

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Juristische und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Wirtschaftswissenschaftlicher Bereich

Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis- Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten

Taïeb Mellouli, Rolf Rogge, Mike Steglich



Beitrag Nr. 18

**Diskussionsbeiträge zu
Wirtschaftsinformatik und Operations Research**

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Mellouli, Taïeb; Rogge, Rolf; Steglich, Mike:

Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten - / Taïeb Mellouli; Rolf Rogge; Mike Steglich.

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Juristische und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Wirtschaftswissenschaftlicher Bereich.- Halle (Saale): Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2007.

Technische Fachhochschule Wildau, Fachbereich Wirtschaft, Verwaltung und Recht. (Diskussionsbeiträge zu Wirtschaftsinformatik und Operations Research; Beitrag Nr. 18)

ISSN: 1611-6879

ISBN: 978-3-86829-047-9

Schlagworte: Produktionsprogrammplanung, Preis-Absatzfunktionen, Lernkurveneffekte, nichtlineare Optimierung, ganzzahlige lineare Optimierung

Korrespondenzanschrift:

Prof. Dr. Rolf Rogge

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Juristische und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät

Institut für Wirtschaftsinformatik und Operations Research

06099 Halle (Saale)

Tel.: 0345 – 55 23 400

Fax: 0345 – 55 27 194

e-mail: rolf.rogge@wiwi.uni-halle.de

Homepage: [www:http://www.wiwi.uni-halle.de/rogge](http://www.wiwi.uni-halle.de/rogge)

Halle (Saale), 2008

Inhaltsverzeichnis

	INHALTSVERZEICHNIS	I
1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2	GRUNDMODELL ZUR BESTIMMUNG DES OPTIMALEN PRODUKTIONSPROGRAMMS	2
3	PRODUKTIONSPROGRAMMPLANUNG UNTER EINBEZIEHUNG VON PREIS-ABSATZ-FUNKTIONEN	4
	3.1 DAS COURNOT-MODELL ALS AUSGANGSPUNKT	4
	3.2 NICHTLINEARER MODELLANSATZ	5
	3.3 LINEARER MODELLANSATZ	6
4	PRODUKTIONSPROGRAMMPLANUNG UNTER EINBEZIEHUNG VON LERNKURVENEFFEKTEN	8
	4.1 ABBILDUNG VON LERNKURVENEFFEKTEN	8
	4.2 NICHTLINEARER MODELLANSATZ	11
	4.2.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen	12
	4.2.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen	13
	4.3 LINEARER MODELLANSATZ	14
	4.3.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen	14
	4.3.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen	16
5	PRODUKTIONSPROGRAMMPLANUNG UNTER EINBEZIEHUNG VON PREIS-ABSATZ-FUNKTIONEN UND LERNKURVENEFFEKTEN	18
	5.1 NICHTLINEARER MODELLANSATZ	18
	5.1.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen	18
	5.1.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen	19
	5.2 LINEARER MODELLANSATZ	20
	5.2.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen	20
	5.2.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen	21
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	22
	LITERATUR	24

1 Einleitung und Problemstellung

Eine der Managementaufgaben besteht im Treffen von Entscheidungen, wobei im Sinne der normativen Entscheidungstheorie ein reales Entscheidungsproblem in Form eines Entscheidungsmodells abzubilden und mit geeigneten Verfahren zu lösen ist.

Die Modellierung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme erfolgt im operativen und taktischen Bereich vielfach unter der Annahme linearer Kosten- und Erlösfunktionen. Dieser Sachverhalt ergibt sich in erster Linie aus den verwendeten Systemen der internen Unternehmensrechnung. So werden entscheidungsrelevante Kosten und Erlöse üblicherweise mit der Grenzkosten- und Grenzerlösrechnung geplant, wobei gemäß den Prämissen dieser Systeme alle Einflussgrößen bis auf die Produktions- bzw. Absatzmengen als konstant unterstellt werden.¹ Ein weiterer Grund für die Verwendung linearer Funktionsverläufe besteht darin, dass die Einbeziehung nichtlinearer Zusammenhänge vielfach zu Modellstrukturen führt, deren Lösbarkeit bei größeren Modelldimensionen als problematisch anzusehen ist.

Allerdings kann die Beschränkung auf lineare Erlös- und Kostenstrukturen zu einer zu vereinfachenden Modellierung der realen Entscheidungssituation führen, da die Absatzpreise und Stückkosten oft in nichtlinearen Zusammenhängen zu den Absatz- und Produktionsmengen stehen.² Exemplarisch lassen sich Preis-Absatz-Funktionen, Lernkurveneffekte, sprungfixe Kosten- bzw. Erlösverläufe und Variablenprodukte nennen.

In diesem Sinn besteht das erste Ziel dieser Arbeit in der Erarbeitung von Ansätzen zur Einbeziehung nichtlinearer Zusammenhänge in betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme. Da hinsichtlich der Behandlung sprungfixer Ergebniseffekte sowie von Variablenprodukten³ adäquate Ansätze existieren, werden in dieser Arbeit einzig Lernkurveneffekten bzw. Preis-Absatz-Funktionen als nichtlineare Kosten- bzw. Erlösverläufe betrachtet.

Dazu wird exemplarisch mit der Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms eines der klassischen Probleme der operativen bzw. taktischen Planung untersucht. Mit diesem Modell gilt es, die Produktionsmengen der einzubeziehenden Absatzproduktarten unter Beachtung der Beschaffungs-, Fertigungs- und Absatzrestriktionen deckungsbeitragsmaximierend zu bestimmen.⁴ In der Literatur existiert eine Anzahl von Modellen zur Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten⁵, die allerdings diese Effekte isoliert betrachten und weiterhin zum großen Teil als nichtlineare Optimierungs-

¹ Vgl. Ewert/Wagenhofer (2005), S. 548ff.

² Vgl. Hillier/Liebermann (2005), S. 548ff.

³ Vgl. Rogge/Steglich (2007).

⁴ Vgl. Küpper (2005), S. 166.

⁵ Vgl. Laarmann (2005), S. 65ff.; Liao (1979), S. 116ff.

modelle formuliert sind, deren numerische Lösbarkeit für reale Anwendungen problematisch erscheint.

In dieser Arbeit wird das Grundmodell der Produktionsprogrammplanung sukzessive um die Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten erweitert, wobei beide Effekte vorerst isoliert betrachtet und in einem weiteren Schritt in einem abschließenden Modell zusammengefasst werden. Als Preis-Absatz-Funktion wird idealtypisch von einer linearen Preis-Absatz-Funktion ausgegangen. Die Lernkurveneffekte beziehen sich einzig auf die Personalkapazitäten der die Produktion ausführenden Mitarbeiter. Diese Modellansätze stellen erhebliche Erweiterungen des Grundmodells der Produktionsprogrammplanung dar, für die allerdings als nichtlineare Entscheidungsmodelle die genannten Einschränkungen in der numerischen Lösbarkeit gelten. Um die Lösbarkeit dieser Modelle für größere Probleme sicherzustellen, werden in dieser Arbeit Linearisierungsansätze auf der Basis stückweiser linearer Funktionen vorgeschlagen.

Damit besteht das zweite Ziel dieser Arbeit in der Erarbeitung konkreter Linearisierungsansätze, mit denen diese nichtlinearen Modelle in lineare Modellansätze überführt werden können. Somit kann mit diesen Modellen aufgrund der Einbeziehung der Preis-Absatz-Funktionen und den Lernkurveneffekten die einschränkende Prämisse konstanter Parameter im Grundmodell der Produktionsprogrammplanung aufgegeben und durch die stückweise Linearisierungen dieser Funktionen die Anwendungsvorteile der linearen Optimierungsalgorithmen genutzt werden.

Da es mit den Ansätzen der internen Unternehmensrechnung aufgrund der Prämisse linearer Kosten- und Erlösverläufe nicht möglich ist, die nichtlinearen Effekte der Preis-Absatz-Funktionen sowie der Lernkurveneffekte abzubilden, stellt die stückweise Linearisierung dieser Effekte weiterhin einen Beitrag dar, derartige Effekte mit der Grenzkosten- und -erlösrechnung in angepasster Form zu planen und für die Lösung entsprechender Entscheidungsprobleme bereitzustellen.

2 Grundmodell zur Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms

Als Ausgangspunkt für die weiteren Ausführungen soll die Planung des optimalen Produktionsprogramms betrachtet werden. Dabei sind die Produktions- und Absatzmengen⁶ der Absatzprodukte eines Unternehmens unter Beachtung der durch strategische Entscheidungen gegebenen Beschaffungs-, Fertigungs- und Absatzpotentiale deckungsbeitragsmaximierend mit dem folgenden linearen Optimierungsmodell zu bestimmen.

⁶ Bei fehlender bzw. konstanter Lagerhaltung der Fertigerzeugnisse können die Produktions- und Absatzmengen gleichgesetzt werden.

$$GDB = \sum_{n=1}^N d_n \cdot x_n \quad \rightarrow \max! \quad (1)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N t_{kn} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (3)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (4)$$

mit

- GDB* - Gesamtdeckungsbeitrag
d_n - Stückdeckungsbeitrag der *n*-ten Absatzproduktart
x_n - Produktionsmenge der *n*-ten Absatzproduktart
t_{kn} - Zeitliche Inanspruchnahme des *k*-ten Arbeitsplatzes je Mengeneinheit der *n*-ten Absatzproduktart
T_k - maximal zur Verfügung stehende Personalkapazität des *k*-ten Arbeitsplatzes je Periode
a_{mn} - Produktionskoeffizient des *m*-ten Produktionsfaktors je Mengeneinheit der *n*-ten Absatzproduktart
b_m - Obergrenze des *m*-ten Produktionsfaktors

Indizes

- n* - Index der Absatzproduktarten, *n*=1(1)*N*
k - Index der Arbeitsplätze, *k*=1(1)*K*
m - Index der weiteren Produktionsfaktoren, *m*=1(1)*M*
N - Anzahl der Absatzproduktarten
K - Anzahl der Arbeitsplätze
M - Anzahl der weiteren Produktionsfaktoren

Da die Beanspruchung der Personalkapazitäten als spezieller Produktionsfaktor separat betrachtet werden soll, werden die Arbeitsplätze getrennt von den sonstigen Produktionsfaktoren *m* = 1(1)*M* ausgewiesen. Die Personalkapazitäten liegen in Form von Arbeitsplätzen *k* = 1(1)*K* vor, die von den einzelnen Absatzproduktarten zu durchlaufen sind. Hinsichtlich der an einem Arbeitsplatz tätigen Mitarbeiter wird angenommen, dass diese eine vergleichbare Qualifikation und homogene Fähigkeiten und Erfahrungen besitzen.

