

Entwicklung integrierter Rückbau- und Recyclingkonzepte für Gebäude

Ein Ansatz zur Kopplung von Demontage, Sortierung und Aufbereitung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften
(Dr. rer. pol.)

von der Fakultät für
Wirtschaftswissenschaften
der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)

genehmigte
DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. Axel Seemann

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juli 2003

Referent: Prof. Dr. rer. pol. O. Rentz

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Th. Lützkendorf

2003, Karlsruhe

Berichte aus der Betriebswirtschaft

Axel Seemann

**Entwicklung integrierter Rückbau- und
Recyclingkonzepte für Gebäude**

Ein Ansatz zur Kopplung von Demontage,
Sortierung und Aufbereitung

Shaker Verlag
Aachen 2003

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2003

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1892-0

ISSN 0945-0696

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung eines EDV-gestützten Planungssystems für die Kopplung von Demontage, Sortierung und Aufbereitung beim Rückbau und Recycling von Gebäuden. Das Planungssystem ermöglicht eine integrative Planung der drei angesprochenen Prozesse zur Ausschleusung von Stör- und Fremdstoffen aus Abbruchmaterialien und soll damit einen Beitrag zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Baubereich leisten. Entstanden ist die Arbeit in den Jahren 1997 bis 2002 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) / Deutsch-Französischen Institut für Umweltforschung der Universität Karlsruhe (TH). Hervorgegangen ist die Arbeit aus unterschiedlichen Forschungsprojekten, wobei ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördertes Projekt im Mittelpunkt stand.

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. rer. nat. Otto Rentz gilt mein besonderer Dank für die Betreuung meiner Arbeit und die fachliche und persönliche Unterstützung sowie für die Möglichkeit im deutsch-französischen Umfeld wissenschaftlich arbeiten zu können. Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf, Stiftungslehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus, danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferates und die wertvollen fachlichen Hinweise.

Zum Gelingen der Arbeit hat auch die gute Zusammenarbeit mit meinen Kollegen am DFIU/IIP beigetragen. Mein besonderer Dank gilt hier den ehemaligen und derzeitigen Mitgliedern der Forschungsgruppe „Kreislaufwirtschaft, Bauökonomie und Umwelt“ insbesondere Herrn PD Dr. rer. pol. Frank Schultmann und Herrn Ingénieur I.N.S.A. Christophe Raess, die mich durch zahlreiche Diskussionen und Anregungen unterstützt haben. Knifflige Fragen bei der softwaretechnischen Umsetzung innerhalb des entwickelten Planungssystems konnte ich durch die engagierte und kompetente Unterstützung von Herrn Dipl.-Ing. Frank Schliffer lösen, dem an dieser Stelle mein besonderer Dank gebührt.

Wichtig war mir auch das wohlwollende Interesse und die Hilfe meiner Familie, die mich bei meiner Ausbildung und der Erstellung meiner Arbeit stets unterstützt hat. Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Freundin Antje bedanken, die mich bei der Fertigstellung meiner Arbeit mit persönlichem Engagement unterstützt hat und zahlreiche Einschränkungen mit Verständnis und Liebe in Kauf nahm.

Karlsruhe, im Juli 2003

Axel Seemann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Lösungsweg	3
2	Rahmenbedingungen des Rückbaus und Recyclings von Gebäuden	6
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen des Recyclings von Gebäuden	6
2.1.1	Die Entwicklung des Abfallrechts in der Bundesrepublik Deutschland	6
2.1.2	Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG).....	7
2.1.3	Das Europäische Abfallverzeichnis.....	9
2.1.4	Die Deponieverordnung (DepV)	11
2.1.5	Die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)	12
2.1.6	Verantwortlichkeit bei der Entsorgung von Abbruchabfällen.....	13
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen der Aufbereitung von Bauabfällen und des Einsatzes von RC-Baustoffen	14
2.2.1	Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).....	14
2.2.1.1	Nachweisverfahren nach den Technischen Regeln der LAGA.....	15
2.2.1.2	Einteilung in Einbauklassen nach den Technischen Regeln der LAGA.....	15
2.2.1.3	Grenzwerte für Bausschutt nach den Technischen Regeln der LAGA.....	17
2.2.2	Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB 2000).....	18
2.2.3	Grenzwerte nach TL Min-StB 2000	18
2.2.4	Güte- und Prüfbestimmungen RAL-RG 501/1 Recycling-Baustoffe im Straßenbau	19
2.2.4.1	Nutzungsklassen nach den Güte- und Prüfbestimmungen RAL RG 501/1.....	20
2.2.4.2	Grenzwerte nach den Güte- und Prüfbestimmungen RAL RG 501/1	20
2.2.5	DIN 4226-100 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton	21
2.2.5.1	Liefertypen nach DIN 4226-100	22
2.2.5.2	Grenzwerte nach DIN 4226-100	22
2.2.6	Richtlinie RC-Recyclingbaustoffe des Bundesverbandes der Deutschen-Recyclingbaustoff-Industrie	23

