

„Integrierte Produktions- und Personalplanung auf parallelen Produktionslinien in
der Automobilindustrie“

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften

vorgelegt von

Claas Hemig
aus Dorsten

genehmigt von der Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung: 29.07.2010

Vorsitzende der Promotionskommission: Prof. Dr. rer. pol. Inge Wulf
Hauptberichterstatter: Prof. Dr. rer. pol. Jürgen Zimmermann
Mitberichterstatter: Prof. Dr. rer. pol. Christoph Schwindt

Dissertation Technische Universität Clausthal, 2010

D 104

Berichte aus der Betriebswirtschaft

Claas Hemig

**Integrierte Produktions- und Personalplanung
auf parallelen Produktionslinien
in der Automobilindustrie**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9545-5

ISSN 0945-0696

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wirtschaftswissenschaft der TU Clausthal in der Abteilung für BWL und Unternehmensforschung. Das behandelte Forschungsthema ist Inhalt einer Kooperation mit dem Forschungszentrum Ulm der Daimler AG und der Universität Paderborn.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Jürgen Zimmermann, der mir zum einen den zeitlichen Freiraum zur intensiven Forschung gegeben hat, zum anderen durch inhaltliche Anregungen und intensive Diskussionen zum Gelingen des Forschungsvorhabens beigetragen hat. Für die Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Prof. Dr. Christoph Schwindt recht herzlich. Meinen Kollegen am Institut für Wirtschaftswissenschaft und bei der Daimler AG danke ich für die freundschaftliche und vertrauensvolle Zusammenarbeit sowie für vielfältige thematische Diskussionen.

Meinen Corpsbrüdern danke ich für die zahlreichen und intensiven Freundschaften, zehn kurzweilige Jahre in Clausthal-Zellerfeld und unzählige Einblicke und Erfahrungen über den Tellerrand von Fachgebiet, Studium und Promotion hinaus. Meiner Familie, insbesondere meinen Eltern und meiner Schwester Imke, danke ich zutiefst für ihre stetige Unterstützung und Zuneigung während meines gesamten bisherigen Werdegangs, der das Fundament für die vorliegende Arbeit darstellt. Ganz besonders danke ich meiner Lebensgefährtin Constanze Kuck für ihre Liebe, ihr Verständnis und ihre Unterstützung während der Anfertigung dieser Dissertationsschrift und darüber hinaus. Ihr widme ich diese Arbeit.

Clausthal-Zellerfeld, im September 2010

Claas Hemig

Zusammenfassung

Flexibilität ist in der Automobilproduktion aufgrund der ständig wechselnden Rahmenbedingungen von großer Bedeutung und beinhaltet sowohl technische als auch arbeitsrechtliche Komponenten. Dazu gehören zum Beispiel die Wahl einer Produktionsgeschwindigkeit, die Möglichkeit des Mehrschichtbetriebs mit variablen Schichtlängen, Einstellungen und Entlassungen von Mitarbeitern sowie die Nutzung von Puffern begrenzter Kapazität. Um die Frage zu beantworten, wie viel Flexibilität nötig ist, um eine gegebene Nachfrage mehrerer Produkte über einen Zeitraum von einigen Monaten bis hin zu zwei Jahren zu befriedigen, wurde am Forschungszentrum Ulm der Daimler AG ein softwaregestütztes Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) entwickelt. Dieses EUS kann Vorschläge für die Nutzung der gegebenen Flexibilität einer einzelnen Produktionslinie sowohl monetär bewerten als auch mit Hilfe von Methoden des Operations Research entsprechende Lösungen hoher Qualität finden. Das EUS wurde dabei so gestaltet, dass es die produktionstechnischen Besonderheiten der drei Gewerke eines Automobilfabrikwerks – Rohbau, Lackierung und Endmontage – berücksichtigen und abbilden kann.

In vielen Automobilwerken finden sich aber mehrere, sog. parallele und inhomogene Produktionslinien in einem Gewerk, so dass das EUS konsequenterweise entsprechend erweitert werden sollte. So sollte es auch die Entscheidungen integrieren, welches Produkt auf welcher Linie in welchem Umfang produziert wird und in welchem Umfang Arbeitskräfte zwischen den Linien eines Werks verschoben werden, um gegenläufige Arbeitskräftebedarfsentwicklungen auszugleichen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese zusätzlichen Entscheidungsmöglichkeiten in das bestehende EUS zu integrieren und ein Verfahren zu entwickeln, das in akzeptabler Rechenzeit gute Lösungen für das Planungsproblem mit parallelen Linien findet. Eine unmodifizierte Anwendung des bisherigen Lösungsverfahrens auf mehrere Linien hätte eine Laufzeitsteigerung zur Folge gehabt, die exponentiell in der Anzahl der Linien ausgefallen wäre. Eine sequentielle Anwendung des bisherigen Verfahrens hingegen scheitert daran, dass bereits im Vorfeld aus exponentiell vielen möglichen Verteilungen der Nachfragemengen auf die einzelnen Linien eine ausgewählt werden muss, die erheblichen Einfluss auf die Lösungsqualität hat. Wir haben die Dynamische Optimierung als Grundidee des Lösungsverfahrens von Askar beibehalten und zunächst ähnliche Zustände, beispielsweise mit nahezu gleichen Belegschaftsgrößen, als „gleich“ betrachtet und damit die marginalen Unterschiede in den zusammengefassten Zuständen vernachlässigt [9]. Anschließend haben wir jede mögliche Entscheidung über die Produktionsgeschwindigkeiten und Schichtbetriebe aller Linien jeweils um eine einzige Entscheidung über die Produktionsmengen und Personalbestandsveränderungen ergänzt, anstatt alle zulässigen Entscheidungen diesbezüglich zu betrachten. Die Generierung dieser ausgewählten Ent-