Für die weiteren Betrachtungen werden die Stückdeckungsbeiträge wie folgt spezifiziert:

$$d_n = p_n - k_n \quad (5)$$

mit

- p_n* - Absatzpreis der *n*-ten Absatzproduktart
k_n - direkte Stückkosten der *n*-ten Absatzproduktart

3 Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen

3.1 Das Cournot-Modell als Ausgangspunkt

Grundsätzlich wird im Weiteren von einer nachfrageorientierten Preisbildung im Falle eines Monopols ausgegangen. Es wird unterstellt, dass das betrachtete Unternehmen absatzpolitisch frei agiert, d.h. der Monopolist kann den Verkaufspreis eines Produktes autonom festsetzen, auf den die Käufer mit einer entsprechenden Nachfrage reagieren.

Üblicherweise geht man von einer linearen Beziehung zwischen dem Absatzpreis eines Produktes und seiner nachgefragten Menge aus, so dass sich folgende Preis-Absatz-Funktion formulieren lässt:

$$p(x) = \bar{p} - r \cdot x \quad (6)$$

mit

- \bar{p} - Prohibitivpreis der betrachteten Absatzproduktart
- r - Preisreduktionsfaktor je Mengeneinheit der betrachteten Absatzproduktart
- x - Produktionsmenge der betrachteten Absatzproduktart

Wie in Ausdruck (6) ersichtlich, ist ausgehend vom Prohibitivpreis, bei dem keine Nachfrage hinsichtlich des betrachteten Produktes besteht, eine gewünschte Nachfrage durch einen reduzierten Preis zu realisieren, wobei diese Preisreduktion durch den Faktor r zu parametrisieren ist. Bei einem Preis von $p(x)=0$ ist die so genannte Sättigungsmenge erreicht.⁷

Im Cournot-Modell wird von einer derartigen Preis-Absatz-Funktion ausgegangen und unterstellt, dass das Unternehmen den Verkaufspreis gewinnmaximierend festsetzen kann. Es wird eine Gewinnfunktion $G(x)$ als Differenz der Erlösfunktion $E(x)$ und der Kostenfunktion $K(x)$ in Abhängigkeit der Produktionsmenge x einer Produktart ohne Kapazitätsbeachtungen maximiert.⁸

$$G(x) = E(x) - K(x) \rightarrow \max! \quad (7)$$

$$x \geq 0 \quad (8)$$

wobei gilt:

$$K(x) = k \cdot x + Kf \quad (9)$$

$$E(x) = p(x) \cdot x \quad (10)$$

$$p(x) = \bar{p} - r \cdot x \quad (11)$$

⁷ Vgl. Zentes (2005), S. 355.

⁸ Vgl. Meffert/Burmann/Kirchgeorg (2008), S. 533ff.

mit

- K_f - Fixkosten des betrachteten Unternehmens
 k - direkte Stückkosten des betrachteten Absatzproduktes

Auf eine Herleitung der Lösung sowie eine Interpretation der Lösung des Cournot-Modells im Sinne preispolitischer und anderer Entscheidungsprobleme soll in dieser Arbeit nicht eingegangen und auf die Literatur verwiesen werden.⁹

Grundsätzlich sind die Prämissen dieses Modells im Sinne der Produktionsprogrammplanung zu eingeschränkt. So werden in diesem Einproduktmodell keine Kapazitäten in die Entscheidungsfindung einbezogen. Es stellt aber aufgrund der simultanen Bestimmung optimaler Mengen und Preise einen sehr interessanten Ausgangspunkt für Erweiterungen des Grundmodells der Produktionsprogrammplanung dar.

3.2 Nichtlinearer Modellansatz

Da offensichtlich die fixen Kosten für die Lösung des Cournot-Modells entscheidungsirrelevant sind, ist es zur Einbeziehung dieser Effekte ausreichend, die Zielfunktion des Grundmodells der Produktionsprogrammplanung gemäß Ausdruck (1) bzw. die darin enthaltene Funktion des Stückdeckungsbeitrags gemäß (5) um die lineare Preisabsatzfunktion gemäß Ausdruck (6) zu erweitern, wobei diese Erweiterung für alle N Absatzproduktarten vorzunehmen ist.

Für die Stückdeckungsbeitrag der n -Absatzproduktart gilt dann:

$$d_n(x_n) = p_n(x_n) - k_n \quad (12)$$

$$p_n(x_n) = \bar{p}_n - r_n \cdot x_n \quad (13)$$

Daraus folgt eine neue Zielfunktion für die Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen:

$$GDB = \sum_{n=1}^N p_n(x_n) \cdot x_n - \sum_{n=1}^N k_n \cdot x_n \quad (14)$$

$$= \sum_{n=1}^N (\bar{p}_n - r_n \cdot x_n) \cdot x_n - \sum_{n=1}^N k_n \cdot x_n \quad (15)$$

⁹ Vgl. Pepels (2004), S 511ff.

Das gesamte Modell zur Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen kann dann wie folgt formuliert werden:

$$GDB = \sum_{n=1}^N (\bar{p}_n - r_n \cdot x_n) \cdot x_n - \sum_{n=1}^N k_n \cdot x_n \quad \rightarrow \max! \quad (16)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N t_{kn} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (17)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (18)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (19)$$

Mit dem Ziel der Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrags können simultan die optimalen Produktionsmengen und die Absatzpreise der betrachteten Absatzproduktarten bestimmt werden, wobei die optimalen Absatzmengen x_n^* sofort der Lösung des Modells entnommen und die Absatzpreise mit $p_n^* = \bar{p}_n - r_n \cdot x_n^*$ bestimmt werden können.

Dieses Modell ist aufgrund der von den Preis-Absatz-Funktionen beeinflussten Erlösfunktionen ein Modell mit einer nichtlinearen Zielfunktion und linearen Nebenbedingungen. Dieses Modell ist mit entsprechenden nichtlinearen Lösungsansätzen lösbar¹⁰, wobei für reale Probleme die numerische Lösbarkeit eingeschränkt erscheint. Aus diesem Grund soll im folgenden Abschnitt ein Ansatz verfolgt werden, mit dem dieses nichtlineare Modell näherungsweise in ein lineares Modell überführt werden kann.

3.3 Linearer Modellansatz

Der in dieser Arbeit verfolgte Linearisierungsansatz setzt an den N Erlösfunktionen

$$E_n(x_n) = (\bar{p}_n - r_n \cdot x_n) \cdot x_n \quad (20)$$

mit

$$E_n(x_n) \quad - \quad \text{Gesamte Erlöse der } n\text{-ten Absatzproduktart, } n=1(1)N$$

an und soll anhand stückweiser linearer Funktionen erfolgen.¹¹ Dazu wird der Wertebereich der Produktionsmengen x_n in Intervalle aufgeteilt und entsprechende Untermengen x_{ni} eingeführt.

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad (21)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad (22)$$

¹⁰ Vgl. Neumann/Morlock (2002), S. 567ff.

¹¹ Vgl. Hillier/Liebermann (2005), S 583ff.

mit

x_{ni} - Produktionsmenge der n -ten Absatzproduktart im Linearisierungsintervall i

Index

i - Index der Linearisierungsintervalle der n -ten Absatzproduktart, $i=1(1)I(n)$

$I(n)$ - Anzahl der Linearisierungsintervalle der n -ten Absatzproduktart

Die Erlösfunktion jedes der Intervalle besitzt einen spezifischen Anstieg:

$$e_{ni} = \frac{E_n \left(\sum_{j=1}^i \bar{x}_{nj} \right) - E_n \left(\sum_{j=1}^{i-1} \bar{x}_{nj} \right)}{\bar{x}_{ni}} ; \bar{x}_{n0} = 0, n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (23)$$

Da der Anstieg der konkaven Erlösfunktion einer Absatzproduktart

$$E'_n(x_n) = \bar{p}_n - 2r \cdot x_n \quad (24)$$

mit steigenden Werten für die Menge x_n immer fällt, ist es nicht notwendig, hinsichtlich der Intervalluntermengen Reihenfolgebedingungen einzuführen, da aufgrund der Maximierung der gesamten Zielfunktion der Fall $x_{ni} > 0, x_{ni-1} = 0$ nicht eintreten kann.

Die gesamten Erlöse einer Absatzproduktart lassen sich dann näherungsweise durch die folgenden Ausdrücke formulieren:

$$E_n(x_n) = \sum_{i=1}^{I(n)} e_{ni} \cdot x_{ni} \quad (25)$$

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad (26)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad (27)$$

Das gesamte lineare Entscheidungsmodell zur Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms unter Einbeziehung von Preis-Absatzfunktionen lautet dann wie folgt:

$$GDB = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} e_{ni} \cdot x_{ni} - \sum_{n=1}^N k_n \cdot x_n \quad \rightarrow \max! \quad (28)$$

u.d.N.

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) \quad (29)$$

$$\sum_{n=1}^N t_{kn} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (30)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (31)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (32)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) \quad (33)$$

Mit diesem Modell können die Produktionsmengen und die Absatzpreise der Absatzproduktarten simultan deckungsbeitragsmaximierend bestimmt werden, wobei zur Lösung dieses Modells aufgrund der stückweisen Linearisierung der Erlösfunktion die bekannten Algorithmen der linearen Optimierung genutzt werden können.¹²

Die optimalen Produktionsmengen x_n^* können unmittelbar der Lösung des Modells entnommen und die optimalen Absatzpreise mit $E_n(x_n^*)/x_n^*$ bestimmt werden.

4 Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Lernkurveneffekten

4.1 Abbildung von Lernkurveneffekten

Die Lernkurventheorie geht von der Hypothese aus, dass mit einer Verdopplung der kumulierten Produktionsmenge die direkten Arbeitskosten je Stück eines betrachteten Produktes um einen bestimmten Faktor verringert werden können.¹³ So schreibt *Laarmann*: „Mit jeder Veränderung der kumulierten Ausbringungsmenge ergeben sich Kostensenkungspotentiale, durch die es möglich ist, die durchschnittlichen Stückkosten um einen konstanten Prozentsatz zu senken.“¹⁴ Die Lernkurventheorie wurde in der Literatur vielfältigen Betrachtungen unterzogen, so dass in dieser Arbeit auf die Fundierung der theoretischen Grundlagen, den Lernkurveneffekten und insbesondere auf den Lernbegriff nicht eingegangen werden braucht.¹⁵

¹² Vgl. Suhl/Mellouli (2006), S. 42ff.; Vanderbei (2008).

¹³ Vgl. Erwert/Wagenhofer (2005), S. 141.; Hansen/Mowen (2006), S. 95f.

¹⁴ Vgl. Laarmann (2005), S. 17.

