

Peter-Alexander Plein  
Umweltschutzorientierte  
Fertigungsstrategien

**Peter-Alexander Plein**

# **Umweltschutzorientierte Fertigungsstrategien**

**DUV** Deutscher UniversitätsVerlag  
GABLER · VIEWEG · WESTDEUTSCHER VERLAG

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Plein, Peter-Alexander**

Umweltschutzorientierte Fertigungsstrategien /

Peter-Alexander Plein. - Wiesbaden :

Dt. Univ.-Verl., 1989

Zugl.: Köln, Univ., Diss., 1988

ISBN-13: 978-3-8244-0019-5 e-ISBN-13: 978-3-322-86361-4

DOI: 10.1007/978-3-322-86361-4

Der Deutsche Universitäts-Verlag ist ein Unternehmen der Verlagsgruppe Bertelsmann.

© Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, Wiesbaden 1989



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN-13: 978-3-8244-0019-5

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit wurde im Dezember 1988 als Dissertation von der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln angenommen.

Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. pol. Th. Ellinger für die Förderung und Betreuung meiner Arbeit sowie Herrn Prof. Dr. G. Beuermann für die Übernahme des Korreferates.

Mein Dank gebührt außerdem Herrn Priv.-Doz. Dr. R. Haupt und Herrn Dr. R. Leisten. Beide gaben mir wertvolle fachliche Anregungen. Weiterhin gilt mein besonderer Dank all meinen Freunden, die mir bei der Entstehung der Arbeit zur Seite standen.

## INHALT

<b>Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen</b>	<b>6</b>
<b>Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>12</b>
1.1 Einführung in die Problemstellung	12
1.2 Aufbau der Arbeit	13
<b>2 Darstellung der Schadstoffemissionsproblematik aus einzel- und gesamtwirtschaftlicher Sicht</b>	<b>15</b>
2.1 Systemtheoretische Betrachtung des Betriebes	15
2.2 Der Zielkonflikt zwischen dem Betrieb und seinen Teilumwelten	23
2.2.1 Erfassung der Struktur von Zielsystemen	23
2.2.2 Entwicklung eines umweltbezogenen betrieblichen Zielsystems	25
2.2.3 Motivation der Integration von Emissionszielen in das betriebliche Zielsystem	30
2.3 Problematik der Erfassung von Schadstoffemissionen	32
2.3.1 Grundprobleme des Messens	32
2.3.2 Qualitative Erfassung von Schadstoffen	33
2.3.3 Quantitative Erfassung von Schadstoffen	34
2.4 Problematik der Bewertung von Schadstoffemissionen	39
2.5 Darstellung gesamtwirtschaftlicher emissionspolitischer Instrumente	42
2.5.1 Instrumente indirekter Verhaltenssteuerung	45
2.5.2 Instrumente direkter Verhaltenssteuerung	46
2.6 Die betriebliche Anpassung an den Einsatz umweltpolitischer Restriktionen	48

<b>3</b>	<b>Produktions- und kostentheoretische Grundlegung</b>	<b>51</b>
3.1	Die ökologische Umwelt als Produktionsfaktor	51
3.2	Die emissionsorientierte Produktions- und Kostentheorie als Erkenntnisziel der Betriebswirtschaftslehre	55
3.3	Allgemeine Darstellung und Diskussion der Produktionsfunktion	58
3.4	Typen von Produktionsfunktionen	63
<b>4</b>	<b>Integration der Schadstoffemissionsproblematik in die betriebliche Produktions- und Kostentheorie</b>	<b>66</b>
4.1	Typologisierung von emissionsbezogenen Anpassungsstrategien in der Produktion	66
4.1.1	Anpassung durch Verfahrenssubstitution	68
4.1.2	Anpassung durch Verbrauchsfaktoreinsatzsubstitution	69
4.1.3	Anpassung bei gegebener Menge an genutzten Aggregaten (Verfahrensoptimierung vom Typ I)	70
4.1.4	Anpassung durch Veränderung der genutzten Menge an Aggregaten (Verfahrensoptimierung vom Typ IIa und Typ IIb)	72
4.2	Darstellung von Emissions- und Verbrauchsfunktionen	74
4.2.1	Herleitung der Funktionen	74
4.2.2	Empirische Relevanz der Funktionen	77
4.3	Emissionsabgabengerechte Anpassungsstrategien der Produktion	79
4.3.1	Abgabeninduzierte Faktorsubstitution	80
4.3.2	Abgabeninduzierte Verfahrenssubstitution	81
4.3.3	Abgabeninduzierte Verfahrensoptimierung	83

