahrzeugmodellen anzubieten. Diese Fahrzeuge sind aktuell vor allem durch die enthaltene Batterietechnologie in der Herstellung vergleichsweise kostenintensiv. Daraus abgeleitet entsteht die Frage: Wird es zukünftig einen Zusammenschluss deutscher OEM zum Thema Batteriezellenfertigung geben?

Darüber hinaus gewinnt die Individualisierung für den Kunden zunehmend an Bedeutung. Passend zu den individuellen Lebenskonzepten hegen Kunden den Wunsch nach individuellen Fahrzeugkonzepten.²⁰⁷ Die Fertigungskomplexität innerhalb tendenziell starrer Fa-

²⁰⁷Vgl. Winterhoff et al. (2009), S. 3.

brikstrukturen wird folglich weiterhin anwachsen. Des Weiteren wächst das Interesse an alternativen und spezifischen Mobilitätskonzepten. Der aufsteigende Trend von Car- und Ride-Sharing sorgt zusätzlich für eine sinkende Nachfrage nach Automobilen. Mit Hilfe von geeigneten Mobilitätskonzepten ist es außerdem in Bezug auf den Faktor Neo-Ökologie möglich, das Verkehrsaufkommen und somit auch die Verschmutzung durch Automobile zu verringern.²⁰⁸

In Zukunft muss die Automobilindustrie folglich dafür gewappnet sein, Eigenschaften wie Nachhaltigkeit, Individualität und optimierte Kostenposition in den Vordergrund zu stellen, statt den Fokus auf Merkmale wie Motorisierung oder Luxus zu legen.²⁰⁹

Im Hinblick auf die soeben dargelegten zukünftigen Herausforderungen der Automobilindustrie wird die Rolle einer optimalen aggregierten Produktionsprogrammplanung künftig weiterhin an Bedeutung gewinnen. Zum jetzigen Zeitpunkt werden vor allem Planungsprobleme der operativen Ebene mit Hilfe von Methoden des Operations Research gelöst. Dabei wird insbesondere die Reihenfolgeplanung fokussiert. Aufgrund des stetig steigenden Wettbewerbsdrucks, der unmittelbar aus hohen Investitionsaufwänden für die Umsetzung von Strategien im Hinblick auf die Elektromobilität und der gleichzeitig sinkenden Gesamtnachfrage nach Automobilen resultiert, benötigen die OEM in Zukunft geeignete Hilfsmittel, um eine optimierte Planung auf allen Planungsebenen sicherstellen zu können. Daher wird in absehbarer Zeit sowohl die taktische als auch die strategische Ebene der hierarchischen Produktionsplanung in den Fokus der Modellierung mittels Methoden des Operations Research rücken. Insbesondere die Planungsprobleme Werkbelegung sowie aggregierte Produktionsprogrammplanung werden vermehrt in eine detaillierte Betrachtung der betroffenen Unternehmen gelangen. Schwierigkeiten könnten aufgrund der Komplexität in Bezug auf die Praktikabilität der Entscheidungsmodelle aufkommen. Wie bereits angesprochen, ist es notwendig, dass die genutzte Optimierungssoftware innerhalb kürzester Zeit eine Lösung für das formulierte Problem bereitstellt. Daher muss das Bewusstsein geschärft sein, dass ein Tradeoff zwischen Duality Gap und Rechenzeit besteht. Absehbar ist, dass häufig die Rechenzeit bevorzugt wird und somit die Lösungsqualität des Modells in einem bestimmten Maß darunter leidet. Vor dem Hintergrund, dass das formulierte Optimierungsmodell eine kurzfristige und vor allem alltagstaugliche Entscheidungshilfe liefern soll, ist dieser Umstand jedoch ohne Einschränkungen akzeptabel.

²⁰⁸Vgl. Mortsiefer (2019), (Stand 04.01.2019), <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/autoindustrie-2019-abfahrt-ins-ungewisse/23825672.html> [online aufgerufen am 02.03.2019].

²⁰⁹Vgl. Winterhoff et al. (2009), S. 9.