2.3	Voruntersuchungen beim Rückbau und Recycling von Gebäuden	24
2.3.1	Identifikation kritischer Gebäudebestandteile	24
2.3.2	Obligatorische Maßnahmen bei schadstoffbelasteten Bauteilen:	25
2.3.2.1	Maßnahmen bei asbesthaltigen Bauteilen	25
2.3.2.2	Maßnahmen bei PCB	26
2.3.2.3	Maßnahmen bei teerhaltigen Baustoffen	26
2.3.2.4	Maßnahmen bei Mineralöl-Kohlenwasserstoffen	26
2.3.2.5	Maßnahmen bei Ruß	26
2.3.3	Materialerfassungs- und Probenahmestrategien	27
2.4	Planungsansätze für das Recycling von Gebäuden	28
2.4.1	Planungsansätze für den Rückbau von Gebäuden	28
2.4.1.1	Handlungsanleitungen	28
2.4.1.2	Planungsinstrumente für den Rückbau von Gebäuden	31
2.4.2	Planungsansätze für die Sortierung von Baustoffen	32
2.4.3	Planungsansätze für das Recycling von Baustoffen	32
2.4.3.1	Mengenabschätzung	32
2.4.3.2	Optimierung von Prozessen zur Baustoffaufbereitung	34
2.4.4	Einordnung in den produktionswirtschaftlichen Kontext	34
2.4.5	Eignung bestehender Planungsansätze für den Rückbau von Gebäuden im Hinblick auf die vorliegende Problemstellung	36
2.5	Begriffsbestimmungen	39
2.5.1	Begriffsbestimmung Abbruch und Demontage	39
2.5.2	Begriffsbestimmung Verwertung	40
2.5.3	Begriffsbestimmung Sortierung und Aufbereitung	40
3	Techno-ökonomische Grundlagen der Prozesskette Demontage – Sortierung - Aufbereitung	42
3.1	Rückbautechniken und Demontage zur Trennung von Baustoffen	42
3.1.1	Techniken für Abbruch und Rückbau von Gebäuden	42
3.1.2	Sprengtechniken	45
3.2	Trenntechniken für die Demontage von Bauteilen	46
3.2.1	Sägetechniken	46
3.2.2	Bohrtechniken	47

3.2.3	Hydraulische Trenntechniken.....	47
3.2.4	Thermische Trenntechniken	48
3.2.5	Leistungskennzahlen von Rückbau- und Abbruchtechniken	49
3.3	Sortiertechniken zur Materialtrennung	50
3.3.1	Manuelle Sortierung	51
3.3.1.1	Händische Sortierung	51
3.3.1.2	Manuelle Sortierung unterstützt durch einen Bagger mit Sortiergreifer	52
3.3.2	Automatisierte Sortierung.....	52
3.4	Techniken zur Aufbereitung von Baumaterialien	53
3.4.1	Anlagenarten.....	54
3.4.1.1	Mobile Anlagen.....	54
3.4.1.2	Semimobile Anlagen	55
3.4.1.3	Stationäre Anlagen	55
3.4.1.4	Vor- und Nachteile der verschiedenen Anlagentypen.....	55
3.4.2	Anlagenkomponenten.....	56
3.4.2.1	Zerkleinerung	56
3.4.2.2	Klassierung.....	58
3.4.2.3	Abscheidung von Stör- und Fremdstoffen	59
3.4.2.3.1	Magnetscheidung (Metalle).....	60
3.4.2.3.2	Trockene Verfahren zur Abscheidung von Stör- und Fremdstoffen	60
3.4.2.3.2.1	Windsichter.....	61
3.4.2.3.2.2	Modifizierte Aerosortierverfahren für die Sortierung von gemischten Bau- und Abbruchabfällen.....	63
3.4.2.3.3	Nasse Aufbereitungsverfahren	64
3.4.2.3.3.1	Filmschicht-Sortierung (Partikelbewegung im Flüssigkeitsstrom) ..	65
3.4.2.3.3.2	Setzsortierung.....	65
3.4.2.3.3.3	Aufstromsortierung.....	66
3.4.2.3.3.4	Schwimm-Sink-Scheidung	66
3.4.2.4	Vergleich der verschiedenen Aggregate der Nassaufbereitung	67
3.4.2.4.1	Gegenüberstellung der Trocken- und Nassaufbereitung	68
4	Empirische Ermittlung von Kennwerten für Rückbau und Recycling von Gebäuden	70
4.1	Vorstellung der Untersuchungsobjekte	70
4.1.1	Untersuchungsobjekt Pforzheim Biberstraße	71