4.4	Emissionsauflagengerechte Anpassungsstrategien der Produktion im 1-Stufen-Fall unter Verwendung der Verfahrensoptimierung	87
4.4.1	Auf das Massenverhältnis bezogene Strategien	89
4.4.1.1	Die Optimierung des Massenverhältnisses bei gegebenem Produktionsniveau (Fälle I bis III)	89
4.4.1.2	Die Maximierung des Produktionsniveaus unter Beachtung eines in Form des Massenverhältnisses gegebenen Grenzwertes	95
4.4.2	Strategien der Maximierung des Produktionsniveaus unter Berücksichtigung eines in Form des Massenstromes gegebenen Grenzwertes	98
4.4.2.1	Kontinuitätsanforderungen an die Schadstoffemission und deren Konsequenzen für die Formulierung von Zielfunktion und Nebenbedingungen	100
4.4.2.2	Algorithmus zur Bestimmung des maximalen Produktionsniveaus unter Berücksichtigung eines in Form des Massenverhältnisses gegebenen Grenzwertes	106
4.4.2.3	Strategien bei fehlender Zeitrestriktion (kein $t^{\max}$ )	109
	Fall 1: ... und $ds/dt \leq s^{\text{grenz}}$	111
	Fall 2: ... und $s/t^* \leq s^{\text{grenz}}$	113
4.4.2.4	Strategien bei gegebener Zeitrestriktion (mit $t^{\max}$ )	117
	Fall 3: ... und $ds/dt \leq s^{\text{grenz}}$	117
	Fall 4: ... und $s/t^* \leq s^{\text{grenz}}$	119

4.4.2.5	Strategien bei fixierter Zeit ( $t^{fix}$ )	121
	Fall 5: ... ohne Splittingmöglichkeit; ( $ds/dt \leq s^{grenz}$ )	121
	Fall 6: ... mit Splittingmöglichkeit; $d^{min} = ]d^0, d^{opt}]$ ; ( $s/t^* \leq s^{grenz}$ )	123
4.4.3	Auf die Massenkonzentration bezogene Strategien	130
4.4.4	Interdependenzen der auf Emissionskennzahlen ausgerichteten Strategien	133
4.5	Emissionsauflagengerechte Anpassungsstrategien der Produktion im Mehr-Stufen-Fall unter Verwendung der Verfahrensoptimierung	135
4.5.1	Auf das Massenverhältnis bezogene Strategien	137
4.5.1.1	Fall IV: ... bei fehlender Zwischenlagerungsmöglichkeit	137
4.5.1.2	Fall V: ... bei gegebener Zwischenlagerungsmöglichkeit ohne Zeitrestriktion (ohne $t^{max}$ )	138
4.5.1.3	Fall VI ... bei gegebener Zwischenlagerungsmöglichkeit mit Zeitrestriktion (mit $t^{max}$ )	140
4.5.1.4	Fall VII ... bei gegebener Zwischenlagerungsmöglichkeit und fixierter Zeit (mit $t^{fix}$ )	141
4.5.2	Die Maximierung des Produktionsniveaus in der mehrstufigen Fertigung unter Berücksichtigung eines in Form des Massenstromes gegebenen Grenzwertes	142
4.5.2.1	Die Problematik der Nutzung von zeitbezogenen Emissionskontingenten im Mehr-Stufen-Fall	143