¹⁵ Vgl. z.B. Laarmann (2005) bzw. Kunow (2006) und die dort angegebene Theorie. Weiterhin wird in dieser Arbeit nicht auf die Zusammenhänge Lern- und Anreizeffekten eingegangen. Vgl. dazu Kunow (2006).

Bezieht man Lerneffekte einzig auf menschliche Arbeit, ist es offensichtlich, dass Mitarbeiter bei steigenden Ausbringungsmengen in der Lage sind, zu lernen und es so zu einer Reduzierung der eingesetzten Arbeitszeit je einer Mengeneinheit einer betrachteten Produktart kommt. In der Systematik des hier vorgestellten Grundmodells der Produktionsprogrammplanung ist dieser Effekt für jeden Arbeitsplatz $k=1(1)K$ abzubilden. Unter Verwendung der allgemeinen Definition dieser Lerneffekte¹⁶ können die Lernkurveneffekte bezogen auf den Zeitkoeffizienten t_{kn} wie folgt dargestellt werden:

$$t_{kn}(x_n) = t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \quad (34)$$

mit

- $t_{kn}(x_n)$ - Durchschnittliche zeitliche Inanspruchnahme des k -ten Arbeitsplatzes je Mengeneinheit der n -ten Absatzproduktart nach Erreichung der Menge x_n
- t_{kn}^a - Zeitliche Inanspruchnahme des k -ten Arbeitsplatzes je Mengeneinheit der n -ten Absatzproduktart für die erste produzierte Mengeneinheit
- α_k - prozentuales Kostensenkungspotential des k -ten Arbeitsplatzes;
 $0 \leq \alpha_k < 0,5$.¹⁷

Allgemein wird davon ausgegangen, dass ein Zusammenhang zwischen Lernen und den direkten Arbeitskosten eines Produktes besteht. Hinsichtlich dieser Hypothese ist zu untersuchen, inwieweit die von der Menge abhängigen Reduzierungen der Zeitkoeffizienten t_{kn} tatsächlich zu einer Verringerung der direkten Arbeitskosten eines betrachteten Produktes führen. Dazu sollen mit Gehältern bzw. fixen Zeitlöhnen, Akkordlöhnen und direkten Zeitlöhnen drei verschiedene Entlohnungsarten in die Betrachtungen einbezogen werden.

Ein *Gehalt bzw. fixer Zeitlohn* repräsentiert eine definierte Personalkapazität, für die ein Mitarbeiter pauschal vergütet wird.¹⁸ Da der Anfall fixer Kosten unbeeinflusst von Mengenentscheidungen ist, sind diese Kosten für die Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms entscheidungsirrelevant. Damit kann kein Zusammenhang zwischen Lerneffekten und Kostenanfall festgestellt werden. Lerneffekte führen allerdings aufgrund der Reduzierung der Zeitkoeffizienten gemäß Ausdruck (34) zu einer effizienteren Nutzung der Personalkapazitäten, so dass eine potentielle Ausweitung der Produktionsmengen und damit eine Steigerung des Gesamtdeckungsbeitrags zu verzeichnen ist.

¹⁶ Vgl. Hansen/Mowen (2005), S. 96.; Laarmann (2005), S. 67.

¹⁷ Der Wertebereich ergibt sich unmittelbar aus der verwendeten Lernfunktion. Multipliziert man Ausdruck (34) mit der zugehörigen Produktionsmenge x_n erhält man $t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n = t_{kn}^a \cdot x_n^{1+\log_2(1-\alpha_k)}$. Setzt man das prozentuale Kostensenkungspotential α_k auf den Wert 0,5, ergibt sich $t_{kn}^a \cdot x_n^0$. In diesem Fall würde die Beanspruchung der Zeitkapazität eines Arbeitsplatzes für jede beliebige produzierte Menge unsinnigerweise immer t_{kn}^a entsprechen. Bei einem Wert über 0,5 würde der Exponent $1 + \log_2(1 - \alpha_k)$ einen Wert kleiner 1 annehmen, was bei steigenden Produktionsmengen x_n zu einer absolut kleiner werdenden Kapazitätsbeanspruchung führen würde. Vgl. Laarmann (2005), S. 36.

¹⁸ Vgl. Klock/Sieben/Schildbach/Homburg (2005), S.84f.

Ein *Akkordlohn* ist eine leistungsabhängige Entlohnungsform und setzt sich in der Regel aus einem fixen Grundlohn und einem leistungsabhängigen Akkordzuschlag zusammen. Hinsichtlich des fixen Grundlohns sei auf die Ausführungen zu den Gehältern bzw. fixen Zeitlöhnen verwiesen. Grundsätzlich unterscheidet man Akkordzuschläge in Geld- und Zeitakkorde. Bei beiden Formen wird die Produktionsmenge mit einem konstanten Akkordzuschlag je Mengeneinheit einer betrachteten Produktart multipliziert, der sich beim Zeitakkord aus dem Produkt aus einem Geldfaktor pro Zeiteinheit mit einer Vorgabezeit handelt, wobei beide Größen getrennt ausgewiesen werden. Fasst man den Geldfaktor pro Zeiteinheit und die Vorgabezeit zu einem Faktor zusammen, handelt es sich um einen Geldakkord.¹⁹ Der Akkordzuschlag je Mengeneinheit ist als Bestandteil der direkten Stückkosten und damit des Stückdeckungsbeitrages eines Produktes als entscheidungsrelevant für die Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms anzusehen.

Damit können die Stückdeckungsbeiträge wie folgt spezifiziert werden:

$$d_n = p_n - k_n \quad (35)$$

$$= p_n - \bar{k}_n - \sum_{k=1}^K c_k \cdot \hat{t}_{kn} \quad (36)$$

$$= \bar{d}_n - \sum_{k=1}^K c_k \cdot \hat{t}_{kn} \quad (37)$$

mit

- p_n - Absatzpreis der n -ten Absatzproduktart
- k_n - direkte Stückkosten der n -ten Absatzproduktart
- \bar{k}_n - direkte Stückkosten der n -ten Absatzproduktart exklusive der direkten Arbeitskosten
- \bar{d}_n - vorläufiger Deckungsbeitrag der n -ten Absatzproduktart exklusive direkten Arbeitskosten
- c_k - Kostensatz je Zeiteinheit des k -ten Arbeitsplatzes
- \hat{t}_{kn} - Vorgabezeit für den k -ten Arbeitsplatz und der n -ten Absatzproduktart.

Die in den Stückdeckungsbeiträgen enthaltenen direkten Stückkosten einer Absatzproduktart setzen sich aus den direkten Arbeitskosten und den sonstigen Stückkosten zusammen, wobei sich die gesamten direkten Arbeitskosten aus den Kosten der einzelnen Arbeitsplätze ergeben. Für jeden Arbeitsplatz existiert ein Kostensatz je Zeiteinheit, der mit der Vorgabezeit des betrachteten Produkts zu multiplizieren ist.

Allerdings sind für die in den Stückdeckungsbeiträgen enthaltenen direkten Arbeitskosten kurzfristig keine Zusammenhänge zu den Lerneffekten zu verzeichnen, da eine auf den Lerneffekten basierende Reduzierung des Akkordzuschlages negative Anreizeffekte bei

¹⁹ Vgl. Kloock/Sieben/Schildbach/Homburg (2005), S.85f.

den Mitarbeitern hervorrufen würde und auch arbeitsrechtlich problematisch erscheint.²⁰ Analog zu den Gehältern und fixen Zeitlöhnen führen auch bei Vorliegen von Akkordlöhnen die Lerneffekte zu einer effizienteren Nutzung der Personalkapazitäten und so zu einer Ausweitung der Produktionsmengen sowie Steigerung des Gesamtdeckungsbeitrags.

Bei einer Entlohnung mit *direkten Zeitlöhnen*, werden Mitarbeiter proportional zur geleisteten Arbeitszeit entlohnt. Damit stellen diese Löhne einen Bestandteil der direkten Kosten einer Produktart dar. Die Stückdeckungsbeiträge können dann wie folgt spezifiziert werden:

$$d_n = \bar{d}_n - \sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn} \quad (38)$$

Die in den Stückdeckungsbeiträgen enthaltenen direkten Arbeitskosten eines Arbeitsplatzes je Mengeneinheit setzen sich aus dem Kostensatz je Zeiteinheit und der zeitlichen Inanspruchnahme zusammen. Da die Zeitkoeffizienten t_{kn} gemäß Ausdruck (34) den Lerneffekten unterliegen, besteht ein direkter Zusammenhang zwischen den Lerneffekten und dem Anfall der direkten Arbeitskosten:

$$d_n = \bar{d}_n - \sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn}(x_n) \quad (39)$$

$$= \bar{d}_n - \sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \quad (40)$$

Zusätzlich zu diesen Kostensenkungseffekten ist wie bei den anderen Entlohnungsformen eine bessere Nutzung der Personalkapazitäten und den darauf basierenden Steigerungen des Gesamtdeckungsbeitrags zu verzeichnen.

4.2 Nichtlinearer Modellansatz

In einem weiteren Schritt werden die Lernkurveneffekte mit dem Grundmodell der Produktionsprogrammplanung zusammengefasst. Da im letzten Abschnitt gezeigt werden konnte, dass Lerneffekte in Abhängigkeit der Entlohnungsformen unterschiedlichen Einfluss auf die Zielfunktion dieses Entscheidungsproblems besitzen, sollen zwei Modellansätze betrachtet werden. Für Gehälter, fixe Zeitlöhne und Akkordlöhne wird ein gemeinsames Modell ohne Beeinflussung der Zielfunktion durch Lerneffekte hergeleitet, dem sich für direkte Zeitlöhne ein Modell mit Beeinflussung der Zielfunktion durch Lerneffekte anschließt.

²⁰ Mittel- und langfristig müssen jedoch mit einer auf Lerneffekten basierenden Reduzierung der durchschnittlichen Zeitkoeffizienten je Mengeneinheit einer Produktart die Vorgabezeiten und letztlich die Akkordzuschläge sinken. Für diese Zeiträume ist ein Zusammenhang zwischen Lerneffekten und direkten Arbeitskosten gegeben.

4.2.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen

Da im Fall fixer Löhne bzw. Gehälter sowie beim Vorliegen von Akkordlöhnen keine Zusammenhänge zwischen den Lerneffekten und den direkten Arbeitskosten bestehen, kann die Zielfunktion des Grundmodells der Produktionsprogrammplanung gemäß Ausdruck (1) beibehalten werden. Insofern nur fixe Löhne bzw. Gehälter vorliegen, beinhaltet die Zielfunktion keine Arbeitskosten, während im Fall von Akkordlöhnen die Zielfunktion gemäß Ausdruck (37) anzupassen ist.

