

Püchert

Ein Ansatz zur strategischen Planung von Kreislaufwirtschaftssystemen

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Holger Püchert

Ein Ansatz zur strategischen Planung von Kreislauf- wirtschaftssystemen

Dargestellt für das Altautorecycling
und die Eisen- und Stahlindustrie

Mit einem Geleitwort
von Prof. Dr. Otto Rentz

DeutscherUniversitätsVerlag

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Püchert, Holger:

Ein Ansatz zur strategischen Planung von Kreislaufwirtschaftssystemen :
dargestellt für das Altautorecycling und die Eisen- und Stahlindustrie
/ Holger Püchert. Mit einem Geleitw. von Otto Rentz.

- Wiesbaden : Dt. Univ.-Vlg. ; Wiesbaden : Gabler, 1996

(Gabler Edition Wissenschaft)

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 1995

ISBN 978-3-8244-6305-3

ISBN 978-3-322-99540-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99540-7

Der Deutsche Universitäts-Verlag und der Gabler Verlag sind Unternehmen der Bertelsmann Fachinformation.

Gabler Verlag, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden

© Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden 1996

Lektorat: Claudia Splittgerber / Monika Mülhausen



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

Höchste inhaltliche und technische Qualität unserer Produkte ist unser Ziel. Bei der Produktion und Auslieferung unserer Bücher wollen wir die Umwelt schonen: Dieses Buch ist auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

ISBN 978-3-8244-6305-3

Meinen Eltern
Margot und Jürgen Püchert

Geleitwort

Die in jüngster Zeit zunehmend artikulierten Forderungen nach Ressourcenschonung, Entlastung von Deponien sowie Vermeidung von Umweltbeeinträchtigungen laufen bekanntlich auf die Entwicklung neuer Ansätze eines Stoffstrommanagements in Raum und Zeit hinaus. Hierzu zählen die Problematiken der Vermeidung von Reststoffen bzw. der Aufbereitung und Verwertung derselben in bestehenden und/oder neuen Märkten. Das Spektrum zu betrachtender Stoffströme reicht dabei von Spurenstoffen, wie etwa dem Quecksilbereintrag mit Kohle bei der Energieumwandlung in Kraftwerken, bis hin zu Massenreststoffen wie beispielsweise Altautos oder Hochofenschlacke.

In dem vorliegenden Buch wird ein Konzept zur strategischen Planung von Kreislaufwirtschaftssystemen entwickelt, aber nicht nur theoretisch, sondern exemplarisch angewandt auf die Problembereiche Altautoentsorgung (Altprodukte) sowie Reststoffe im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie (Kuppelprodukte). Ein solches Konzept muß nicht nur die anfallenden Mengen und Qualitäten berücksichtigen, sondern auch die Anfallortverteilung, die Maßnahmenbündel zur Vermeidung und Verwertung dieser Stoffe sowie die Absatzpotentiale für entstehende Sekundärrohstoffe, wobei zwischen Absatz dieser Sekundärrohstoffe und -quellen entsprechende neue Logistiksysteme und Aufbereitungstechnologien zu schalten sind.

Herr Püchert legt mit dieser Dissertation einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft vor, indem er die bisherigen Ansätze der Literatur aufgreift, systematisch weiterentwickelt und konkret auf praktische Planungsprobleme anwendet.

Prof. Dr. Otto Rentz

Vorwort

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Entwicklung eines betriebswirtschaftlichen strategischen Planungsmodells zur ökonomisch effizienten Gestaltung von Kreislaufwirtschaftssystemen und dessen exemplarische Anwendung auf das Altautorecycling (Altprodukttyp) und die Reststoffe der Eisen- und Stahlindustrie (Produktionsrückstände). Sie entstand in den Jahren 1992 bis 1995 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)/Deutsch-Französischen Institut für Umweltforschung (DFIU) der Universität Karlsruhe (TH).

