Beihefte zu

Müll und Abfall

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen
Organ für die gesamte Entsorgung und Abfallwirtschaft

30

Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft

Recyclingerechter Baustellenbetrieb – kontrollierter Rückbau – Aufbereitung, Einsatz und Vermarktung von Recyclingbaustoffen

3., neubearbeitete und erweiterte Auflage

Von Professor Dr.-Ing. Bernd Bilitewski, Dipl.-Ing. Angela Gewiese,
Dipl.-Ing. Georg Härdtle und Dipl.-Ing. Klaus Marek

AMMANN - Recyclinganlage zur Aufbereitung gebrauchter mineralischer Baustoffe

Besondere Merkmale:

- Leistung bis 250 t/h
- einstufiger Brechvorgang
- 4-stufige Umluftsichteranlage
- AMMANN AS 2000 - gesteuert mit Rezeptvorwahl, integrierter Betriebsdatenerfassung und entsprechenden Verriegelungsketten für Umstellklappen, Überkornschleifen, Haldenband-Positionierungen etc.
- sehr hohe Anforderungen bzgl. Staub- und Lärmminderung
- komplette Einhausung der einzelnen Anlagenstationen
- Kapselung der Förderbänder und Übergaben
- Bedüsung
- Höhenverstellbarkeit der Haldenbänder

AMMANN IMA GMBH
Postfach 1141
D - 31041 Alfeld/Leine
Telefon 05181/760
Telefax 05181/25282

U. AMMANN
Maschinenfabrik AG
CH. - 4900 Langenthal
Telefon 0041-63/296161
Telefax 0041-63/226813

Lilli Leuchte zum Thema
Abriß von Gebäuden:

„Unser Vorschlag: Demontage mit Köpfchen statt mit der Birne!"

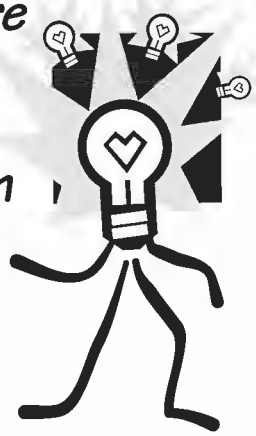
Technik fängt im Kopf an

Berlin Tel.: 030/3451035
Dresden Tel.: 0351/3401212
Freiburg Tel.: 0761/701535
Hamburg Tel.: 040/8500012
Potsdam Tel.: 0331/7481610
Rostock Tel.: 0381/793245

intecus
Ingenieurgesellschaft für Technischen Umweltschutz

Lilli Leuchte zum Thema
Betriebliche Abfallwirtschaftskonzepte:

„Einfälle statt Abfälle: Wenn Sie wissen wollen, wie Sie teuere Reststoffe einsparen können, dann ist unser guter Rat billig!"



Technik fängt im Kopf an

Berlin Tel.: 030/345 10 35
Dresden Tel.: 0351/340 12 12
Freiburg Tel.: 0761/70 15 35
Hamburg Tel.: 040/850 00 12
Potsdam Tel.: 0331/748 16 10
Rostock Tel.: 0381/793 245

intecus
Ingenieurgesellschaft für Technischen Umweltschutz

Beihefte zu
MÜLL und ABFALL Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen – Heft 30

Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft

Recyclinggerechter Baustellenbetrieb – Kontrollierter Rückbau – Aufbereitung, Einsatz und Vermarktung von Recyclingbaustoffen

Von Prof. Dr. Bernd Bilitewski, Dipl.-Ing. Angela Gewiese,
Dipl.-Ing. Georg Härdtle und Dipl.-Ing. Klaus Marek

3., neubearbeitete und erweiterte Auflage

ERICH SCHMIDT VERLAG

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

[Müll und Abfall / Beihefte]
Beihefte zu Müll und Abfall : Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen ; Organ für die gesamte Entsorgung und Abfallwirtschaft. – Berlin ; Bielefeld ; München : Erich Schmidt.
Früher Schriftenreihe
Fortlaufende Beil. zu: Müll und Abfall
NE: HST
Nr. 30. Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft. – 3., neubearb. und erw. Aufl. – 1995

Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft : recyclinggerechter Baustellenbetrieb ; kontrollierter Rückbau ; Aufbereitung, Einsatz und Vermarktung von Recyclingbaustoffen / von Bernd Bilitewski . . . – 3., neubearb. und erw. Aufl. – Berlin : Erich Schmidt, 1995
(Beihefte zu Müll und Abfall ; Nr. 30)
Bis 2. Aufl. u.d.T.: Bauschutt- und Asphaltrecycling
ISBN 3-503-03802-7
NE: Bilitewski, Bernd

Danksagung

Die Autoren der vorliegenden Arbeit danken allen Mitarbeitern der Ingenieurgesellschaft INTECUS, die an der Bearbeitung mitgewirkt haben. Unser besonderer Dank gilt Frau Mechthild Baron für die inhaltliche und redaktionelle Bearbeitung.

Für ihre Unterstützung bedanken wir uns weiterhin bei

Herrn Dr. Tommerdich, VBR e. V., Bonn
Herrn Dr. Rüdiger, Fa. Wörheide GmbH, Altlandsberg
Herrn Simon, BUC, Hannover

Prof. Dr. Bernd Bilitewski
Dipl.-Ing. Angela Gewiese
Dipl.-Ing. Georg Härdtle
Dipl.-Ing. Klaus Marek

Berlin, im Januar 1995

Bild auf dem Umschlag:

Modell eines Vergleiches zwischen kontrolliertem Rückbau und klassischem Abriß, INTECUS

ISBN 3 503 03802 7

Alle Rechte vorbehalten
3., neubearbeitete und erweiterte Auflage 1995
2., neubearbeitete und erweiterte Auflage 1990
© Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin 1986
Druck: Regensberg Münster

Vorwort

Die Bau- und Baustoff-Recycling-Wirtschaft versteht sich als ein wichtiger Teil unserer Gesellschaft. Ihre Forderungen konzentrieren sich selbstverständlich auf Dinge, die eng mit dem allgemeinen Bau- und Recycling-Geschehen verbunden sind. Wir sind aber der festen Überzeugung, daß eine Verwirklichung dieser Forderungen keineswegs allein diesen Wirtschaftszweigen zugute käme, sondern auch große positive Ausstrahlungen auf andere Teile von Wirtschaft und Gesellschaft haben würde.

Schutz der natürlichen Ressourcen, Schonung der Deponien und Rückführung von möglichst vielen Altbaustoffen in den Kreislauf des Baugeschehens sind Aufgaben und Ziele, die sich diese Branchen gesetzt haben und erfüllen wollen.

Dies bedeutet aber auch verstärkte Investitionen zum Schutz der Umwelt. Wirtschaftswachstum und Investitionen zum Schutz der Umwelt sind dabei kein Gegensatz, sondern stellen eine natürliche und sinnvolle Ergänzung in jeder fortschrittlichen Wirtschaftsentwicklung dar. Dabei sei der Hinweis erlaubt, daß Umweltschäden auch nicht ohne weiteres Folgen einer wachsenden Wirtschaft, sondern häufig das Ergebnis einer bewußten oder unbewußten Vernachlässigung notwendiger Schutzmaßnahmen sind.

Staat und Wirtschaft haben mehr denn je die Aufgabe, für ein Wirtschaftswachstum zu sorgen, das stets auch die Ergebnisse der natürlichen Lebens- und Produktionsgrundlagen beachtet. Dazu bedarf es zum einen eines Regelwerkes, das durch Kombination von Ordnungsrecht und marktwirtschaftliches Anreizen zum Schutz der Umwelt beiträgt. Zum anderen gehören dazu allerdings auch entsprechende Investitionen, durch die Umweltschäden von vornherein verhindert oder bereits verursachte Schäden wieder beseitigt werden.

Mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz haben wir nunmehr ein Regelwerk, das einer bundesweiten Umsetzung bedarf. Vorrangige Aufgabe muß nunmehr die Vereinheitlichung der Gesetze und Vorschriften der Länder im Umweltschutzbereich sein.

Das Beiheft „Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft" gibt einen aktuellen Überblick über die jetzige Situation zum recyclinggerechten Baustellenbetrieb, kontrollierten Rückbau, Aufbereitung und Einsatz von Recycling-Baustoffen.

Ich möchte daher die Gelegenheit nutzen, allen Beteiligten, die zum positiven Gelingen dieses Beiheftes beigetragen haben, an dieser Stelle meinen Dank und meine Anerkennung auszusprechen.