Die Zeitkoeffizienten der einzelnen Arbeitsplätze gemäß Ausdruck (2) stellen in diesem Modellansatz aufgrund der Lernkurveneffekte Variablen dar und sind gemäß Ausdruck (34) zu ersetzen. Das gesamte nichtlineare Modell lautet dann wie folgt:

$$GDB = \sum_{n=1}^N d_n \cdot x_n \quad \rightarrow \max! \quad (41)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (42)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (43)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (44)$$

Es handelt sich um ein Entscheidungsmodell mit einer linearen Zielfunktion, K konkaven Funktionen in den Nebenbedingungen gemäß Ausdruck (42) und weiteren linearen Nebenbedingungen, mit dem simultan die Produktionsmengen und die gemäß Ausdruck (34) abzuleitenden Zeitkoeffizienten t_{kn} optimal bestimmt werden können. Hinsichtlich der nichtlinearen Lösungsverfahren sei auf die Literatur verwiesen.²¹

Gemäß den Ausdrücken (34) und (42) wird in diesem Modellansatz davon ausgegangen, dass bisher noch keine Produktion der einzubeziehenden Produktarten erfolgte und damit vor Beginn des betrachteten Produktionsprogramms noch kein Lernen erfolgte. Wenn allerdings schon eine Produktion der betrachteten Produktarten erfolgte, sind die bisherigen Produktionsmengen und somit die bisherigen Lerneffekte in Ausdruck (34) gemäß

$$t_{kn}(x_n) = t_{kn}^a \cdot (\hat{x}_n + x_n)^{\log_2(1-\alpha_k)} \quad (45)$$

mit

\hat{x}_n - Summe der in früheren Perioden produzierten Mengen der n -ten Absatzproduktart

²¹ Vgl. Neumann/ Morlock (2002), S. 567ff.

bzw. Ausdruck (42) gemäß

$$\sum_{n=1}^N t_{kn}^a \cdot (\hat{x}_n + x_n)^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \leq T \quad ; \quad k = 1(1)K \quad (46)$$

einzubezieh. Diese Zusammenhänge gelten auch für alle weiteren Modellansätze und werden daher im Folgenden nicht weiter problematisiert.

4.2.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen

Liegt eine Entlohnung mit direkten Zeitlöhnen vor, unterliegen die direkten Arbeitskosten dem Einfluss der Lerneffekte. Da die Zeitkoeffizienten der einzelnen Arbeitsplätze und damit die direkten Kosten aufgrund der Lernkurveneffekte nun Variablen darstellen, ist die Zielfunktion des Grundmodells unter Einbeziehung von Ausdruck (40) entsprechend anzupassen:

$$GDB = \sum_{n=1}^N \bar{d}_n \cdot x_n - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn}(x_n) \cdot x_n \quad (47)$$

Das gesamte nichtlineare Modell lautet dann wie folgt.²²

$$GDB = \sum_{n=1}^N \bar{d}_n \cdot x_n - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \rightarrow \max! \quad (48)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (49)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (50)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (51)$$

Dieses Entscheidungsmodell besitzt aufgrund der von den Lerneffekten abhängigen Gesamtzeitbedarfe

$$r_{kn}(x_n) = t_{kn}(x_n) \cdot x_n \quad (52)$$

$$= t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \quad (53)$$

mit

$r_{kn}(x_n)$ - gesamte zeitliche Beanspruchung des k -ten Arbeitsplatzes durch das n -te Absatzprodukt

²² Vgl. zu ähnlichen Modellansätzen: Liao (1979), S.119; Laarmann (2005), S. 68f.; Werkmeister (2000), S. 171ff.

eine konvexe Zielfunktion, K konkaven Funktionen in den Nebenbedingungen gemäß Ausdruck (49) und weitere lineare Nebenbedingungen. Zur Lösung dieses Modells können entsprechende nichtlineare Ansätze genutzt werden.²³

Mit diesem Modell können simultan die Produktionsmengen, die gemäß Ausdruck (34) abzuleitenden Zeitkoeffizienten t_{kn} sowie die direkten Arbeitskosten der einzelnen Produkte mit

$$\sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn}^a \cdot x_n^{*\log_2(1-\alpha_k)} \quad (54)$$

optimal bestimmt werden.

4.3 Linearer Modellansatz

Beiden vorgestellten Ansätzen der Einbeziehung von Lerneffekten in das Grundmodell der Produktionsprogrammplanung ist gemein, dass Sie aufgrund lernabhängigen Zeitkoeffizienten $t_{kn}(x_n)$ insgesamt K konkave Nebenbedingungen und im Fall der lernabhängigen Entlohnungen eine konvexe Zielfunktion besitzen. Für reale Anwendungen erscheinen diese Modelle in ihrer numerischen Lösbarkeit problematisch, so dass im Folgenden Ansätze erarbeitet werden, die nichtlinearen Zusammenhänge auf der Basis stückweiser linearer Funktionen näherungsweise abzubilden.

4.3.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen

Die Nichtlinearität im Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen besteht gemäß Ausdruck (42) in den lernabhängigen Beanspruchungen der Zeitkapazitäten der K Arbeitsplätze. Die gesamte Beanspruchung der Zeitkapazitäten eines Arbeitsplatzes $r_{kn}(x_n)$ ist eine Variable, die gemäß Ausdruck (52) von den Produktionsmengen sowie den Zeitkoeffizienten abhängig ist. Der Verlauf dieser Funktion ist aufgrund der Lernkurveneffekte konkav. Die Linearisierung dieser Funktion soll auf der Basis stückweiser linearer Funktionen erfolgen. Dazu wird wiederum der Wertebereich der Produktionsmengen x_n in Intervalle aufgeteilt und entsprechende Untermengen x_{ni} eingeführt.

Jedes der Intervalle besitzt einen spezifischen Anstieg:

$$t_{kni} = \frac{r_{kn} \left(\sum_{j=1}^i \bar{x}_{nj} \right) - r_{kn} \left(\sum_{j=1}^{i-1} \bar{x}_{nj} \right)}{\bar{x}_{ni}} ; \bar{x}_{n0} = 0, n = 1(1)N, k = 1(1)K, i = 1(1)I(n) \quad (55)$$

²³ Vgl. Neumann/ Morlock (2002), S. 567ff.

Die gesamte zeitliche Beanspruchung des k -ten Arbeitsplatzes durch die einzubeziehenden Produktarten gemäß Ausdruck (42) lassen sich dann wie folgt näherungsweise darstellen:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} t_{kni} \cdot x_{ni} \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (56)$$

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad ; n = 1(1)N \quad (57)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) \quad (58)$$

Da in den neuen Nebenbedingungen gemäß Ausdruck (56) der Anstieg t_{kni} eines nachfolgenden Linearisierungsintervalls geringer als der des vorherigen Intervalls ist, könnte der Fall $x_{ni} > 0, x_{ni-1} = 0$ eintreten. Es ist daher für die Intervalluntermengen eine Reihenfolgebedingung einzuführen.²⁴ Eine Menge x_{ni} soll nur dann einen Wert größer Null annehmen, wenn die vorherige Untermenge x_{ni-1} ihren Maximalwert angenommen hat. Dazu werden Boolesche Realisationsvariable y_{ni} eingeführt, die der Kodierung der Reihenfolgebedingung dienen:

$$x_{ni} \geq y_{ni} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) - 1 \quad (59)$$

$$x_{ni} \leq y_{ni-1} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 2(1)I(n) \quad (60)$$

$$y_{ni} \in \{0,1\} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) \quad (61)$$

Das gesamte lineare Modell zur Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Lernkurveneffekten lautet zusammenfassend wie folgt:

²⁴ Vgl. Hillier/Liebermann (2005), S. 585.

$$GDB = \sum_{n=1}^N d_n \cdot x_n \quad \rightarrow \max! \quad (62)$$

$$\text{u.d.N.} \quad \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} t_{kni} \cdot x_{ni} \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (63)$$

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad ; n = 1(1)N \quad (64)$$

$$x_{ni} \geq y_{ni} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) - 1 \quad (65)$$

$$x_{ni} \leq y_{ni-1} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 2(1)I(n) \quad (66)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (67)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (68)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (69)$$

$$y_{ni} \in \{0,1\} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (70)$$

Wie schon bei dem nichtlinearen Modellansatz diskutiert, beinhaltet die Zielfunktion im Fall fixer Löhne bzw. Gehälter keine Arbeitskosten, während bei Vorliegen von Akkordlöhnen die Zielfunktion gemäß Ausdruck (37) anzupassen ist.

Mit diesem Modell können die Produktionsmengen und die Zeitbedarfskoeffizienten der Absatzproduktarten simultan deckungsbeitragsmaximierend bestimmt werden, wobei zur Lösung dieses Modells aufgrund der stückweisen Linearisierung der konkaven Nebenbedingungen die bekannten Algorithmen der ganzzahligen linearen Optimierung genutzt werden können.²⁵

Die optimalen Produktionsmengen x_n^* können unmittelbar der Lösung des Modells entnommen und die daraus ableitbaren Zeitbedarfskoeffizienten t_{kn}^* mit

$$\sum_{i=1}^{I(n)} t_{kni} \cdot x_{ni}^* / x_n^* \quad (71)$$

bestimmt werden.

4.3.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen

Da die Einbeziehung lernabhängiger Entlohnungsformen einen spezifischen Einfluss auf die Zielfunktion besitzt, ist diese entsprechend anzupassen, wobei die in der bisherigen

²⁵ Vgl. Suhl/Mellouli (2006), S. 42ff.; Vanderbei (2008).

Zielfunktion gemäß Ausdruck (48) beinhaltet lernabhängigen Beanspruchungen der Kapazität der einzubeziehenden Arbeitsplätze $r_{kn}(x_n) = t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n$ anhand der schon dargestellten Linearisierungen approximativ zu ersetzen sind. Da sich der Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen von dem bisher erörterten Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen lediglich durch die Zielfunktion unterscheidet, können alle weiteren Formulierungen des Modellansatzes mit lernunabhängigen Entlohnungsformen übernommen werden.

Das gesamte lineare Modell zur Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Lernkurveneffekten lautet zusammenfassend wie folgt:

$$GDB = \sum_{n=1}^N \bar{d}_n \cdot x_n - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} c_k \cdot t_{kni} \cdot x_{ni} \rightarrow \max! \quad (72)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} t_{kni} \cdot x_{ni} \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (73)$$

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad ; n = 1(1)N \quad (74)$$

$$x_{ni} \geq y_{ni} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) - 1 \quad (75)$$

$$x_{ni} \leq y_{ni-1} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 2(1)I(n) \quad (76)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (77)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (78)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (79)$$

$$y_{ni} \in \{0,1\} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (80)$$

Dieses lineare Modell dient der simultanen Bestimmung der optimalen Produktionsmengen der Absatzproduktarten, der daraus ableitbaren Zeitbedarfskoeffizienten und der direkten Stückarbeitskosten, wobei zur Lösung dieses Modells wiederum die bekannten Algorithmen der ganzzahligen linearen Optimierung genutzt werden können.