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. rer. nat. O. Rentz, gilt mein besonderer Dank für die fachliche und persönliche Unterstützung meiner Arbeit. Herrn PD Dr. rer. pol. H. Böttcher, Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der Universität Karlsruhe (TH), und Prof. Dr.-Ing. G. Fleischer, Institut für Technischen Umweltschutz - Fachgebiet Abfallwirtschaft, Technische Universität Berlin, danke ich für die Übernahme der Korreferate und die wertvollen fachlichen Hinweise.

Stellvertretend für alle Kolleginnen und Kollegen am IIP/DFIU möchte ich mich bei der Gruppe *umweltintegriertes Produktionsmanagement* am IIP/DFIU und dort insbesondere bei Herrn Dr. rer. pol. Th. Spengler und Dipl.-Ing. T. Penkuhn für die gute Zusammenarbeit bei den durchgeführten Projekten sowie für viele konstruktive Diskussionen und Anregungen bedanken. Weiterhin danke ich meinen Diplomanden, Herrn Dipl.-Wi.-Ing. Frank Tolzmann und Herrn Dipl.-Wi.-Ing. Mike Heinrich, für die umfangreichen Softwareentwicklungen.

Meinen Eltern danke ich für die hervorragende Ausbildung und die stete Unterstützung während meiner gesamten Studien- und Promotionszeit.

Holger Püchert

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	4
1.3	Vorgehensweise.....	4
2	Grundlagen der Kreislaufwirtschaft	7
2.1	Aufkommen an Reststoffen und Abfällen aus dem produzierenden Gewerbe.....	7
2.2	Reststoff- und Abfallanfall im Produktionssystem.....	11
2.3	Einordnung der Kreislauf- und Abfallwirtschaft in die strategische Unternehmensplanung.....	13
2.4	Kreislaufwirtschaft und logistische Fragestellungen.....	16
2.4.1	Maßnahmen- und Verfahrenswahl.....	18
2.4.2	Standortwahl.....	20
2.4.3	Transport.....	21
2.5	Kreislaufwirtschafts- und Abfallsysteme.....	22
2.6	Planungszeitraum.....	23
3	Bestehende und zukünftige rechtliche Anforderungen zur Reststoffvermeidung und -verwertung	25
3.1	Europäische Rechtsgrundlagen.....	26
3.1.1	EG-Abfallrahmenrichtlinie.....	27
3.1.2	EU-Verordnung zum Umweltaudit.....	28
3.2	Das Bundes-Immissionsschutzgesetz.....	30
3.2.1	Ziele, Grundsätze und Aufbau.....	30
3.2.2	Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen.....	30
3.2.3	Genehmigungsbedürftige Anlagen.....	31
3.2.4	Reststoffvermeidungs- und Verwertungsgebot nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG.....	32
3.2.5	Auslegung der unbestimmten Rechtsbegriffe zur Technik.....	34
3.2.5.1	Stand der Technik.....	35
3.2.5.2	Stand von Wissenschaft und Technik.....	36
3.2.5.3	Regeln der Technik.....	36
3.2.5.4	Technische Möglichkeit.....	37