4.1.2	Durchgeführte Untersuchungen Pforzheim Biberstraße.....	72
4.1.2.1	Versuchswohnung 1: Konventioneller Abbruch mit anschließender Sortierung.....	72
4.1.2.2	Versuchswohnung 2: Entkernung mit nachfolgendem Abbruch	74
4.1.2.3	Versuchswohnung 3: Weitreichende Demontage und Materialtrennung	77
4.1.3	Karlsruhe Beiertheim, Hohenzollernstraße	79
4.1.4	Pforzheim Gerwigstraße	80
4.1.5	Durchgeführte Untersuchungen Pforzheim Gerwigstraße	81
4.1.6	Untersuchungsobjekt Bruchsal - Obergrombach Gondelsheimer Straße	81
4.1.7	Durchgeführte Untersuchungen in Bruchsal - Obergrombach	83
4.2	Konstruktionsmerkmale von Mauerwerksbauten	84
4.2.1	Wandaufbauten	84
4.2.2	Decken- und Bodenaufbauten	86
4.2.3	Dachaufbauten	87
4.3	Ermittlung von Kennwerten zum Recycling von Gebäuden	89
4.3.1	Kennwerte zu Demontagezeiten	89
4.3.2	Kennwerte zur Sortierung.....	93
4.3.3	Kennwerte für die Aufbereitung von Bauabfällen.....	97
5	Konzeption eines EDV-gestützten Planungsinstrumentes für die integrierte Planung und Kontrolle von Rückbau, Sortierung und Baustoffaufbereitung	102
5.1	Anforderungen an das Planungssystem.....	102
5.2	Konzeption und Funktionsweise des Planungsinstrumentes	103
5.3	Darstellung der Programmmodule.....	106
5.3.1	Modul Gebäudeerfassung und Massenermittlung	106
5.3.1.1	Ermittlung von Bauteilflächen	108
5.3.1.2	Ermittlung von Bauteilmassen	109
5.3.2	Modul Demontage	111
5.3.2.1	Ermittlung von Demotagedauern	113
5.3.2.2	Ermittlung von Demontagekosten.....	113
5.3.2.3	Ermittlung von Entsorgungskosten	114
5.3.2.4	Ermittlung der normierten Gesamtkosten im Modul Demontage.....	116
5.3.3	Modul Sortierung.....	117