Die optimalen Produktionsmengen können unmittelbar der Lösung dieses Problems entnommen werden, während die Zeitbedarfskoeffizienten gemäß Ausdruck (71) und die direkten Arbeitskosten je Mengeneinheit einer Produktart mit $c_k \cdot t_{kn}^*$ ermittelt werden können.

5 Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten

Im letzten Abschnitt dieser Arbeit werden die bisher dargestellten Erweiterungen des Grundmodells der Produktionsprogrammplanung zusammengefasst. Damit wird es mit diesen Modellen möglich sein, neben der Bestimmung der optimalen Produktionsmengen auch den Preis eines Absatzproduktes gemäß den einzubeziehenden Preis-Absatz-Funktionen, die Zeitbedarfskoeffizienten gemäß den Lernkurveneffekten sowie bei Vorliegen lernabhängiger Entlohnungsformen die direkten Arbeitskosten optimal zu bestimmen.

5.1 Nichtlinearer Modellansatz

In diesem Abschnitt sollen die Preis-Absatz-Funktion gemäß Ausdruck (13) bzw. die daraus resultierende Zielfunktion sowie die Lernkurveneffekte gemäß Ausdruck (34) bzw. die entsprechend anzupassenden Kapazitätsbeanspruchungen der einzelnen Arbeitsplätze in die Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms einbezogen werden, so dass vorerst nichtlineare Modellansätze vorliegen. Dabei ist wiederum hinsichtlich der Erfolgswirksamkeit der Lerneffekte in Modelle mit lernunabhängigen und lernabhängigen Entlohnungsformen zu unterscheiden.

5.1.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen

Geht man in einem ersten Schritt von lernunabhängigen Entlohnungsformen aus, kann zur simultanen Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten die um die Preis-Absatz-Funktion modifizierte Zielfunktion der Produktionsprogrammplanung gemäß Ausdruck (15) verwendet werden. Zusätzlich sind die von den Lernkurveneffekten beeinflussten Kapazitätsbeanspruchungen der K Arbeitsplätze gemäß Ausdruck (42) einzubeziehen.

Das gesamte Modell der Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten bei lernunabhängigen Entlohnungsformen kann wie folgt formuliert werden:

$$GDB = \sum_{n=1}^N (\bar{p}_n - r_n \cdot x_n) \cdot x_n - \sum_{n=1}^N k_n \cdot x_n \rightarrow \max! \quad (81)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (82)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (83)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (84)$$

Es handelt sich um ein Entscheidungsmodell mit einer nichtlinearen Zielfunktion, K konkaven Funktionen in den Nebenbedingungen gemäß Ausdruck (82) und weiteren linearen Nebenbedingungen. Mit diesem Modell ist es möglich, neben der optimalen Bestimmung der Produktionsmengen simultan den optimalen Preis eines Absatzproduktes sowie die von der Produktionsmenge abhängigen Zeitkoeffizienten pro Absatzproduktart und Arbeitsplatz zu bestimmen.

5.1.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen

Möchte man das im letzten Abschnitt erarbeitete Modell um lernabhängige Entlohnungsformen erweitern, sind die Stückkosten der bisherigen Zielfunktion um die lernabhängigen Entlohnungseffekte gemäß Ausdruck (41) zu erweitern. Damit beinhaltet die Zielfunktion im ersten Term die gesamten, von den zu bestimmten Produktionsmengen und den Preis-Absatz-Funktionen abhängigen Erlöse, von denen die gesamten variablen Kosten abzuziehen sind. Diese bestehen im dritten Term der Zielfunktion aus den lernabhängigen Arbeitskosten sowie im zweiten Term aus den sonstigen variablen Kosten. Alle weiteren Bestandteile dieses Modells sind identisch zu dem im letzten Abschnitt vorgestellten Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen.

Das gesamte Modell der Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten bei lernabhängigen Entlohnungsformen lautet wie folgt:

$$GDB = \sum_{n=1}^N (\bar{p}_n - r_n \cdot x_n) \cdot x_n - \sum_{n=1}^N \bar{k}_n \cdot x_n - \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K c_k \cdot t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \rightarrow \max! \quad (85)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N t_{kn}^a \cdot x_n^{\log_2(1-\alpha_k)} \cdot x_n \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (86)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (87)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (88)$$

Auch mit diesem Modell ist es möglich, neben der optimalen Bestimmung der Produktionsmengen den optimalen Preis eines Absatzproduktes sowie die von der Produktionsmenge abhängigen Zeitkoeffizienten pro Absatzproduktart und Arbeitsplatz simultan zu bestimmen. Zusätzlich können die von den Lernkurveneffekten abhängigen direkten Arbeitskosten je Mengeneinheit einer Absatzproduktart gemäß Ausdruck (54) ermittelt werden.

5.2 Linearer Modellansatz

Beide nichtlineare Modellansätze beziehen in die Entscheidung der optimalen Produktionsmengen Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekte ein und stellen somit eine erhebliche Erweiterung der bisherigen Betrachtungen der Produktionsprogrammplanung dar. Allerdings erscheint für derartige nichtlineare Modelle die numerische Lösbarkeit für reale Probleme problematisch, so dass beide Modellansätze anhand der beschriebenen Linearisierungen in lineare Modellformulierungen überführt werden sollen.

5.2.1 Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen

Für diesen Modellansatz besteht die Nichtlinearität einerseits in den konkaven Erlösfunktionen der einzelnen Absatzproduktarten sowie in den von den Lernkurveneffekten beeinflussten Kapazitätsbeanspruchungen der einzelnen Arbeitsplätze. Für beide nichtlineare Modellstrukturen wurden in dieser Arbeit Linearisierungsansätze mittels stückweiser linearer Funktionen vorgeschlagen, die in diesen Modellansatz einfließen sollen. Ersetzt man die Erlösfunktionen in Ausdruck (81) durch die Ausdrücke (25) bis (27) sowie die lernabhängigen Kapazitätsbeanspruchungen in Ausdruck (82) durch die Ausdrücke (56) bis (58) einschließlich der Reihenfolgebedingungen für die entsprechenden Untermengen gemäß den Ausdrücken (59) bis (61), kann man das Modell der Bestimmung der optimalen Produktionsmengen unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten bei Vorliegen von lernunabhängigen Entlohnungsfunktionen wie folgt formulieren:

$$GDB = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} e_{ni} \cdot x_{ni} - \sum_{n=1}^N k_n \cdot x_n \quad \rightarrow \max! \quad (89)$$

$$\text{u.d.N.} \quad \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} t_{kni} \cdot x_{ni} \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (90)$$

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad ; n = 1(1)N \quad (91)$$

$$x_{ni} \geq y_{ni} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) - 1 \quad (92)$$

$$x_{ni} \leq y_{ni-1} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 2(1)I(n) \quad (93)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (94)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (95)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) \quad (96)$$

$$y_{ni} \in \{0,1\} \quad ; n = 1(1)N, \quad i = 1(1)I(n) \quad (97)$$

Es handelt sich aufgrund der vorgenommenen Linearisierungen um ein lineares Entscheidungsmodell, so dass zur simultanen Bestimmung der optimalen Produktionsmengen, der optimalen Preise der Absatzprodukte sowie den optimalen, von der Produktionsmenge abhängigen, Zeitkoeffizienten pro Absatzproduktart und Arbeitsplatz die gängigen Verfahren der ganzzahligen linearen Optimierung genutzt werden können.

5.2.2 Modellansatz mit lernabhängigen Entlohnungsformen

Wie hinsichtlich des nichtlinearen Ansatzes beschrieben, beinhaltet die Zielfunktion des erweiterten Modells der Produktionsprogrammplanung bei lernabhängigen Entlohnungsformen neben den Preis-Absatz-Funktionen auch die lernabhängigen Arbeitskosten als nichtlineare Modellbestandteile. Alle weiteren Bestandteile dieses Modells sind identisch zu dem Modellansatz mit lernunabhängigen Entlohnungsformen. Da die lernabhängigen Arbeitskosten, wie in Ausdruck (85) ersichtlich, sich letztlich aus der Multiplikation der zeitlichen Inanspruchnahme der Arbeitsplätze mit konstanten Kostensätzen je Zeiteinheit ergeben, sind zur Linearisierung der lernabhängigen Arbeitskosten lediglich die schon verwendeten stückweisen Linearisierungen der lernabhängigen Kapazitätsbeanspruchungen zu verwenden. Das Modell zur Bestimmung der optimalen Produktionsmengen unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten bei Vorliegen von lernabhängigen Entlohnungsfunktionen kann dann wie folgt formuliert werden:

$$GDB = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} e_{ni} \cdot x_{ni} - \sum_{n=1}^N \bar{k}_n \cdot x_n - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} c_k \cdot t_{kni} \cdot x_{ni} \rightarrow \max! \quad (98)$$

u.d.N.

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{I(n)} t_{kni} \cdot x_{ni} \leq T_k \quad ; k = 1(1)K \quad (99)$$

$$x_n = \sum_{i=1}^{I(n)} x_{ni} \quad ; n = 1(1)N \quad (100)$$

$$x_{ni} \geq y_{ni} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) - 1 \quad (101)$$

$$x_{ni} \leq y_{ni-1} \cdot \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 2(1)I(n) \quad (102)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot x_n \leq b_m \quad ; m = 1(1)M \quad (103)$$

$$0 \leq x_n \leq \bar{x}_n \quad ; n = 1(1)N \quad (104)$$

$$0 \leq x_{ni} \leq \bar{x}_{ni} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (105)$$

$$y_{ni} \in \{0,1\} \quad ; n = 1(1)N, i = 1(1)I(n) \quad (106)$$

Mit diesem linearen Modell können die optimalen Produktionsmengen der Absatzproduktarten, die daraus ableitbaren Zeitbedarfskoeffizienten, die direkten Stückarbeitskosten so-

wie die optimalen Absatzpreise der einzelnen Produktarten simultan bestimmt werden, wobei zur Lösung dieses Modells wiederum die bekannten Algorithmen der ganzzahligen linearen Optimierung genutzt werden können.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ein grundsätzliches Problem operativer und taktischer Entscheidungen besteht in der oft verwendeten Annahme linearer Kosten- und Erlösverläufe, obwohl vielfach mit Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten nichtlineare Zusammenhänge zwischen Stück-erlösen bzw. Stückkosten und den Absatz- bzw. Produktionsmengen vorliegen. Da im Rahmen der Formulierung dieser Entscheidungsmodelle auf Plandaten der internen Unternehmensrechnung zurückgegriffen wird, basiert diese Einschränkung vor allem auf den Prämissen der entsprechenden Kosten- und Erlösrechnungssysteme. Weiterhin ist für entsprechende nichtlineare Modellformulierungen zu konstatieren, dass für größere Probleme die numerische Lösbarkeit problematisch ist.