3.2.6	Verbindung des § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG mit anderen gesetzlichen Regelungen des BImSchG.....	38
3.2.7	Auswirkungen des § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG für Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagenarten.....	39
3.2.7.1	Klärung der Rangfolge: Vermeidung - Verwertung - Beseitigung	39
3.2.7.2	Verfahrensauswahl	40
3.2.7.3	Räumliche Befristung der Reststoffverwertungspflicht.....	41
3.2.7.4	Zeitliche Befristung der Reststoffverwertungspflicht.....	41
3.2.7.5	Beauftragung Dritter	42
3.2.8	Zielkonflikte zwischen den verschiedenen Pflichten und Geboten des BImSchG.....	42
3.2.9	Vollzug des Reststoffvermeidungs- und -verwertungsgebots	43
3.2.10	Fazit	43
3.3	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz.....	44
3.3.1	Grundgedanken und vorliegende Probleme des Abfallgesetzes.....	44
3.3.2	Ziele und Aufbau des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes	45
3.3.3	Grundsätze und Grundpflichten der abfallarmen Kreislaufwirtschaft	47
3.3.4	Anforderungen an die Kreislaufwirtschaft.....	48
3.3.5	Pflichten für Anlagenbetreiber	49
3.3.6	Auswirkungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes auf Anlagenbetreiber.....	50
3.4	Ausgewählte Verordnungen und Technische Anleitungen.....	51
3.4.1	Altauto-Verordnung	52
3.4.2	Altölverordnung.....	52
3.4.3	TA Shredderrückstände und TA Abfall	53
3.4.4	Verordnung der EU zur Abfallverbringung EWG 259/93	54
3.5	Zusammenfassung	55
4	Altproduktverwertung am Beispiel des Altautorecyclings	57
4.1	Pkw-Bestand, Neuzulassungen und Altfahrzeugbestand in Deutschland.....	58
4.2	Einsatzstoffe im Automobil	60
4.3	Istanalyse der Altautoverwertung.....	61
4.3.1	Altautoverwerter.....	62
4.3.2	Shredderbetreiber.....	63
4.3.3	Aufbereitung und Entsorgung weiterer Fraktionen	67
4.3.4	Probleme der heutigen Altautoverwertung	67
4.4	Bestehende Ansätze zur zukünftigen Altautoverwertung	68
4.4.1	Konzept des Verbandes der Automobilindustrie (VDA)	68

4.4.2	Konzept des europäischen Herstellerkreises Autorecycling (Eurhekar).....	70
4.4.3	Metallurgisches Recycling, Konzept der Mercedes-Benz AG.....	71
4.4.4	Weitere Konzepte und Pilotprojekte im In- und Ausland.....	72
4.5	Industrielle Umsetzung der Altautoverwertung.....	72
4.5.1	Trockenlegungs- und Demontageziele.....	72
4.5.2	Demontageabläufe.....	73
4.5.3	Platzgestaltung.....	74
4.5.4	Organisation und Logistik.....	75
4.6	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der zukünftigen Altautoverwertung.....	76
4.7	Zusammenfassung des Beispiels Altautorecycling.....	77
5	Produktionsrückstandsverwertung am Beispiel der Eisen- und Stahlindustrie	79
5.1	Internationales und wirtschaftliches Umfeld der Stahlindustrie.....	80
5.1.1	Weltweite Stahlproduktion.....	80
5.1.2	Konkurrenzfähigkeit der deutschen Stahlindustrie.....	81
5.1.2.1	Produktionstechnologien.....	81
5.1.2.2	Energie.....	82
5.1.2.3	Arbeitsproduktivität.....	83
5.1.2.4	Umweltschutz und Subventionen.....	83
5.1.3	Zusammenfassung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Eisen- und Stahlindustrie.....	85
5.2	Analyse des Reststoffanfalls in einem integrierten Hüttenwerk und einem Elektrostahlwerk.....	86
5.2.1	Sinteranlage.....	87
5.2.1.1	Verfahrensbeschreibung.....	88
5.2.1.2	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen.....	88
5.2.1.3	Analyse der anfallenden Reststoffe.....	89
5.2.2	Hochofenanlage.....	90
5.2.2.1	Verfahrensbeschreibung.....	90
5.2.2.2	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen.....	91
5.2.2.3	Analyse der anfallenden Reststoffe.....	92
5.2.3	Roheisenvorbehandlung.....	94
5.2.3.1	Verfahrensbeschreibung und spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen.....	94
5.2.3.2	Anfallende Reststoffe.....	95
5.2.4	Stahlwerk.....	95
5.2.4.1	Verfahrensbeschreibung.....	95