5.3.3.1	Ermittlung von Sortierkosten	119
5.3.3.2	Ermittlung von Entsorgungskosten für aussortierte Materialien.....	120
5.3.3.3	Ermittlung der normierten Gesamtkosten im Modul Sortierung	121
5.3.4	Modul Aufbereitung	122
5.3.4.1	Ermittlung der Trennquote bei der Aufbereitung.....	123
5.3.4.2	Ermittlung von Aufbereitungskosten	124
5.3.4.3	Ermittlung von Entsorgungskosten für bei der Aufbereitung ausgeschleuste Materialien.....	126
5.3.4.4	Ermittlung der normierten Gesamtkosten im Modul Aufbereitung	127
6	Entwicklung einer Methodik zur Kopplung von Rückbau, Sortierung und Bauabfallaufbereitung hinsichtlich einer kostengünstigen Stör- und Fremdstoffabscheidung	128
6.1	Aufbau der entwickelten Methodik	128
6.2	Berechnungsablauf	131
6.3	Berücksichtigung materialspezifischer und chemische Baustoffaspekte	134
6.3.1	Berücksichtigung mineralischer Baustoffe.....	134
6.3.2	Berücksichtigung von Stör- und Fremdstoffen im Planungswerkzeug	135
6.3.3	Berücksichtigung chemischer Parameter.....	137
7	Ergebnisse der Modellanwendung.....	140
7.1	Anwendung des Planungsmodells an dem Untersuchungsobjekt in Pforzheim Biberstraße.....	140
7.1.1	Berechnungsgrundlagen und Aufbereitungsziele	141
7.1.2	Stoffliche Zusammensetzung der Untersuchungsobjekte.....	143
7.1.3	Stoffströme bei Demontage, Sortierung und Aufbereitung.....	144
7.1.4	Kosten für Demontage, Sortierung und Aufbereitung.....	148
7.1.5	Variation der Annahmepreise	150
7.2	Anwendung des Planungsmodells an exemplarischen Mustergebäuden	151
7.2.1	Beschreibung der Mustergebäude	151
7.2.1.1	Gebäudetyp 1: Einfamilienhaus in Massivbauweise.....	151
7.2.1.2	Gebäudetyp 2: Wohnhaus in Holz-Fachwerkbauweise	152
7.2.1.3	Gebäudetyp 3: Schul- und Verwaltungsgebäude in Beton- Massivbauweise	152
7.2.1.4	Bilanzierung der baustofflichen Zusammensetzung der Mustergebäude ..	153

7.2.2	Stoffströme bei Demontage, Sortierung und Aufbereitung der Mustergebäude	154
7.2.2.1	Stoffströme bei Demontage, Sortierung und Aufbereitung, Mustergebäude 1	154
7.2.2.2	Stoffströme bei Demontage, Sortierung und Aufbereitung, Mustergebäude 2	155
7.2.2.3	Stoffströme bei Demontage, Sortierung und Aufbereitung, Mustergebäude 3	156
7.2.3	Vergleich der Gesamtkosten für Rückbau, Aufbereitung und Entsorgung bei den untersuchten Mustergebäuden	158
7.3	Gegenüberstellung der Modellergebnisse mit Kostenwerten beim selektiven Rückbau	159
7.3.1	Kostenvergleich mit selektivem Rückbau, Mustergebäude 1	159
7.3.2	Kostenvergleich mit selektivem Rückbau, Mustergebäude 2	160
7.3.3	Kostenvergleich mit selektivem Rückbau, Mustergebäude 3	161
7.4	Angepasste Demontagetiefen beim Rückbau von Gebäuden	162
7.5	Zusammenfassung der Modellergebnisse	166
7.6	Modellkritik, Datengrundlage und Fehleranalyse	167
7.6.1	Beurteilung der Modellanwendung und der Modellergebnisse	167
7.6.2	Datengrundlage bei Gebäudedaten	168
7.6.3	Datengrundlage und Fehleranalyse bei Demontage, Sortierung und Aufbereitung	169
8	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	172
8.1	Erkenntnisse aus der Anwendung des Planungssystems	172
8.2	Auswirkungen für Abbruchunternehmen und die Recyclingbranche	175
8.2.1	Auswirkungen für Abbruchunternehmen	175
8.2.2	Auswirkungen für Betreiber von Aufbereitungsanlagen	176
9	Zusammenfassung	178
10	Literaturverzeichnis	181