Die Zeitschrift „Müll + Abfall" hat die Aufbauarbeit der Baustoff-Recycling-Branche in den letzten 10 Jahren positiv begleitet und mit dazu beigetragen, den guten Ruf eines Qualitätsbaustoffs weiter auszubauen und neue Märkte im Umweltbereich der Bauwirtschaft zu erschließen.

Innovationskraft, Dynamik und Erfolge – wohl kaum ein Wirtschaftszweig demonstriert dies derzeit überzeugender als die Baustoff-Recycling-Branche.

Die Zeitschrift „Müll + Abfall" hat diesen Weg begleitet mit dem Beiheft „Bauschutt- und Asphaltrecycling" und dem Beiheft „Vermeidung und Verwertung von Reststoffen in der Bauwirtschaft" in Anlehnung an das Kreislaufwirtschaftsgesetz.

Bonn, den 15. November 1994

Dipl.-Ing. Hans Sander

Geschäftsführer
Verband Deutscher Baustoff-Recycling-Unternehmen e. V.
Gütegemeinschaft Recycling-Baustoffe e. V.
Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V.

Neuerscheinung

Beiheft 32 zu Müll und Abfall

Altauto-verwertung

Grundlagen - Technik - Wirtschaftlichkeit - Entwicklungen

In unregelmäßiger Folge erscheinen zur Fachzeitschrift MÜLL und ABFALL Beihefte, in denen jeweils ein aktuelles Thema ausführlich und von kompetenter Seite behandelt wird. Mit Ihrem Abonnement der Beihefte sichern Sie sich außer dem prompten Bezug gleich nach Erscheinen auch den günstigen Abonnementspreis.

von Dipl.-Ing. Georg Härdtle, Dipl.-Ing. Klaus Marek, Prof. Dr.-Ing. Bernd Bilitewski und Dipl.-Ing. Christian Gorr

1994, 80 Seiten, DIN A4, kartoniert, Abonnementspreis für Bezieher der Beihefte DM 68,–/öS 528,–/sfr. 70,60, bei Einzelbezug DM 76,–/öS 592,–/sfr. 78,70. ISBN 3503036059

Altautomobile setzen sich aus ca. 10 000 Teilen mit über 40 verschiedenen Werkstoffen zusammen. Die traditionellen Verfahren zur Fahrzeugverwertung durch Shredderanlagen oder Schrottscheren entsprechen aufgrund des hohen Anfalls an Rückständen weder den heutigen umwelttechnischen noch wirtschaftlichen Anforderungen. Bedingt durch den verstärkten Einsatz von Kunststoffen und anderen Leichtbaustoffen im Automobilbau steigt die zu deponierende Shredderabfallmenge – bei gleichzeitiger Verknappung des Deponieraumes – erheblich.

In der im Oktober 1993 zur Diskussion vorgelegten Verordnung über die Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Abfällen aus der Kraftfahrzeugentsorgung sollen die Kraftfahrzeughersteller und der Kraftfahrzeughandel in Ausführung des § 14 AbfG zur Rücknahme und stofflichen Verwertung von Altfahrzeugen verpflichtet werden. Grundziel ist die abfallarme Gesellschaft.

Eine Lösung der Probleme, verbunden mit dem Ziel, die in Altfahrzeugen enthaltenen Bauteile und Werkstoffe in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen, die Demontage und Trennung dieser Materialien voneinander. Die z.Z. wirtschaftlich realisierbare und ökologisch vertretbare Variante ist die Vordemontage der Altfahrzeuge in Kombination mit der bisher praktizierten Verwertungstechnik. Zielsetzung der Demontage ist das Erfassen der in den Fahrzeugen enthaltenen Schadstoffkomponenten, die sortenreine Trennung von Werkstoffen zur stofflichen Verwertung und die Gewinnung von Bauteilen zur Wieder- oder Weiterverwendung.

Seit 1990 werden von der Automobilindustrie und der Verwertungsbranche Konzepte zur Altautoverwertung entwickelt. Diese umfassen die Logistik der Altfahrzeugerfassung, die Demontagetechniken sowie die Verwertungsmöglichkeiten der Werkstoffe und Bauteile. Anhand verschiedener Pilotprojekte werden geeignete Techniken für eine wirtschaftliche Demontage entwickelt, konkrete Verwertungswege und -verfahren für die demontierten Werkstoffe gefunden und Erkenntnisse zur Konstruktion recyclingfreundlicher Neufahrzeuge erarbeitet.