Das erste Ziel dieser Arbeit bestand in der Erarbeitung von Ansätzen zur Einbeziehung derartiger nichtlinearer Zusammenhänge in betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme, wobei exemplarisch mit der Bestimmung des optimalen Produktionsprogramms eines der klassischen Probleme der operativen bzw. taktischen Planung untersucht wurde. Das Grundmodell der Produktionsprogrammplanung wurde sukzessive um die Preis-Absatz-Funktionen und die Lernkurveneffekte erweitert und in einem weiteren Schritt in einem abschließenden Modell zusammengefasst. Um die Lösbarkeit der daraus resultierenden nichtlinearen Modelle für größere Probleme sicherzustellen, bestand das zweite Ziel dieser Arbeit in der Erarbeitung konkreter Linearisierungsansätze auf der Basis stückweiser linearer Funktionen, mit denen diese nichtlinearen Modelle in ganzzahlige lineare Optimierungsmodelle überführt werden können.

Da mit diesen Modellansätzen neben den optimalen Produktionsmengen, auch die optimalen Absatzpreise der betrachteten Produktarten, die von den Produktionsmengen abhängigen Zeitbedarfskoeffizienten sowie die im Fall lernabhängiger Entlohnungsformen beeinflussten direkten Arbeitskosten simultan bestimmt werden können, stellen diese Modellansätze erhebliche Erweiterung der bisherigen Betrachtungen der Produktionsprogrammplanung dar.

Zusätzlich zu dieser Erweiterung der Entscheidungsbasis können zur Lösung dieser Modelle aufgrund der stückweise Linearisierungen der genannten nichtlinearen Zusammenhänge die standardmäßigen ganzzahligen linearen Optimierungsalgorithmen genutzt werden, so dass die Lösbarkeit derartiger Probleme auch bei großen Modelldimensionen mit der verfügbaren Software gegeben sein sollte. Weiterhin können die in diesen Modellen verwendeten Kosten- und Erlösinformationen mit der Grenzkosten- und -erlösrechnung in ange-

passter Form geplant werden, so dass zur Behandlung derartiger Probleme keine zusätzlichen Planrechnungssysteme notwendig sind.

Diese Modellansätze können im Rahmen zukünftiger Arbeiten erweitert werden. So stellt die Einbeziehung von Anreizsystemen zur Verbesserung von Lerneffekten ein sehr interessantes Gebiet dar, wobei erste - nicht auf die Produktionsprogrammplanung bezogene - Ansätze auf der Basis der Principle-Agent-Theory existieren²⁶.

Eine weitere interessante Erweiterung könnte in der Verwendung variabler Personalkapazitäten bestehen, in dem in die bisherigen Modellansätze die Personalkapazitäten als variable Größen einbezogen werden. Diese könnten durch die Anzahl der einzubeziehenden Mitarbeiter, die Gestaltung des Einsatzes dieser Mitarbeiter in Form von bezahlter Mehrarbeit, flexibel einsetzbaren Arbeitsgruppen oder Schichten definiert werden.

Weiterhin erscheint es sinnvoll, die Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten mehrperiodig zu betrachten und mit einer Investitionsprogrammplanung zu kombinieren.

²⁶ Vgl. Kunow (2006).

Literatur:

- Ewert, R./Wagenhofer, A.:* Interne Unternehmensrechnung, 6. Aufl., Springer, Berlin u.a., 2005.
- Hansen, D. R./Mowen, M. M.:* Cost Management, 5th ed. Thomson South-West 2006.
- Hillier F. S./Lieberman, G. J.:* Introduction to Operations Research, 8th ed., Mcgraw-Hill Higher Education 2005.
- Kloock, J./Sieben, G./Schildbach, Th./Homburg, C.:* Kosten- und Leistungsrechnung, 9. Aufl., Lucius & Lucius, Stuttgart 2005.
- Kunow, A.:* Anreizsteuerung unter Berücksichtigung von Lernkurveneffekten, Gabler, Wiesbaden 2006.
- Küpper, H.-U.:* Controlling, 4. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart 2005.
- Laarmann, A.:* Lerneffekte in der Produktion, Gabler, Wiesbaden 2005.
- Liao, W. M.:* Effects of learning on resource allocation decisions, in: Decision Sciences, Vol 10, 1979, S. 116-125.
- Meffert, H./Burmam, Ch./Kirchgeorg, M.:* Marketing – Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, 10. Aufl., Gabler, Wiesbaden 2008.
- Neumann, K./Morlock, M.:* Operations Research, 2. Aufl., Hanser, München-Wien, 2002.
- Pepels, W.:* Marketing, 4. Aufl., Oldenbourg, München-Wien, 2004.
- Rogge, R./Steglich, M.:* Betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle zur Verfahrenswahl sowie Auflagen- und Lagerpolitiken, in: Diskussionsbeiträge zu Wirtschaftsinformatik und Operations Research 10/2007, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 2007.
- Suhl, L./Mellouli, T.:* Optimierungssysteme, Springer, Berlin u.a. 2006.
- Vanderbei, R.J.:* Linear Programming – Foundations and Extensions, 3rd ed., Springer 2008.
- Werkmeister, C.:* Periodenbezogene Produktionsprogrammplanung bei betrieblichen Lernen, in: ZfB 70(2000)2, S. 163-186.
- Zentes, J.:* Marketing, in: Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre, Band 1, Hrsg. von Bitz u.a., 5. Aufl., Vahlen, München 2005.

WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTLICHE DISKUSSIONSBEITRÄGE
MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

- Nr.1 **R.K. von Weizsäcker**
Staatsverschuldung und Demokratie. April 1992
- Nr.2 **M. Becker**
Theoretische und ideengeschichtliche Ansätze zur Begründung der Personalwirtschaftslehre als betriebswirtschaftliche (Teil)Disziplin. Februar 1995
- Nr.3 **M. Nerlove/A. Razin/E. Sadka/R.K von Weizsäcker**
Comprehensive Income Taxation, Investments in Human and Physical Capital, and Productivity. Mai 1992
- Nr.4 **R.K. von Weizsäcker**
Bildung und Theorie der Lebenseinkommensverteilung. Mai 1992
- Nr.5 **V. Meier**
Long-Run Migration Incentives and Migration Effects: The Case of Different Fertility Rates. Juni 1993
- Nr.6 **R.K. von Weizsäcker**
Public Pension Reform, Demographics, and Inequality. Dezember 1993
- Nr.7 **G. Steinmann**
Zusammenhang zwischen Alterungsprozeß und Einwanderung. Dezember 1993
- Nr.8 **G. Schmitt-Rink**
Optimal Rates of Migration or The Goldenest Golden Rule of Economic Growth. Dezember 1993
- Nr.9 **V. Meier**
On the Demand for Long-Term Care Insurance. Juli 1994
- Nr.10 **V. Meier**
Altruism and the Demand for Long-Term Care Insurance. Juli 1994
- Nr.11 **M. Becker**
Wertende oder werturteilsfreie Betriebswirtschaftslehre? Aktuelle Anmerkungen zu einer alten Streitfrage. September 1994
- Nr.12 **B. Wigger**
Human Capital and International Patterns of Economic Growth. Oktober 1994
- Nr.13 **B. Wigger**
Bevölkerungswandel, Alterssicherung und individuelle Wohlfahrt. Dezember 1994
- Nr.14 **A. Brüggemann/M. Klein**
Privatization and Foreign Direct Investment in Transition Economies. Februar 1995
- Nr.15 **V. Meier**
Long-Term Care Insurance and Moral Hazard. Februar 1995
- Nr.16 **V. Meier**
Conflicts on Care for the Elderly, Long-term Care Insurance, and Bequests. Mai 1995
- Nr.17 **U. Eiteljörge**
Das Abkommen über den internationalen Handel mit Dienstleistungen – Eine erste Bewertung. Juni 1995
- Nr.18 **U. Eiteljörge/M. Klein**
Size, Flexibility and Power in an Integrated World Economy. August 1995
- Nr.19 **A. Brüggemann/M. Klein**
Ist die Treuhand ein Modell für die Transformationsländer? Einige skeptische Anmerkungen. Januar 1996
- Nr.20 **M. Klein**
WTO, IMF, IBRD usw.: Koordinationsprobleme zwischen internationalen Wirtschaftsorganisationen. Dezember 1995
- Nr.21 **V. Meier**
Long-Term Care Insurance and Savings. Februar 1996
- Nr.22 **U. Eiteljörge/M. Klein**
Trade in Know-how, Direct Investment and Welfare: The Duopoly Case. Mai 1996

- Nr.23 **A. Brüggemann**
Social Safety Nets in Central and Eastern Europe: Are they Efficiency Enhancing? Mai 1996
- Nr.24 **V. Meier**
The Demand for Preventive Dental Care. Juni 1996
- Nr.25 **G. Steinmann/A. Prskawetz/G. Feichtinger**
A Model on the Escape from the Malthusian Trap. August 1996

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE DISKUSSIONSBEITRÄGE
MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

- Nr.1 **J. Merker/G. Wäscher**
Two New Heuristic Algorithms for the Maximal Planar Layout Problem. März 1996
- Nr.2 **J. Kloock/S. Dierkes**
Prozeßkostenkontrolle. März 1996
- Nr.3 **H. Foerster/G. Wäscher**
Simulated Annealing for the Order Spread Minimization Problem in Sequencing Cutting Patterns. Mai 1996
- Nr.4 **J. Kloock/U. Schiller**
Cost Budgeting and Cost Control with Marginal Costing. August 1996
- Nr.5 **G.H. Lawson/H. P. Möller**
The Cash Flow Effect of Retained Earnings Measured on a Conservative Basis. Oktober 1996
- Nr.6 **M. Becker**
Geändertes Karriereverständnis: Personalentwicklung im Zeichen von Führungs-, Fach- und Projektkarrieren. November 1996
- Nr.7 **P. Heise/G. Wäscher**
The Bin-Packing Problem: A Problem Generator and Some Numerical Experiments with FFD Packing and MTP. November 1996
- Nr.8 **D. Gramlich**
Cross Risks im liquiditätsmäßig-finanziellen Bereich von Kreditinstituten. Dezember 1996
- Nr.9 **D. Möhlenbruch/C. Meier**
Stand und Entwicklungsmöglichkeiten eines integrierten Controllingsystems für den Einzelhandel. Dezember 1996
- Nr.10 **M. Becker**
Personalentwicklung und Organisationsentwicklung als Führungsaufgabe - eine Einführung in die Thematik. Februar 1997
- Nr.11 **M. Becker**
Krankheitsbedingte Fehlzeiten in ostdeutschen und westdeutschen Unternehmen - Eine Untersuchung zur Ursachenanalyse und Maßnahmenplanung. Februar 1997
- Nr. 12 **V. Schwarz/G. Rother**
Arbeitszeitgestaltung in den neuen und alten Bundesländern unter mikropolitischen Betrachtung - Eine Analyse von Betriebsvereinbarungen. Februar 1997
- Nr. 13 **S. Dierkes**
Konzeption und Aufbau differenziert-mehrstufiger Fixkostendeckungsrechnungen. März 1997
- Nr. 14 **G. Wäscher/J. Heuer/V. Reschke/P. Schwerin**
Local Search-Verfahren für ein Traveling Salesman-Problem in der Produktionssteuerung. April 1997
- Nr. 15 **K. Jank/G. Wäscher**
Mischungsoptimierung in der Wurstwarenherstellung - Eine Fallstudie. Mai 1997
- Nr. 16 **M. Becker**
Vom Objektbezug zur Subjektorientierung in der betrieblichen Weiterbildung. Mai 1997