Verzeichnis der verwendeten Symbole

Symbole in Kapitel 5

c_p^{AA} :	Annahmegebühren Modul Aufbereitung für den Baustoff p
c_p^{AD} :	Annahmegebühren Modul Demontage für den Baustoff p
c_p^{AS} :	Annahmegebühren Modul Sortierung für den Baustoff p
ρ_{kp}^A :	Anteil der ausgeschleusten Fremdstoffe (Aufbereitung) des Baustoffes p in Bauteil k
α_F^{AW} :	Anteil des Feinkorns, der bei der Nassaufbereitung ausgewaschen wird
$\sigma_{p,k}$:	Anteil von Baustoff p an Bauteil k , $\sum_{p \in P} \sigma_{p,k} = 1$
γ_k :	Ermittelte Masse des Bauteils k
d_{kp}^D :	Demontagedauer für Baustoff p in Bauteil k
d_k^D :	Demontagedauer für Bauteil k
c_{kp}^D :	Demontagekosten für Baustoff p in Bauteil k
c_k^D :	Demontagekosten für Bauteil k
c_{kp}^{EA} :	Entsorgungskosten Modul Aufbereitung für Baustoff p in Bauteil k
c_p^{EA} :	Entsorgungskosten (Aufbereitung) für Baustoff p .
c_{kp}^{ED} :	Entsorgungskosten Modul Demontage für Baustoff p in Bauteil k
c_k^{ES} :	Entsorgungskosten mit Sortierrest Modul Sortierung für Baustoff p
c_p^{AE} :	Entsorgungskosten Bereich Aufbereitung für den Baustoff p
c_p^{DE} :	Entsorgungskosten Bereich Demontage für den Baustoff p
c_p^{SE} :	Entsorgungskosten Bereich Sortierung für den Baustoff p
c_{kp}^{ES} :	Entsorgungskosten Modul Sortierung für Baustoff p in Bauteil k
α_F :	Feinkornanteil
$f_{k'}$:	freiliegende Fläche des Bauteils k'
$f_{k'}^*$:	freiliegende Fläche des Bauteils k' , die durch dessen Außenmaße bestimmt wurde
c_{kp}^{GkgD} :	Gesamtkosten Demontage eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_k^{GkgD} :	Gesamtkosten Demontage eines Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^{GkgS} :	Gesamtkosten Sortierung eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_k^{GkgS} :	Gesamtkosten Sortierung eines Bauteils k , normiert auf die Bauteilmasse

c_{kp}^{GA} :	Gesamtkosten Aufbereitung für Baustoff p in Bauteil k
ρ_{kp}^{AG} :	Gesamttrennquote bezogen auf die Bauteilmasse durch Aufbereitungsprozesse des Baustoffes p in Bauteil k
P_k :	Indexmenge aller Baustoffe p , die in Bauteil k enthalten sind; $P_k = \{p \in P \mid p \text{ ist in Bauteil } k \text{ enthalten}\}$
$B_{k'}$:	Indexmenge aller Bauteile k , die durch Bauteil k' umschlossen werden; $B_{k'} = \{k \in B \mid k \text{ wird von Bauteil } k' \text{ umschlossen}\}$
R_k :	Indexmenge aller Ressourcen r , die für die Demontage von Bauteil k benötigt werden; $R_k = \{r \in R \mid r \text{ wird für die Demontage von Bauteil } k \text{ benötigt}\}$
B' :	Indexmenge der Bauteile, deren Masse auf Basis des Bauteilvolumens bestimmt wurde
B'' :	Indexmenge der Bauteile, deren Masse auf Basis des Bauteilstückgewichtes bestimmt wurde
$q_{kp,r}^D$:	Bedarf der Ressource r zur Demontage des Baustoffes p in Bauteil k
$q_{kp,r}^S$:	Bedarf der Ressource r zur Sortierung des Baustoffes p in Bauteil k
c_r :	Kosten einer Einheit der Ressource r
c_p^{EA} :	Kosten für die Schlammbehandlung und Entsorgung
c_{kp}^{AS} :	Kosten für die Störstoffabtrennung am Sortierband für Baustoff p in Bauteil k
c_{kp}^{AN} :	Kosten für die Störstoffabtrennung durch nasse Trennverfahren für Baustoff p in Bauteil k
c_{kp}^{AT} :	Kosten für die Störstoffabtrennung durch trockene Trennverfahren für Baustoff p in Bauteil k
c_p^{rIA} :	Lager-/Containerkosten Modul Aufbereitung für den Baustoff p
c_p^{rID} :	Lager-/Containerkosten Modul Demontage für den Baustoff p
c_p^{rIS} :	Lager-/Containerkosten Modul Sortierung für den Baustoff p
ρ_{kp}^{ASrca} :	Leistungsfähigkeit des Sortierbandes in der Recyclinganlage
ρ_{kp}^{ATrca} :	Leistungsfähigkeit des trockenen Trennverfahrens in der Recyclinganlage
ρ_{kp}^{ANrca} :	Leistungsfähigkeit des nassen Trennverfahrens in der Recyclinganlage
a_{kp} :	Masse des Baustoffes p in Bauteil k
$a_{p,G}$:	Masse von Baustoff p im Gebäude
a_k :	Masse von Bauteil k
ω^{AW} :	Mehrkosten durch Auswaschung des Feinkornanteils und Schlammbehandlung bei der Nassaufbereitung