5.2.4.2	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen	96
5.2.4.3	Anfallende Reststoffe	96
5.2.5	Elektrostahlwerk	97
5.2.5.1	Verfahrensbeschreibung	98
5.2.5.2	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen	98
5.2.5.3	Anfallende Reststoffe	98
5.2.6	Sekundärmetallurgie	99
5.2.7	Stranggießanlage und Walzwerk	100
5.2.7.1	Verfahrensbeschreibung	100
5.2.7.2	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen	100
5.2.7.3	Anfallende Reststoffe	101
5.2.8	Gesamtübersicht des Hüttenwerksprozesses	101
5.3	Istanalyse der Kreislaufwirtschaft in der Eisen- und Stahlindustrie	103
5.3.1	Eisenhüttenschlacken	104
5.3.1.1	Hochofenschlackenverwertung	105
5.3.1.2	Stahlwerksschlackenverwertung	106
5.3.2	Hüttenschutt	107
5.3.3	Staub-, Schlamm- und Walzzunderverwertung	108
5.4	Technisch mögliche Maßnahmen gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG	109
5.4.1	Inputseitige Maßnahmen	110
5.4.1.1	Eisenerze	110
5.4.1.2	Kohle, Koks und Schweröl	111
5.4.1.3	Zuschlagstoffe	111
5.4.1.4	Schrott	111
5.4.2	Verfahrensseitige Maßnahmen	112
5.4.2.1	Direkt- und Schmelzreduktionsverfahren	112
5.4.2.2	Endabmessungsnahes Gießen	113
5.4.2.3	Rezirkulation der Stäube im Elektrolichtbogenofen	114
5.4.2.4	Organisatorische Maßnahmen	114
5.4.3	Outputseitige Maßnahmen	114
5.4.3.1	Heißbrikkettierung	115
5.4.3.2	Wälzverfahren	117
5.4.3.3	Zirkulierendes-Wirbelschichtverfahren (ZWS)	119
5.4.3.4	Hydrozyklonverfahren	121
5.4.3.5	Inmetcoverfahren	123
5.4.3.6	Drehrohrverfahren	126
5.4.3.7	Reduktion im Hochofen	127
5.5	Zusammenfassung des Beispiels Produktionsrückstände der Eisen- und Stahlindustrie	128

6	Konzeption eines formalen Modells zur strategischen Planung von Kreislaufwirtschaftssystemen	131
6.1	Problemstrukturanalyse.....	131
6.2	Graphentheoretische Überlegungen.....	133
6.3	Zielkriterien, Modellanforderungen und -abgrenzungen.....	134
6.4	Ansätze simultaner Standort-, Auswahl- und Transportprobleme.....	137
6.4.1	Ein- und mehrstufige Transportprobleme.....	138
6.4.1.1	Einstufige Transportprobleme.....	138
6.4.1.2	Mehrstufige Transportprobleme.....	138
6.4.2	Kombinierte Standort- und Tourenplanung.....	138
6.4.3	Modelle der betrieblichen Standortwahl.....	139
6.4.3.1	Standortbestimmung in einem homogenen Territorium.....	139
6.4.3.2	Standortbestimmung in Netzen.....	140
6.4.3.3	Diskrete Standortwahl.....	140
6.4.4	Bewertung der Ansätze.....	142
6.5	Übertragung und Weiterentwicklung des WLP-Ansatzes auf Kreislaufwirtschaftssysteme.....	144
6.5.1	Einstufiges, kapazitiertes Kreislaufwirtschaftssystem-Problem (EKSP).....	145
6.5.2	Zweistufiges Kreislaufwirtschaftssystem-Problem (ZKSP) im Einreststofffall.....	145
6.5.3	Mehrstufiges Kreislaufwirtschaftssystem-Problem (MKSP) im Mehrreststofffall.....	148
6.5.4	Direktfluß zwischen Quellen und Senken.....	153
6.5.5	Einbeziehung der simultanen Maßnahmenplanung.....	154
6.5.6	Ressourcenbeschränkungen.....	156
6.5.7	Einbeziehung weiterer Zielkriterien.....	158
6.6	Lösungsmethoden.....	159
6.6.1	Exakte Lösungsverfahren für gemischt ganzzahlige Probleme.....	160
6.6.2	Branch-and-Bound Verfahren zur Lösung gemischt ganzzahliger Probleme.....	161
6.6.3	Verminderung des Lösungsaufwandes exakter Verfahren durch Vorschaltung oder Verknüpfung mit einer Heuristik.....	162
6.7	Zusammenfassung.....	163