scheidungen stellt die wesentliche Innovation dieser Arbeit dar. Für die Bestimmung der Produktionsmengen haben wir ein klassisches ausgeglichenes Transportproblem aufgestellt und gelöst, bei dem die Linien als Anbieter und die Produkte als Nachfrager von Produktionskapazität fungieren. In allen drei Gewerken wurden dazu die Einlassungsreihenfolge oder eine schichtgenaue Pufferbetrachtung als operative Aspekte bei der Erstellung des Transportproblems berücksichtigt beziehungsweise integriert. Die Höhe der Einstellungen, Entlassungen und Verschiebungen von Arbeitskräften wurde sowohl mit Hilfe einer Heuristik als auch mittels eines MILPs bestimmt.

Wir haben den entwickelten Ansatz in das EUS integriert und mit Hilfe geeigneter Testszenarien mit einer separaten Planung der einzelnen Linien verglichen, wobei die Zuordnung der Nachfragemengen zu den einzelnen Linien durch einen erfahrenen Produktionsplaner erfolgte. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass insbesondere für Probleminstanzen mit inhomogenen Mehrproduktlinien die simultane Planung der Produktionslinien mit integrierter Zuordnung der Nachfragemengen zu den einzelnen Linien durch das EUS in deutlich effizienterer Weise erfolgt als durch die sequentielle Anwendung des bisherigen Verfahrens. Der Kostenvorteil liegt durchschnittlich bei über 10%. Mit Hilfe des neuen Ansatzes ist es zudem möglich, Aussagen darüber zu treffen, welcher Flexibilitätstyp von geringer Priorität oder gar überflüssig ist und welcher Typ, zum Beispiel in Verhandlungen mit Betriebsräten und Gewerkschaften, besonders berücksichtigt werden sollte. Außerdem kann das Verfahren als Ausgangspunkt einer gewerkeübergreifenden Planung dienen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung und Forschungsbedarf	5
2.1. Aufbau eines Automobilaufbauwerks	5
2.2. Flexibilitätstypen in der Fertigung	10
2.3. Flexibilität in der Automobilproduktion	12
2.4. Hierarchische Produktionsplanung	19
2.5. Problemstellung	23
2.6. Bestehende Lösungsansätze	25
2.6.1. Personalplanung	27
2.6.2. Produktionsprozesse mit Puffern für Zwischen- und Endprodukte	28
2.7. Handlungsbedarf und Zielsetzung der Arbeit	29
3. Formale Beschreibung von Flexibilität in der Automobilproduktion	31
3.1. Schichtmodell, Arbeits- und Produktionszeit	31
3.2. Produktionsgeschwindigkeit	36
3.3. Arbeitskräftebedarf und Produktionskapazität	38
3.4. Deckung des Arbeitskräftebedarfs	40
3.5. Arbeitszeitkonto	43
3.6. Nachfrage, Produktion und Puffer	44
3.7. Startwerte	49
3.8. Zielfunktion	49
3.9. Zusammenfassende Darstellung	53
4. Optimierungsansatz	55
4.1. Basisansatz	55
4.2. Aggregation der Zustandsmengen	62
4.3. Exklusive Betrachtung ausgewählter Entscheidungen	65
4.3.1. Bestimmung der Mindestbelegschaftsgrößen in allen Perioden .	65
4.3.2. Preprocessing für einen gegebenen Zustand \mathbf{z}_{t-1}	67
4.3.3. Bestimmung von Schichtmodellen und Taktzeiten bzw. Konfigu- rationen	69
4.3.4. Bestimmung der Produktionsmengen und genutzten Schichten .	70
4.3.5. Einstellungen, Entlassungen, Verschiebungen und Arbeitszeitkonto	81
5. Testszenarien und Performanceanalyse	97

Inhaltsverzeichnis

6. Zusammenfassung und Ausblick	107
A. Modellierungstechniken	111
A.1. Linearisierung eines Produktes zweier Binärvariablen	111
A.2. Linearisierung eines Produkts zweier kontinuierlicher Variablen	111
A.3. Linearisierung eines Produkts einer kontinuierlichen und einer binären Variable	112
A.4. Approximative Linearisierung einer separablen Funktion	113
A.5. Linearisierung des Betrages einer Entscheidungsvariablen	113
A.6. Special Ordered Set 1	114
A.7. Special Ordered Set 2	114
A.8. Linearisierung von Indicator-Constraints	114
B. Ergänzungen zum Transportproblem	115
B.1. Bestimmung eines hinreichend großen Kostenwertes zur Blockierung be- stimmter Transportwege	115
Symbolverzeichnis	117
Literatur	129