P :	Menge aller Baustoffe
B :	Menge aller Bauteile
R :	Menge der Ressourcen
c_{kp}^{GkgA} :	Normierte Aufbereitungskosten für die Ausschleusung von einem Kilogramm des Baustoffes p aus Bauteil k
a_{kp} :	Quantität des Baustoffes p in Bauteil k
δ_p :	Rohdichte von Baustoff p
d_{kp}^S :	Sortierdauer für Baustoff p in Bauteil k
d_k^S :	Sortierdauer für Bauteil k
c_{kp}^S :	Sortierkosten für Baustoff p in Bauteil k
c_k^S :	Sortierkosten für Bauteil k
ρ_{kp}^S :	Sortierquote des Baustoffes p in Bauteil k
$t_{k,r}^D$:	Spezifische Demontagezeit für Bauteil k bei Anwendung der durch die Ressource r spezifizierten Demontagetechniken
$t_{k,r}^S$:	Spezifische Sortierzeit für Bauteiltyp k bei Anwendung der durch die Ressource r spezifizierten Sortiertechnik
ρ^{ASB} :	spezifische Trennquote des Baustoffes p in Bauteil k durch ein Sortierband
ρ^{ATV} :	spezifische Trennquote des Baustoffes p in Bauteil k durch trockene Trennverfahren
ρ^{ANV} :	spezifische Trennquote des Baustoffes p in Bauteil k durch nasse Trennverfahren
c_p^{TA} :	Transportkosten Bereich Aufbereitung für den Baustoff p
c_p^{TD} :	Transportkosten Bereich Demontage für den Baustoff p
c_p^{TS} :	Transportkosten Bereich Sortierung für den Baustoff p
$\rho_{kp}^{AN} = \rho_{kp}^{ANrca} \cdot \rho^{ANB}$:	Trennquote des Baustoffes p in Bauteil k durch nasse Trennverfahren
$\rho_{kp}^{AT} = \rho_{kp}^{ATrca} \cdot \rho^{ATB}$:	Trennquote des Baustoffes p in Bauteil k durch trockene Trennverfahren
$\rho_{kp}^{AS} = \rho_{kp}^{ASrca} \cdot \rho^{ASB}$:	Trennquote des Baustoffes p in Bauteil k für ein Sortierband
c_p^{ES} :	Verwertungskosten für den Anteil des Baustoffes p , der in der Restmasse verbleibt
v_k :	Volumen von Bauteil k
c_z^S :	Zusatzkosten für den Einsatz des Sortierbandes
c_z^N :	Zusatzkosten für den Einsatz von nassen Trennverfahren
c_z^T :	Zusatzkosten für den Einsatz von trockenen Trennverfahren

Symbole in Kapitel 6

c_{kp}^{GkgD}	: Gesamtkosten Demontage eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^{GkgS}	: Gesamtkosten Sortierung eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^{GkgA}	: Gesamtkosten Aufbereitung eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^M	: Kosten für die Materialseparation für Baustoff p in Bauteil k
P_j	: Indexmenge aller Baustoffe p , die in Baustoffgruppe j enthalten sind $p_j = \{p \in P \mid p \text{ ist in Baustoffgruppe } j \text{ enthalten}\}$
c_{kp}^{GkgD}	: Gesamtkosten Demontage eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^{GkgS}	: Gesamtkosten Sortierung eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^{GkgA}	: Gesamtkosten Aufbereitung eines Baustoffes p in einem Bauteil k , normiert auf die Bauteilmasse
c_{kp}^M	: Kosten für die Materialseparation für Baustoff p in Bauteil k