7	Modellanwendung auf das Altautorecycling und die Eisen- und Stahlindustrie	164
7.1	Anwendung des Modells auf das Altautorecycling	164
7.1.1	Quellenstruktur: Altfahrzeuganfall in Nordrhein-Westfalen	165
7.1.2	Verfahrensstruktur	166
7.1.2.1	Abbildung der Demontagezentren und Demontagevarianten	167
7.1.2.2	Abbildung der Shredderanlagen	168
7.1.2.3	Metallurgisches Recycling	168
7.1.2.4	Verwertungsoptionen	169
7.1.3	Sammlung, Transport und Lagerung	170
7.1.4	Implementation	171
7.1.5	Ergebnisse der Modellberechnungen	172
7.1.5.1	Herstellerübergreifende Lösung	172
7.1.5.2	Vorgabe der Demontagetiefe	174
7.1.5.3	Einfluß des Exports	174
7.1.5.4	Herstellerspezifische Lösungen und firmenübergreifende Kooperationen	177
7.1.5.5	Sensitivitätsanalysen	180
7.1.6	Schlußfolgerungen und Handlungsempfehlungen	181
7.2	Anwendung des Modells auf die Kreislaufwirtschaft der Eisen- und Stahlindustrie	184
7.2.1	Eingrenzung der betrachteten Reststoffe	184
7.2.2	Reststoffanfall und Vorauswahl der Aufbereitungsstandorte	185
7.2.3	Abbildung der Aufbereitungsverfahren	186
7.2.4	Zuordnung der Reststoffe zu den Verfahren	188
7.2.5	Transport, Lagerung, Be- und Entladen	190
7.2.6	Verwertungsoptionen	191
7.2.7	Ergebnisse der Modellberechnungen	192
7.2.7.1	Ausgangsszenario	194
7.2.7.2	Erhöhung des Deponiepreises	195
7.2.7.3	Einbeziehung der Reduktion im Hochofen	196
7.2.7.4	Einbeziehung von Konverterschlämmen bei der Aufbereitung	197
7.2.7.5	Ausschluß weiterer Hydrozyklonanlagen	198
7.2.7.6	Kombinierte Betriebsweise des Inmetcoverfahrens	199
7.2.7.7	Einbeziehung der Rezirkulation von Elektroofenstäuben	200
7.2.7.8	Scale up Faktor 4	200
7.2.7.9	Sensitivitätsanalysen	201
7.2.8	Schlußfolgerungen und Handlungsempfehlungen	202

7.3	Kritische Würdigung und Ausblick.....	207
7.3.1	Modellkritik.....	207
7.3.2	Erkenntnisse der Modellbildung und Rückschlüsse auf weitere Kreislaufwirtschaftssysteme.....	208
7.3.4	Ausblick.....	209
8	Zusammenfassung	211
	Literaturverzeichnis	214