Diese Neuerscheinung bietet einen qualifizierten Überblick über die verschiedenen Techniken, Methoden und Verfahren und untersucht deren Wirtschaftlichkeit. Sie ist damit eine äußerst nützliche Arbeitsgrundlage für die Automobilindustrie und die Verwertungsbranche, für Planung, Bau und Betrieb von Anlagen, für Genehmigungsbehörden und Umweltpolitiker.

ESV

ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis ... 7

2. Einführung ... 11
2.1 Literatur ... 11

3. Begiffsbestimmung und Aufkommen an gebrauchten mineralischen Baustoffen ... 12
3.1 Abschätzungen des Aufkommens ... 12
3.2 Abgrenzung der verwendeten Begriffe ... 14
3.3 Literatur ... 15

4. Rechtliche Grundlagen ... 16
4.1 Abfallrechtliche Rahmenbedingungen ... 16
4.1.1 Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz: AbfG) Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz: KrW-/AbfG) ... 16
4.1.2 Zielfestlegungen der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Bodenaushub und Straßenaufbruch ... 16
4.1.3 Verordnung über die Entsorgung von Baurestabfällen (Baurestabfallverordnung – BaurestAbfV) ... 17
4.1.4 Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen: TA Siedlungsabfall) ... 18
4.2 Regelungen für die Genehmigungspraxis von Baustoff-Recyclinganlagen ... 19
4.2.1 Gesetz zur Erleichterung von Investitionen und der Ausweisung und Bereitstellung von Wohnbauland (Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz) ... 19
4.2.2 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutz-Gesetz: BImSchG) ... 19
4.2.3 Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen: 4. BImSchV) ... 21
4.2.4 Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren: 9. BImSchV) ... 21
4.3 Literatur ... 23

5. Möglichkeiten zur Vermeidung und Verwertung von gebrauchten mineralischen Baustoffen ... 24
5.1 Recyclinggerechtes Konstruieren und Bauen ... 24
5.2 Recyclinggerechter Baustellenbetrieb beim Neu- und Umbau ... 25
5.2.1 Relevante Reststoffe im Bauprozeß ... 27
5.2.2 Projektbeispiel aus der Praxis – LVA-Rheumaklinik Bad Rothenfelde ... 30
5.3 Recyclinggerechte Demontage und Abbruch von Bauwerken ... 30
5.3.1 Wiedereinsatz von Gebäuden, Bauelementen und Baukomponenten ... 30
5.3.2 Kontrollierter Rückbau in einzelnen Demontagestufen ... 32
5.3.2.1 Allgemeines ... 32
5.3.2.2 Vorgehensweise in der Planungsphase ... 34
5.3.2.3 Demontagestufen des kontrollierten Rückbaus ... 34
5.3.3 Beispiel aus der Praxis ... 34
5.3.3.1 Hotel Post, Dobel ... 34
5.3.3.2 Rückbau eines Kühlhauses, Berlin ... 35
5.3.4 Verfahren zum Abbruch von Tragwerkskonstruktionen sowie kompletten Gebäuden ... 36
5.4 Literatur ... 38

6. Stand der Verfahrenstechnik zur Aufbereitung von gebrauchten mineralischen Baustoffen ... 40
6.1 Maschinentechnische Ausstattung von Aufbereitungsanlagen ... 40
6.1.1 Aufbereitung von Erdaushub ... 40
6.1.2 Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch ... 41
6.1.2.1 Vorzerkleinerung und Vorsortierung ... 42
6.1.2.2 Zerkleinerung ... 42
6.1.2.3 Klassierung ... 45
6.1.2.4 Mechanische Sortierung ... 45
6.2 Beispiele von mobilen, semimobilen und stationären Aufbereitungsanlagen ... 49
6.2.1 Mobile Aufbereitungsanlagen ... 49
6.2.2 Semimobile Aufbereitungsanlagen ... 50
6.2.3 Stationäre Aufbereitungsanlagen ... 51
6.2.4 Aktuelle Beispiele für stationäre Baustoff-Aufbereitungsanlagen ... 52
6.2.4.1 Beton- und Baustoffwerke-Recycling-Mittelelbe GmbH & Co., Magdeburg ... 52
6.2.4.2 remex - Gesellschaft für Baustoffaufbereitung, Dresden ... 54
6.3 Verfahren zur Aufbereitung von Baustellenabfällen ... 56
6.3.1 Einsatz von Siebtrommeln ... 56
6.3.2 Einsatz eines GK-Sortierers ... 57
6.3.3 Einsatz eines Vibro-Windsichters ... 59
6.3.4 Einsatz eines Bechersiebes ... 59
6.3.5 Einsatz eines Disk-Scheiders ... 61