4.5.2.2	Strategien bei fehlender Zwischenlagerungsmöglichkeit (Fall 7)	143
4.5.2.3	Strategien bei gegebener Zwischenlagerungsmöglichkeit und fehlender Zeitrestriktion (kein $t^{\max}$ )	144
	Fall 8: ... und $ds/dt \leq s^{\text{grenz}}$	145
	Fall 9: ... und $s/t^* \leq s^{\text{grenz}}$	150
4.5.2.4	Strategien bei gegebener Zwischenlagerungsmöglichkeit und Zeitrestriktion (mit $t^{\max}$ )	154
	Fall 10: ... und $ds/dt \leq s^{\text{grenz}}$	163
	Fall 11: ... und $s/t^* \leq s^{\text{grenz}}$	165
4.5.2.5	Strategien bei gegebener Zwischenlagerungsmöglichkeit und fixierter Zeit (mit $t^{\text{fix}}$ )	170
	Fall 12: ... und $ds/dt \leq s^{\text{grenz}}$	170
	Fall 13: ... und $s/t^* \leq s^{\text{grenz}}$	170
<b>5</b>	<b>Schlußbetrachtung</b>	<b>176</b>
5.1	Kritik und Erweiterungsmöglichkeiten des dargestellten Konzeptes	176
5.2	Zusammenfassung	178
<b>Anlagen</b>		<b>180</b>
<b>Literatur</b>		<b>191</b>

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

### 1 Abbildungen

Abbildung 2.1:	Systemstruktur Unternehmung/ relevante Teilumwelten	18
Abbildung 2.2:	Darstellung von Zielbeziehungen	24
Abbildung 2.3:	Zielbeziehungen der Unternehmung zu den relevanten Teilumwelten	28
Abbildung 2.4:	Grenzwertsetzung auf Grundlage von Schädlichkeitsbestimmung	38
Abbildung 2.5:	Internalisierung von Emissionskosten	44
Abbildung 2.6:	Zustandekommen und Wirkungsweise staatlicher emissionspolitischer Instrumente	48
Abbildung 2.7:	Betriebliche Anpassung an den Einsatz staatlicher emissionspolitischer Instrumente	49
Abbildung 3.1:	Die ökologische Umwelt als Produktionsfaktor	52
Abbildung 4.1:	Anpassungsstrategien zur Minimierung der Emissionsabgabe (des Faktorverbrauchs) pro Outputeinheit im 1-Stufen-Fall (Literatur-überblick)	73
Abbildung 4.2:	Graphische Darstellung von Emissions- bzw. Verbrauchsfunktionen	75
Abbildung 4.3:	Abgas-Emissionsfunktionen bei unterschiedlichem Fahrbetrieb in Abhängigkeit vom Leistungsgrad bei KFZ	78
Abbildung 4.4:	Faktorsubstitution durch Emissionsabgaben	81
Abbildung 4.5:	Verfahrenssubstitution durch Emissionsabgaben bei substitutionalen Faktoreinsatzbedingungen	82
Abbildung 4.6:	Verfahrenssubstitution durch Emissionsabgaben bei limitationalen Faktoreinsatzbedingungen	83
Abbildung 4.7:	Verfahrensoptimierung bei Emissionsabgaben	85
Abbildung 4.8:	Emissionsfunktion $s(b)$ bei Intensitätssplitting	92
Abbildung 4.9:	Entwicklung des optimalen Massenverhältnisses bei Anhebung des Produktionsniveaus	96