Abbildungsverzeichnis

1.1	Abfallbilanz der Bundesrepublik Deutschland.....	2
2.1	Verschiedene Reststoff-/Rückstandskomponenten	8
2.2	Reststoffe und Abfälle im Produktionssystem.....	12
2.3	Kostenanstieg bei der Deponierung der Shredderleichtfraktion.....	13
2.4	Anfall- und Anforderungscharakteristiken als Kriterien des Kreislaufwirtschafts- und Abfallsystems	18
3.1	Auswahl der rechtlichen Anforderungen an den betrieblichen Umweltschutz	26
3.2	Entscheidungsabfolge aufgrund des § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG	40
4.1	Pkw-Bestand, Neuzulassungen und Löschungen in Deutschland 1970-2010.....	59
4.2	Heutiger Ablauf der Altautoverwertung.....	62
4.3	Größenklassen von Altautoverwertern	63
4.4	Prinzipskizze einer Shredderanlage mit nachgeschalteter Separierung.....	64
4.5	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen beim Shredderprozeß	64
4.6	Shredderstandorte	66
4.7	Konzept der deutschen Automobilindustrie zur zukünftigen Altautoverwertung	70
4.8	Eurhekar-Modell zur Altautoverwertung	71
4.9	Industrielle Altautoverwertung	73
4.10	Prinzipielles Schema einer Seriendemontageanlage	74
4.11	Schematische Darstellung des entsorgungslogistischen Verbundes der zukünftigen Altautoverwertung	75
5.1	Entwicklung der Weltstahlproduktion.....	80
5.2	Aufteilung der Jahresstahlproduktion auf die verschiedenen Verfahrensrouten für ausgewählte Länder.....	82
5.3	Schematische Darstellung der Stahlerzeugung	87
5.4	Schematischer Aufbau einer Hochofenanlage.....	91
5.5	Zinkein- und -austag im Hochofen - Angaben in g Zn/t Roheisen.....	93
5.6	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen eines integrierten Hüttenwerkes.....	102
5.7	Eisenhüttenschlacken.....	105
5.8	Aufkommen und Verbleib der Hochofenschlacke in den Jahren 1981 und 1991 (alte Bundesländer)	106
5.9	Aufkommen und Verbleib der Stahlwerksschlacke in den Jahren 1981 und 1991.....	107
5.10	Scale up des Corexverfahrens.....	113
5.11	Fließschema der Heißbrikettierung, Lurgi Verfahren.....	115
5.12	Fließschema des Wälzverfahrens.....	118

5.13 Fließschema des Zirkulierenden Wirbelschichtverfahrens.....	120
5.14 Fließschema des Hydrozyklonverfahrens	122
5.15 Fließschema des Inmetcoverfahrens Variante 1	124
5.16 Fließschema des Drehrohrverfahrens.....	127
5.17 Theoretische Verschaltungsmöglichkeiten von Aufbereitungsverfahren für ausgewählte Stäube- und Schlämme.....	130
6.1 Mögliche Knotenverbindungen.....	136
6.2 OR-Modelle zur Standort-, Zuordnungs- und Transportplanung.....	137
6.3 Mutative und multiple, stückweise linearisierte Betriebsgrößenvariation	141
6.4 Analogie zwischen WLP und ZKSP	146
7.1 Nach Kreisen gegliederte Lösungen in NRW	166
7.2 Durchschnittliche spezifische Mengen und Kosten der Altautoverwertung.....	167
7.3 Darstellung der Datenzusammenführung in GAMS	171
7.4 Kostenminimales Rücknahmesystem für Nordrhein-Westfalen	173
7.5 Veränderung des Rücknahmesystems unter Einfluß von umfangreicheren Exporten.....	176
7.6 Herstellerbezogenes Konzept - Marktanteil Renault	178
7.7 Herstellerbezogenes Konzept - Marktanteil BMW/Renault/Fiat.....	179
7.8 Vergleichende Betrachtung der Szenarien	181
7.9 Berücksichtigte Stahlwerksstandorte und bestehende Aufbereitungsanlagen.....	187
7.10 Im Modell berücksichtigte Zuordnungen der betrachteten Reststoffe und Produkte zu den Verfahren	189
7.11 Kreislaufwirtschaftskonzept für die Eisen- und Stahlindustrie bei einem Deponiepreis von 50 DM/t.....	195
7.12 Kreislaufwirtschaftskonzept für die Eisen- und Stahlindustrie bei einem Deponiepreis von 200 DM/t.....	198
7.13 Kreislaufwirtschaftskonzept für die Eisen- und Stahlindustrie bei Berücksichtigung der Rezirkulation von Elektroofenstäuben.....	201
7.14 Vergleichende Betrachtung der Szenarien	204