- Nr. 17 **M. Becker**
Unternehmensformation und Personalentwicklung. Oktober 1997
- Nr. 18 **D. Gramlich**
Modellgestützte Analyse bankbetrieblicher Cross Risks - Ein Beitrag zur Theorie des Risikoverbundes bei Finanzmärkten. November 1997
- Nr. 19 **B. Siebenhüner/R. Antes/H.-U. Zabel**
Prevention Through Process Policy and Product Policy - A Study of European and German Environmental Policy. Dezember 1997
- Nr. 20 **S. Tamm**
Ranking Joint Stock Companies: An Analysis of Different Multi-criteria Methods. Dezember 1997
- Nr. 21 **R.M. Ebeling/H. Kuschel**
Auswirkungen der dritten Stufe der Europäischen Währungsunion auf die „Währungsumrechnung“ im Konzernabschluß. März 1998
- Nr. 22 **M. Becker/G. Rother**
Kompetenzentwicklung. April 1998
- Nr. 23 **M. Becker**
Flow statt Frust. Mai 1998
- Nr. 24 **M. Becker**
Gruppenarbeit - Theoretische Grundlagen und Evaluierung an ausgewählten Praxisbeispielen. Mai 1998
- Nr. 25 **A. Sapusek**
Fundamental Performance of Initial Public Offerings: Empirical Evidence from Germany. Juni 1998
- Nr. 26 **P. Schwerin/G. Wäscher**
A New Lower Bound for the Bin-Packing Problem and its Integration into MTP. August 1998
- Nr. 27 **F. Schneider**
Bankbetriebliches Preismanagement – Ergebnisse einer Umfrage bei Filial- und Direktbanken. August 1998
- Nr. 28 **R.M. Ebeling/K.F. Baumann**
Konsolidierung mehrstufiger Konzerne nach der Methode der Integrierten Konsolidierungstechnik. Januar 1999
- Nr. 29 **H. Foerster/G. Wäscher**
Pattern Reduction in One-dimensional Cutting Stock Problems. April 1999
- Nr. 31 **H.-U. Zabel**
Verhaltensmodell einer Ökologischen Ökonomik. Dezember 1999
- Nr. 32 **S. Dierkes**
Erlöscontrolling im Monopol und Oligopol. Dezember 1999
- Nr. 33 **K. Renger**
Effektivzinsberechnung nach den neuen EU-Regelungen. Dezember 1999
- Nr. 34 **N. Ehrentreich/R. Schmidt**
The German Corporate Governance System with Special Respect to Innovation. Dezember 1999
- Nr. 35 **S. Dierkes/S. Hanrath**
Ermittlung und Entscheidungsrelevanz kalkulatorischer Zinskosten für das Anlagevermögen bei nutzungsabhängigem Verschleiß – ein investionstheoretischer Lösungsansatz. Dezember 1999
- Nr. 36 **R. Schmidt**
Cross-Border Mergers and Corporate Governance – An Empirical Analysis from 1988 to 1999. Dezember 1999
- Nr. 37 **A. Sapusek**
Comovement and Divergence of European Growth Markets: The Case of EURO.NM Markets. Dezember 1999
- Nr. 38 **D. Möhlenbruch/B. Claus/.U.-M. Schmieder**
Corporate Identity, Corporate Image und Integrierte Kommunikation als Problembereiche des Marketing. Juli 2000

- Nr. 39 **R. Antes**
Die Flußkostenrechnung als Instrument betrieblicher Nachhaltigkeit? August 2000
- Nr. 40 **V. Reschke/G. Wäscher**
Local Search-Verfahren für die Lagerplatzvergabe in Mann-zur-Ware-Kommissioniersystemen.
Oktober 2000
- Nr. 41 **M. Becker**
Sind Wohltäter bessere Menschen? Oktober 2000
- Nr. 42 **B. Maczulaitis/R. Schmidt**
Corporate Governance and Product Innovation at Schering AG: A Case Study. Dezember 2001
- Nr. 43 **N. Ehrentreich/R. Schmidt**
Situation and Trends in the German Corporate Governance System. May 2002
- Nr. 44 **L. Schiefner**
Risk-Minimizing Hedging of General Cash Flows in Discrete Time. September 2002
- Nr. 45 **N. Ehrentreich**
The Santa Fe Artificial Stock Market Re-Examined – Suggested Corretions. September 2002
- Nr. 46 **D. Schneider**
Junger Wein in alten Schläuchen: der frühen Universität Halles – Beitrag zum Gestaltwandel des
ökonomischen Denkens. Dezember 2002
- Nr. 47 **L. Schiefner/R. Schmidt**
Shareholder Value at Risk: Concept for Company Valuation, Implementation, and Simulation Example. April
2003
- Nr. 48 **E. Altay**
The Effect of Macroeconomic Factors on Asset Returns: A Comparative Analysis of the German and the
Turkish Stock Markets in an APT Framework .June 2003
- Nr. 49 **E. Altay**
Cross-Autocorrelation between Small and Large Cap Portfolios in the German and Turkish Stock Markets.
August 2003
- Nr. 50 **M. Ecke**
Empirische Untersuchungen zu Kursaussetzungen am deutschen Aktienmarkt. August 2003
- Nr. 51 **A. Sapusek**
Floor versus Screen Trading: Evidence from Neuer Markt. Oktober 2003
- Nr. 52 **M. Becker**
Statt Ausbildungsvergütung wieder Lehrgeld zahlen? Nur eine radikale Änderung der Denkhaltung bringt
mehr Ausbildungsplätze. Oktober 2003
- Nr. 53 **M. Becker**
Von der Taube auf dem Dach und dem Spatzen in der Hand – Anmerkungen zu Akzeptanz, Gestaltung und
Motivationswirkung variabler Entlohnung. Dezember 2003
- Nr. 54 **R. Krengel/G. Kraft**
Mindestbesteuerung – Eine systematische und ökonomische Analyse. Juli 2004
- Nr. 55 **M. Becker**
Strategisch orientierte Auswahl und Qualifizierung von Nachwuchskräften. September 2004
- Nr. 56 **M. Becker**
Die Organisation der Personalentwicklung als Shared Service Center. November 2004
- Nr. 57 **M. Becker**
Die neue Rolle der Personalentwicklung. Dezember 2004
- Nr. 58 **M. Becker**
Flow statt Frust: Der Weg zum motivierten und leistungsstarken Mitarbeiter. April 2006
- Nr. 59 **C. Bierwirth/F. Meisel**
A fast Heuristic for Quay Crane Scheduling with Interference Constraints. November 2006
- Nr. 60 **J. Bron**
Das G-REIT-Gesetz – eine Analyse auf Basis des Gesetzentwurfes der Bundesregierung. Dezember 2006

- Nr. 61 **M. Becker**
Das Allgemeine Gleichbehandlungsgesetz (AGG) erzwingt Diversity Management. Eine Analyse des AGG und personalwirtschaftliche Gestaltungshinweise. Januar 2007
- Nr. 62 **H.-Ulrich Zabel**
Umweltmanagement auf dem Weg zur Nachhaltigkeit - 10 Jahre "Betriebliches Umweltmanagement" an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Januar 2007
- Nr. 63 **Susanne Berger / Christian Bierwirth**
The Collaborative Carrier Vehicle Routing Problem: Formulation and Solution Concepts. März 2007
- Nr. 64 **Lukas Balsler / Mark Wappler / Christoph Weiser**
Controlling von Shared Services Center. Juli 2007
- Nr. 65 **Prof. Dr. Hans-Ulrich Zabel**
Egoismusannahme auf dem Prüfstand - ein Thesenpapier. Dezember 2007
- Nr. 66 **Dirk Möhlenbruch / Marion Arnold / Annett Wolf**
Die Führung von Premiumhandelsmarken im Lebensmitteleinzelhandel - Eine informationsökonomische Analyse. Januar 2008
- Nr. 67 **Dirk Möhlenbruch / Sabrina Möller / Falk Ritschel**
Bundling auf Grundlage der adaptiven Conjoint-Analyse - Bedeutung und Vorgehensweise im Bereich der Autovermietung. Januar 2008
- Nr. 68 **Manfred Becker / Christoph Köllen / Sandra Maihöfner**
Wenn der Wirt das Getränk nicht mehr selbst bezahlt! Analyse und Aspekte einer nachfragerfinanzierten Hochschulbildung in Deutschland. Februar 2008
- Nr. 69 **Dirk Möhlenbruch**
Kundenzufriedenheit und Beziehungsqualität im Einzelhandel - Inhalte und Messung. März 2008
- Nr. 70 **Manfred Becker**
Wenn Forschung auf Reliabilität trifft! Forschen, Erkennen und Gestalten als grundlegende Aspekte wissenschaftlichen Arbeitens. April 2008

VOLKSWIRTSCHAFTLICHE DISKUSSIONSBEITRÄGE
MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

- Nr. 1 **H. Thietmeyer**
Finanzmärkte und Beschäftigung. Juli 1996
- Nr. 2 **V. Meier**
On the Choice Between Capital and Labor Mobility: The Small Country Case. September 1996
- Nr. 3 **V. Meier**
Long-Term Care Insurance and Life Insurance Demand. Oktober 1996
- Nr. 4 **M. Jäger/G. Steinmann**
Mortality and Economic Growth. Januar 1997
- Nr. 5 **V. Meier**
Health Insurance and Preventive Behavior. Januar 1997
- Nr. 6 **A. Brüggemann**
Enterprice Arrears in the Transformation – A Comparison of the Polish and East German Experiences. Januar 1997
- Nr. 7 **A. Brüggemann**
Soziale Absicherung und Privatisierung durch Direktinvestitionen. Januar 1997
- Nr. 8 **C. Lippert/H. Ahrens/M. Rittershofer**
The Significance of Institutions for the Design and Formation of Agro-Environmental Policy. März 1997