6.3.6 Aktuelles Beispiel für eine Kombinationsanlage zur Aufbereitung von Bauschutt und Baustellenabfällen ... 61
6.4 Literatur ... 63

7. Erfassung, Bewertung und Behandlung von Altstandorten und kontaminierten Bauwerken ... 64
7.1 Erfassung von kontaminierten Standorten ... 64
7.1.1 Rechtliche Voraussetzungen für die Erfassung von kontaminierten Standorten ... 64
7.1.2 Vorerkundung ... 64
7.1.2.1 Historische Recherche ... 65
7.1.2.2 Darstellung der Untergrund- bzw. Grundwassersituation ... 65
7.1.2.3 Luftbildauswertung ... 65
7.1.2.4 Standortbegehung ... 67
7.1.2.5 Erstbewertung ... 67
7.1.3 Weitergehende Erkundung mit Hilfe unterschiedlicher Erkundungsmethoden und Probenahme ... 67
7.1.3.1 Festlegung eines Erkundungsprogramms ... 67
7.1.3.2 Grundwassererkundung ... 67
7.1.3.3 Bodenerkundung ... 67
7.1.3.4 Oberflächenwassererkundung ... 68
7.1.3.5 Boden- bzw. Raumlufterkundung ... 68
7.1.3.6 Bodenproben ... 68
7.1.3.7 Wasserproben ... 69
7.1.3.8 Gasproben ... 69
7.1.4 Analytik ... 69
7.2 Bewertung von kontaminierten Standorten ... 69
7.2.1 Darstellung von Erfassungs- und Bewertungsmodellen ... 70
7.2.2 Schutz- und Vorsorgewerte ... 70
7.3 Definition von Sanierungszielen ... 71
7.4 Beispiel aus der Praxis ... 71
7.5 Spezielle Abbruch- und Aufbereitungstechniken für kontaminierte Bauwerke ... 72
7.5.1 Abbruch- und Rückbauverfahren für kontaminierte Bauwerke ... 72
7.5.1.1 Rückbau staubförmiger Baustoffe ... 72
7.5.1.2 Erfassung gasförmiger bzw. leichtflüchtiger Schadstoffe ... 73
7.5.1.3 Erfassung von oberflächenanhaftenden, nicht aus Bauwerksteilen austretenden Kontaminationen ... 73
7.5.2 Transport und Lagerung kontaminierter Baustoffe ... 74
7.5.3 Aufbereitungstechniken für kontaminierte Baustoffe ... 74
7.5.3.1 Bodenwaschverfahren ... 74
7.5.3.2 Thermische Reinigungsverfahren ... 74
7.5.3.3 Mikrobiologische Reinigungsverfahren ... 75
7.5.3.4 Spezielle Aufbereitungsverfahren ... 75
7.6 Literatur ... 76

8. Qualitätsanforderungen an Recycling-Baustoffe ... 77
8.1 Technische Beurteilung ... 77
8.1.1 Aufbereitung von nicht kontaminierten Baustoffen ... 77
8.1.2 Aufbereitung von kontaminierten Baustoffen ... 80
8.2 Umwelttechnische Anforderungen ... 80
8.2.1 Durchführung der Eigenkontrolle an der Anlage ... 80
8.2.2 Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) ... 81
8.2.3 Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel (TL RC-ToB, Version 1994) ... 85
8.2.4 Prüfverfahren ... 85
8.2.4.1 Bodenaushub ... 85
8.2.4.2 Recycling-Baustoffe ... 85
8.2.5 Empfehlungen für die Praxis gemäß Arbeitspapier Nr. 28 der FGSV ... 90
8.3 Regelungen und Verwaltungsvorschriften der Bundesländer zum Baustoff-Recycling ... 90
8.4 Literatur ... 90