Tabellenverzeichnis

2.1	Aufkommen und Entsorgung von Abfällen und Reststoffen mit Verwertungsanteil im produzierenden Gewerbe nach Wirtschaftsbereichen - alte Bundesländer.....	9
3.1	Einordnung der Reststoffe der Eisen- und Stahlindustrie in den Reststoff-/Abfallartenkatalog.....	54
4.1	Materialanteile im Automobil.....	60
4.2	Gesamt mengen der Einsatzstoffe in Altautos in 1992 und 2002.....	61
5.1	Subventionen und Investitionen in vier Ländern der europäischen Union in den Jahren 1975 bis 1991.....	85
5.2	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen einer Sinteranlage.....	89
5.3	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen einer Hochofenanlage.....	92
5.4	Chemische Zusammensetzung von Hochofen-Gichtgasschlamm und -staub in %.....	93
5.5	Siebmetallanalyse HO-Gichtgasschlamm.....	94
5.6	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen der Roheisenvorbehandlung.....	95
5.7	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen des Oxygenstahlwerkes.....	96
5.8	Zusammensetzung von Konverterstäuben.....	97
5.9	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen eines Elektrostahlwerks.....	98
5.10	Chemische Zusammensetzung von Elektroofenstäuben.....	99
5.11	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen der Sekundärmetallurgie.....	99
5.12	Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen des Walzwerkes.....	100
6.1	Gegenüberstellung der Problemstruktur des Altautorecyclings und der Kreislaufwirtschaft der Eisen- und Stahlindustrie.....	132
7.1	Durchschnittliche Erlöse und Kosten der Wertstofffraktionen und der Produkte im Basisszenario.....	169
7.2	Ausgewählte Bestandteile und Mengen der im Modell der Eisen- und Stahlindustrie berücksichtigten Reststoffe.....	185
7.3	Auswahl techno-ökonomischer Parameter der betrachteten Aufbereitungsverfahren.....	188
7.4	Durchschnittliche Markt- oder Verrechnungspreise von Basisprodukten.....	192
7.5	Gegenüberstellung der Rahmenbedingungen in den untersuchten Szenarien.....	193

Abkürzungsverzeichnis

a	anno, Jahr	LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
AbfG	Abfallgesetz	LAI	Länder
Abs.	Absatz	LD	Linz-Donawitz
AOD	Argon-Oxygen-Decarburization Argon-Sauerstoff-Dekarburierung	LDAC	Linz-Donawitz Arbed Chemie
		LP	Linear Problem
BImSchG	Bundes-ImmissionsschutzGesetz	m	Meter
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz- Verordnung	Mio.	Millionen
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie	MILP	Mixed Integer Linear Problem
		MKSP	Mehrstufiges Kreislaufwirtschafts- system-Problem
C	Kohlenstoff	MURL	Ministeriums für Umwelt, Raum- ordnung und Landwirtschaft
°C	Grad Celsius	M.-%	Massenprozent
ca.	circa	NE	Nichteisen
CO	Kohlenmonoxid	Ni	Nickel
CO ₂	Kohlendioxid	Nm ³	Normkubikmeter
Cr	Chrom	NRW	Nordrhein-Westfalen
DFIU	Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung	O ₂	Sauerstoff
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	Pb	Blei
EAF	Electric Arc Furnace	PC	Personal Computer
EBM	Wirtschaftsverband Eisen, Blech, Metall verarbeitende Industrie e.V.	PCB	Polychlorierte Biphenyle
EG	Europäische Gemeinschaft	Pkw	Personenkraftwagen
EKSP	Einstufiges, kapazitiertes Kreislaufwirtschaftssystem- Problem	RE	Roheisen
EU	Europäische Union	RG	Reichsgericht
EWC	European Waste Catalogue	RP	Regierungspräsidium
EWG	Europäische Wirtschafts- gemeinschaft	RS	Rohstahl
		REA	Rauchgas-Entschwefelungsanlage
Fe	Eisen	S	Schwefel
HO	Hochofen	SKE	Steinkohleeinheiten
HOS	Hochofen-Stückschlacke	t	Tonne
IISI	International Iron and Steel Institute	TA	Technische Anleitung
IS	Imperial Smelting	TBM	Thyssen-Blas-Metallurgie
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	UBA	Umweltbundesamt
KrWG	Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz)	VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
kg	Kilogramm	VDEH	Verein Deutscher Eisenhüttenleute e.V.
		VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
		WLP	Warehouse-Location-Problem
		Zn	Zink
		ZKSP	Zweistufiges Kreislaufwirtschafts- system-Problem
		ZWS	Zirkulierende Wirbelschicht