Abbildung 4.10:	Emissionsverlauf bei vorgeschriebenem kontinuierlichem Massenstrom, unerlaubter Fall	102
Abbildung 4.11:	Emissionsverlauf bei vorgeschriebenem kontinuierlichem Massenstrom, erlaubter Fall	103
Abbildung 4.12:	Emissionsverlauf bei gestatteterem diskontinuierlichem Massenstrom, erlaubter Fall	105
Abbildung 4.13:	Bestimmung des Restriktionsgrades von Massenstrom-Grenzwerten	108
Abbildung 4.14:	Leistungsgradermittlung für gegebene Massenstrom-Grenzwerte	110
Abbildung 4.15:	Anpassungspfade in Abhängigkeit vom Restriktionsgrad des Grenzwertes (Fall 1)	112
Abbildung 4.16:	Emissionsverlauf bei erlaubtem diskontinuierlichem Massenstrom; $d^{min}=0$	114
Abbildung 4.17:	Anpassungspfade in Abhängigkeit vom Restriktionsgrad des Grenzwertes (Fall 2)	116
Abbildung 4.18:	Anpassungspfade in Abhängigkeit vom Restriktionsgrad des Grenzwertes (Fall 3)	118
Abbildung 4.19:	Anpassungspfade in Abhängigkeit vom Restriktionsgrad des Grenzwertes (Fall 4)	120
Abbildung 4.20:	Anpassungspfade in Abhängigkeit vom Restriktionsgrad des Grenzwertes (Fall 5)	122
Abbildung 4.21:	Anpassungspfade in Abhängigkeit vom Restriktionsgrad des Grenzwertes (Fall 6)	126
Abbildung 4.22:	Emissionsverlauf bei erlaubtem diskontinuierlichem Massenstrom; $d^{min}>0$	129
Abbildung 4.23:	Abhängigkeit des Abgasvolumens/t vom Leistungsgrad für verschiedene M	131
Abbildung 4.24:	Abhängigkeit der Massenkonzentration vom Leistungsgrad und/oder vom Abgasvolumen	132
Abbildung 4.25:	Emissionsverlauf bei greifender NB 3 (Produktion mit $d_I^{opt}$ und $d_{II}^{opt}$ )	146
Abbildung 4.26:	Emissionsverlauf bei Ausnutzung des Kontingentes mittels $d_I^*$ und $d_{II}^*$	148
Abbildung 4.27:	Emissionsverlauf im 2-Stufen-Fall mit Intensitätssplitting, $d^{min}=0$ ; (kein $t^{max}$ )	151

Abbildung 4.28:	Emissionsverlauf im 2-Stufen-Fall; ohne Intensitätssplitting; (mit $t^{max}$ )	155
Abbildung 4.29:	Emissionssteuerung bei verschiedenen Einsatzarten von Aggregatgruppen	156
Abbildung 4.30:	Darstellung des Durchschnitts- und Grenz-emissionsverlaufs	159
Abbildung 4.31:	Vorzug des synchronen Einsatzes aufgrund von Grenzemissionsbestimmung	160
Abbildung 4.32:	Vorzug des getrennten Einsatzes aufgrund von Grenzemissionsbestimmung	161
Abbildung 4.33:	Emissionsverlauf im 2-Stufen-Fall; mit Intensitätssplitting, $d^{min}=d^0$ ; (mit $t^{max}$ )	166
Abbildung 4.34:	Emissionsverlauf im 2-Stufen-Fall; mit Intensitätssplitting, $d^0 < d^{min} < d^{opt}$ ; (mit $t^{fix}$ )	172

## 2 Tabellen

Tabelle 4.1:	Produktionsniveauermittlung bei verschiedenen Grenzwert-Restriktionsgraden (Fall 8)	149
Tabelle 4.2:	Produktionsniveauermittlung bei verschiedenen Grenzwert-Restriktionsgraden (Fall 9)	153
Tabelle 4.3:	Produktionsniveauermittlung bei verschiedenen Grenzwert-Restriktionsgraden (Fall 10)	164
Tabelle 4.4:	Produktionsniveauermittlung bei verschiedenen Grenzwert-Restriktionsgraden (Fall 11)	168
Tabelle 4.5:	Produktionsniveauermittlung bei verschiedenen Grenzwert-Restriktionsgraden (Fall 13)	173

## Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen

### 1 Variable und Konstanten

b	=	Bearbeitungseinheit(en)
d	=	Leistungsgrad
r	=	Verbrauchsfaktoreinheit(en)
s	=	Schadstoffeinheit(en)
t	=	Zeiteinheit(en)
$d^{\max}$	=	maximaler Leistungsgrad
$d^{\min}$	=	minimaler Leistungsgrad
$d^{\text{opt}}$	=	optimaler Leistungsgrad
$d^{\text{taa}}$	=	im Rahmen der Arbeit beschriebener Leistungsgrad mit besonderer Lage
$d^{\text{tao}}$	=	im Rahmen der Arbeit beschriebener Leistungsgrad mit besonderer Lage
$d^*$	=	im Rahmen der Arbeit beschriebener Leistungsgrad mit besonderer Lage
$d^0$	=	Leistungsgrad mit dem Wert Null
$s^{\text{grenz}}$	=	$s/t^*$ = Massenstrom-Grenzwert
$(s/b)^{\text{grenz}}$	=	Massenverhältnis-Grenzwert
$t^{\max}$	=	maximaler Einsatzzeitraum
$t^{\text{fix}}$	=	fixierter Einsatzzeitraum
$t^*$	=	vorgegebener Einsatzzeitraum im Zusammenhang mit dem Massenstrom-Grenzwert
M	=	Proportionalitätsfaktor
N	=	Proportionalitätsfaktor
$\bar{n}$	=	Anzahl der Leistungsabfolgen bestimmter Leistungsschaltungen
V	=	Volumen
$\alpha$	=	Koeffizient der Emissions- bzw. Verbrauchsfunktion
$\beta$	=	Koeffizient der Emissions- bzw. Verbrauchsfunktion
$\Gamma$	=	Koeffizient der Emissions- bzw. Verbrauchsfunktion
$\pi$	=	Preis
[ ]	=	bezeichnen immer ein geschlossenes Intervall mit/ ohne Einschluß des ersten/ letzten Wertes z. B. $[t_1, t_2]$ = Zeitintervall zwischen $t_1$ und $t_2$ einschließlich $t_1$ und $t_2$ $]d^0, d^{\max}]$ = Leistungsgradintervall zwischen $d^0$ und $d^{\max}$ einschließlich $d^{\max}$ ausschließlich $d^0$

## 2 Indizes:

### 2.1 niedriggestellte Indizes:

- $i$  = bezogen auf Schadstoffe  
 $j$  = bezogen auf Verbrauchsfaktoren

in Verbindung mit  $d$ :

- $i, 2$ ; z. B.  $d_1$  = bezeichnet einen von zwei möglichen Leistungsgraden, die innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls verwendet werden  
 $i, II$ ; z. B.  $d_I$  = Leistungsgrad des/der Aggregate(s) auf Stufe I  
 $\bar{\phantom{i}}$  z. B.  $d_{\bar{\phantom{i}}}$  = durchschnittlicher Leistungsgrad

in Verbindung mit  $t$ :

- $i, 2, 3, 4$ ; z. B.  $t_1$  = bezeichnet einen Zeitpunkt  
 $i, II$ ; z. B.  $t_I$  = Einsatzzeit des/der Aggregate(s) auf Stufe I

in Verbindung mit  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Gamma$ :

- $i, II$ ; z. B.  $\alpha_1$  = Koeffizient bezieht sich auf Emissionsfunktion des/der Aggregate(s) auf Stufe I

### 2.2 hochgestellte Indizes:

in Verbindung mit  $d$ :

- $\#$ ; z. B.  $d^{\#}_I$  = gibt ein bestimmtes Größenverhältnis zu  $d_I$  wieder

in Verbindung mit  $t$ :

- $(1), (2)$ ; z. B.  $t^{(1)}$  = bezeichnet ein Einsatzzeitintervall  
 $'$ ; z. B.  $t'_I$  = vorläufig ermittelte Einsatzzeit, die eines späteren Abgleichs bedarf  
 $\#$ ; z. B.  $d^{\#}_I$  = gibt ein bestimmtes Größenverhältnis zu  $d_I$  wieder

### 3 Abkürzungen

BFuP	Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis
bzw.	beziehungsweise
DBW	Die Betriebswirtschaft
d. h.	das heißt
f.	folgende
f. a.	für alle
FEB	Faktoreinsatzbedingungen
ff.	fortfolgende
hrsg.	herausgegeben
HWB	Handwörterbuch der Betriebswirtschaftslehre
HWO	Handwörterbuch der Organisation
HWPProd	Handwörterbuch der Produktionswirtschaft
i. d. R.	in der Regel
i. e. S.	in engerem Sinne
i. w. S.	in weiterem Sinne
Jg.	Jahrgang
o. a.	oben angeführt(e, en)
o. g.	oben genannt(e, en)
s.	siehe
S.	Seite
Sp.	Spalte
to	Tonne
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
v.	von
vgl.	vergleiche
WiSt	Wirtschaftswissenschaftliches Studium
wisu	Das Wirtschaftsstudium
z. B.	zum Beispiel
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfbF	Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung
z. T.	zum Teil