9. Einsatzmöglichkeiten für aufbereitete Baustoffe ... 92
9.1 Einsatz von Bodenaushub ... 92
9.2 Einsatz von RC-Baustoffen im klassifizierten Straßenbau ... 95
9.3 Einsatz von aufbereiteten Baustoffen im nicht klassifizierten Straßenbau ... 95
9.4 Einsatz von aufbereiteten Baustoffen im Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau ... 95
9.5 Einsatz von aufbereiteten Baustoffen im Hochbau ... 96
9.5.1 Tragende Konstruktionen ... 96
9.5.2 Nichttragende Konstruktionen ... 96
9.6 Sonstige Einsatzgebiete für aufbereitete Baustoffe ... 98
9.6.1 Pflaster-Betonsteine ... 98
9.6.2 Mauersteine aus gebrauchten Baustoffen ... 99
9.7 Literatur ... 100

10. Absatzfördernde Maßnahmen bei Recycling-Baustoffen ... 101
10.1 Markt ... 101
10.1.1 Markthemmende Faktoren ... 101
10.1.2 Marktfördernde Faktoren ... 102
10.2 Qualitäts- und Umweltmanagement-Systeme ... 103
10.2.1 Total Quality Management (TQM) ... 104
10.2.2 Öko-Audit ... 104
10.2.3 Zertifizierung von Qualitätssicherungs-Systemen ... 104
10.3 Haftungsrisiken bei der Produktion und dem Einsatz von RC-Baustoffen ... 106
10.3.1 Betriebsrisiko ... 106
10.3.2 Produktrisiko ... 106
10.3.3 Umweltrisiken ... 107
10.3.4 Risk-Management-Konzept ... 107
10.4 Literatur ... 108

11. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Abbruch- und Aufbereitungsverfahren ... 109
11.1 Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen dem klassischen Abbruch und einem kontrollierten Rückbau ... 109
11.1.1 Kostenvergleich beim Rückbau des Hotel Post, Dobel ... 109
11.1.2 Kostenvergleich beim geplanten Teilrückbau eines Industriegebäudes ... 109
11.1.3 Wirtschaftlichkeit verschiedener Abbruchverfahren in Abhängigkeit von der Deponiegebührenentwicklung ... 110
11.1.4 Schlußfolgerungen ... 111
11.2 Wirtschaftlichkeit von Aufbereitungs- und Sortieranlagen für gebrauchte Baustoffe ... 111
11.2.1 Baustoff-Aufbereitungsanlagen ... 111
11.2.2 Baustellenabfall-Sortieranlagen ... 112
11.2.3 Schlußfolgerungen ... 113
11.3 Literatur ... 113

12. Der Weg von einem systematischen Rückbau über eine Wiederverwertung zum „Kreislaufwirtschaftsträger Bau“ 114
12.1 Literatur ... 115

Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

Mitteilung 1

- Informationsschrift „Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft"
- Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen
- Flugblatt und Merkblatt „Beseitigung von Pflanzenbehandlungsmittelresten". Hinweise für Anwender von Pflanzenschutzmitteln und Wachstumsreglern

1978, 64 Seiten, DM 8,60/öS 69,–/sfr. 9,50. ISBN 3 503 02552 9

Mitteilung 2

- Informationsschrift „Umschlagstationen für Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle"
- Merkblatt „Die geordnete Ablagerung von Abfällen"

1980, 52 Seiten, DM 8,40/öS 69,–/sfr. 9,50. ISBN 3 503 02553 7

Mitteilung 3

- Richtlinien für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen in Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen

1981, 40 Seiten, DM 8,20/öS 69,–/sfr. 9,50. ISBN 3 503 02554 5

Mitteilung 4

- Anhang „Rekultivierung von Deponien"
- Merkblatt „Die geordnete Ablagerung von Abfällen"

1982, 16 Seiten, DM 4,80/öS 35,–/sfr. 5,20. ISBN 3 503 02555 3

Mitteilung 5

- Gefährdungsabschätzung und Sanierungsmöglichkeiten bei Altablagerungen. Anhang: Kriterienkatalog Altablagerungen, Fallsammlung Sanierungsmaßnahmen

1983, 36 Seiten, DM 8,30/öS 69,–/sfr. 9,50. ISBN 3 503 02556 1

Mitteilung 6

- Informationsschrift „Deponiegas"