- Nr. 9 **U. Neyer**
Unterinvestition als Folge asymmetrisch verteilter Informationen unter Berücksichtigung risikoaversen Verhaltens der Kreditinstitute – Implikationen für Ostdeutschland. März 1997
- Nr. 10 **D. Gläser/G. Schmidt/E. Harz/S. Knauth/C. Schäfer**
Quo vadis? Auswertung der Ergebnisse der Befragung der AbsolventInnen der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät im Beobachtungszeitraum Wintersemester 1993/94 bis Wintersemester 1995/96. März 1997
- Nr. 11 **G. Steinmann/M. Jäger**
How Many Immigrants Can a Society Integrate? August 1997
- Nr. 12 **V. Meier**
Why the Young Do Not Buy Long-Term Care Insurance. Dezember 1997
- Nr. 13 **I. Meyne**
International Environmental Agreements as Two-Level Games. Dezember 1997.
- Nr. 14 **O. Fabel/V. Meier**
Optimal Parole Decisions. Februar 1998
- Nr. 15 **V. Meier**
Time Preference, International Migration, and Social Security. April 1998
- Nr. 16 **U. Eiteljörge/M. Klein**
International Know-how Trade and Foreign Direct Investment. Mai 1998
- Nr. 17 **A. Bäcker**
Eine politische Sicht der Schuldenkapazität von Emerging Economics. Dezember 1998
- Nr. 18 **D. Gläser/G. Schmidt/E. Harz/T. Keitz/U. Kramer/D. Meißner**
Cum grano salis. Evaluation der Lehre: Befragung der AbsolventInnen der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Januar 1999
- Nr. 19 **V. Meier**
Economic Consequences of the Posted Workers Directive. April 1999
- Nr. 20 **I. Meyne/A. Wagener**
Which Game Do We Play? On the Role of Strategic Variable in Environmental Negotiations. Mai 1999
- Nr. 21 **V. Meier**
Prison, Therapy, and Parole – An Economic Analysis. Juli 1999
- Nr. 22 **V. Meier**
Can Higher Wages for Foreign Workers Increase the Welfare of the Natives? Juli 1999
- Nr. 23 **V. Meier**
Economic Theories of Education. Januar 2000
- Nr. 24 **G. Nekkers**
A Regional Insider-Outsider Model with Cooperation and Harassment. Januar 2000
- Nr. 25 **U. Neyer**
Under- and Overinvestment as a Consequence of Informational Asymmetries – Implementations for the Transition in Eastern Germany. Mai 2000
- Nr. 26 **J. Wilde**
A Useful Generalization of Amemiya's Generalized Least Squares Estimator. Januar 2001
- Nr. 27 **F. Bal/G. Nekkers**
Knowledge Accumulation and Processing via Study Findings: Methodological Issues. Januar 2001

- Nr. 28 **U. Neyer**
Asymmetric Information in Credit Markets and Monetary Policy. Mai 2001
- Nr. 29 **U. Neyer**
Bank's Behaviour in the Interbank Market and the Operational Framework of the Eurosystem. November 2002
- Nr. 30 **J. Wilde**
Was reizt Sozialhilfeempfänger zum Ausstieg? Eine empirische Untersuchung mit dem Niedrigeinkommens-Panel. November 2002
- Nr. 31 **J. Wilde/A. Kubis**
Nichtinanspruchnahme von Sozialhilfe – Eine empirische Analyse des Unterwarteten. März 2004
- Nr. 32 **R. Klein**
Medical Savings Accounts or Deductable. April 2004
- Nr. 33 **M. Jäger**
The Economic Consequences of Immigration and why a Neoclassical Model will Fail. November 2004
- Nr. 34 **M. Jäger/G. Steinmann**
A Vintage Model to Production and Consumption. November 2004
- Nr. 35 **G. Steinmann**
Vorschläge für eine nachhaltige Familienpolitik. November 2004
- Nr. 36 **N. Ahlert**
Aspiration Balancing Agreement – A New Axiomatic Approach to Bounded Rationality in Negotiations. Dezember 2004
- Nr. 37 **S. Tagge**
An Alternative Approach to a Child-related Pension System. Dezember 2004
- Nr. 38 **M. Ahlert**
Public an Private Choices in Organ Donation. Dezember 2004
- Nr. 39 **G. Steinmann**
Die individuelle Rationalität: Kindermangel als Ergebnis der elterlichen Entscheidung über die Kinderzahl. Januar 2005
- Nr. 40 **U. Neyer**
Flexibility of Monetary Policy in the Euro Area and Remuneration of Required Reserves. Februar 2005
- Nr. 41 **G. Steinmann**
Kindermangel als Ursache ökonomischer und sozialer Probleme. Die Auswirkungen auf die sozialen Sicherungssysteme. April 2005
- Nr. 42 **A. Kubis**
Sectoral Movement as an Incentive for Interregional Migration. Mai 2005
- Nr. 43 **H. Gude**
Sortimentserweiterung als Reaktion auf den Markteintritt eines Billig-Anbieters. Juni 2005
- Nr. 44 **H. Gude**
Vorteile durch Produktdifferenzierung: Zahlungsbereitschaft und Präferenzen der Konsumenten als Marktzutrittsbarriere. September 2005
- Nr. 45 **H. Gude**
Über die Vorteilhaftigkeit einer temporären Duldung von Wettbewerbern. September 2005
- Nr. 46 **F. Bal/J. M. Vleugel**
Opening the Black Box of the Ceteris Paribus Clause. November 2005

- Nr. 47 **H. Gude**
Warum Unternehmen von hoher Wettbewerbsintensität profitieren können. Der Fall differenzierter Produkte. Januar 2006
- Nr. 48 **M. Ahlert**
A New Approach to Procedural Freedom in Game Forms. Februar 2006
- Nr. 49 **M. Ahlert**
Guarantees in Game Forms. Februar 2006
- Nr. 50 **M. Ahlert**
Discrete Allocation of a Divisible Good – Allocation of Chances. März 2006
- Nr. 51 **M. Ahlert/H. Kliemt**
Necessary and Sufficient Conditions to Make Numbers Count. März 2006
- Nr. 52 **F. Heyde/U. Neyer**
The Stability of the Banking Sector and Credit Default Swaps. Februar 2007
- Nr. 53 **M. Ahlert**
If not only Numbers Count – Allocation of Equal Chances. April 2007
- Nr. 54 **M. Klein**
Ein Input-Output-Ansatz für die Außenhandelstheorie. August 2007
- Nr. 55 **M. Klein**
Produktdifferenzierung und Markteintritt an Elektrizitätsmärkten: Ein Realloptionsansatz. September 2007
- Nr. 56 **Axel Saalbach:**
Leistungen und Probleme der Volksrepublik China bei der Herstellung von WTO-Konformität. November 2007
- Nr. 57 **Dianah Mukwate Ngui, Claudia Becker und Walter Thomi:**
Firm efficiency differences during the structural reform period: Empirical Evidence from the Kenyan Manufacturing firms. Dezember 2007
- Nr. 58 **Dianah Mukwate Ngui, Claudia Becker und Walter Thomi:**
Corruption, Insecurity and technical Efficiency: Evidence from Kenyan Manufacturing firms, Januar 2008

DISKUSSIONSBEITRÄGE ZU WIRTSCHAFTSINFORMATIK
UND OPERATIONS RESEARCH
MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

- Nr. 1 **Rogge, Rolf (Hrsg.)**
Internationales Kolloquium Wirtschaftsinformatik und Operations Research vom 09. bis 10. Oktober 2002 – Vorträge Teil 1. September 2003
- Nr. 2 **Rogge, Rolf (Hrsg.)**
Internationales Kolloquium Wirtschaftsinformatik und Operations Research vom 09. bis 10. Oktober 2002 – Vorträge Teil 2. September 2003
- Nr. 3 **Maier, Ronald; Hädrich, Thomas (Hrsg.)**
Szenarien für Wissensmanagement und E-Learning in Forschung und Lehre. Juni 2004
- Nr. 4 **Maier, Ronald; Trögl, Mathias (Hrsg.)**
Tagungsband des fünften interuniversitären Doktorandenseminars Wirtschaftsinformatik der Universitäten Halle(Saale), Jena und Leipzig. Dezember 2004
- Nr. 5 **Maier, Ronald; Trögl, Mathias**

Wissensmanagementsysteme für Wissenskooperationen. Mai 2005

- Nr. 6 **Kretzschmar, Falk; Reitzenstein, Ivo; Schramm, Moritz**
Ajax-Technologien in Model2-Webanwendungen. November 2006
- Nr. 7 **Kretzschmar, Falk**
The economic perspective on Service-Oriented Architectures. November 2006
- Nr. 8 **Reitzenstein, Ivo**
Entwurf einer Multi-Agenten-Simulation zur Analyse der Robustheit von Reputationsystemen. November 2006
- Nr. 9 **Maier, Ronald; Trögl, Mathias**
Aktive Dokumente. November 2006
- Nr. 10 **R. Rogge/M. Steglich**
Betriebswirtschaftliche Entscheidungsmodelle zur Verfahrenswahl sowie Auflagen- und Lagerpolitiken. Januar 2007
- Nr. 11 **A. Linke/R. Peters/S. Schäfer**
PrintIT2006: E-Business in der Druck- und Medienindustrie – Eine Studie zum Status quo. Januar 2007
- Nr. 12 **R. Peters**
Agentenbasierte Erweiterungen einfacher Auktionen. Januar 2007
- Nr. 13 **F. Kretzschmar/R. Peters**
Koordination von SOA-basierten Wertschöpfungsketten – Ein vergleichendes Simulationsexperiment. Juni 2007
- Nr. 14 **M. Backhaus / R. Rogge**
Agieren statt Reagieren - Wege zu einem aktiven Management medialer Nutzungsrechte im Rundfunk. September 2007
- Nr. 15 **R. Peters (Hrsg.)**
Tagungsband des achten interuniversitären Doktorandenseminars Wirtschaftsinformatik der Universitäten Halle, Jena und Leipzig. Dezember 2007.
- Nr. 16 **I. Reitzenstein / R. Peters**
Robuste Reputationsysteme für Elektronische Märkte – ein evolutionärer Bewertungsansatz. Dezember 2007
- Nr. 17 **I. Reitzenstein / R. Peters**
Vertrauen im E-Commerce - Ein Überblick zu Reputationsystemen. Februar 2008
- Nr. 18 **R. Rogge / M. Steglich / T. Mellouli**
Produktionsprogrammplanung unter Einbeziehung von Preis-Absatz-Funktionen und Lernkurveneffekten. Juni 2008