1983, 80 Seiten, DM 16,80/öS 132,–/sfr. 17,90. ISBN 3 503 02558 8

Mitteilung 7

- Merkblatt: Entsorgung von PCB-haltigen Reststoffen und Abfällen (Stand: 2/92)

1992, 12 Seiten, DM 4,90/öS 35,–/sfr. 5,20. ISBN 3 503 033513

Mitteilung 8

- Merkblatt: Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost aus Müll und Müll/Klärschlamm

1985, 39 Seiten, DM 8,60/öS 69,–/sfr. 9,50. ISBN 3 503 025618

Mitteilung 9

- Richtlinien für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen
  - CN 2/79 – Bestimmung des Cyanids in Abfällen
  - PN 2/78 K – Grundregeln für die Entnahme von Proben aus Abfällen und abgelagerten Stoffen (Stand: 12/83)
  - PN 2/78 – Entnahme und Vorbereitung von Proben aus festen, schlammigen und flüssigen Abfällen (Stand: 12/83)
  - SM 2/79 – Bestimmung von Schwermetallen in festen und schlammigen Abfällen (Stand: 12/83)
  - UP 2/80 – Darstellung von Untersuchungsergebnissen aus der Untersuchung von Abfällen

1985, 44 Seiten, DM 10,60/öS 84,–/sfr. 11,60. ISBN 3 503 02562 6

Mitteilung 10

- LAGA-Informationsschrift „Sickerwasser aus Hausmüll- und Schlackendeponien"

1985, 44 Seiten, DM 9,80/öS 76,–/sfr. 10,50. ISBN 3 503 02563 4

Mitteilung 11

- Energiegewinnung aus Abfällen. Technische und rechtliche Probleme der Verwertung von Reststoffen durch Verbrennen

1986, 20 Seiten, DM 5,40/öS 45,–/sfr. 6,20. ISBN 3 503 02564 2

Mitteilung 12

- Richtlinien für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen

1986, 16 Seiten, DM 4,95/öS 35,–/sfr. 5,20. ISBN 3 503 02612 6

Mitteilung 13

- Verwertung von festen Siedlungsabfällen

1988, 59 Seiten, DM 13,80/öS 108,–/sfr. 14,70. ISBN 3 503 02730 0

Mitteilung 14

- Merkblatt: Entsorgung von PCB-verunreinigten Transformatoren mit mineralölhaltiger oder synthetischer Kühlflüssigkeit (Stand: 2/92)
- Merkblatt: Entsorgung PCB-haltiger Kleinkondensatoren
- Merkblatt: Entsorgung asbesthaltiger Abfälle

1992, 14 Seiten, DM 4,95/öS 35,–/sfr. 5,20. ISBN 3 503 033521

Mitteilung 15

- LAGA-Informationsschrift Altablagerungen und Altlasten

2., unveränd. Auflage 1993, IV, 176 Seiten, kartoniert, DM 39,60/öS 314,–/sfr. 42,–. ISBN 3 503 03178 2
Gleichzeitig Band 37 der Reihe „Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis"

Mitteilung 16

- LAGA-Informationsschrift Abfallarten

4., durchges. Auflage 1992, 196 Seiten, kartoniert, DM 29,80/öS 239,–/sfr. 32,–. ISBN 3 503 03306 8
Gleichzeitig Band 41 der Reihe „Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis"

Mitteilung 17

- Alternativen der Klärschlammentsorgung. Bericht der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur 34. Umweltministerkonferenz

1991, 25 Seiten, DM 6,80/öS 54,–/sfr. 7,30. ISBN 3 503 03293 2

Mitteilung 18

- Merkblatt über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen aus öffentlichen und privaten Einrichtungen des Gesundheitsdienstes

1992, 23 Seiten, DM 6,80/öS 54,–/sfr. 7,30. ISBN 3 503 03313 0

Mitteilung 19

- Merkblatt über die Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle

1994, 30 Seiten, DM 12,80/öS 99,–/sfr. 13,70. ISBN 3 503 036547

Mitteilung 20/1

- Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Rohstoffen/Abfällen – Technische Regeln –

1994, 44 Seiten, DM 16,80/öS 132,–/sfr. 17,90. ISBN 3 503 036555

Die „Mitteilungen" erscheinen von Fall zu Fall, jew. im Format DIN A 5.
Mindestabnahme im Wert von 10,–.

ESV
ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München

2. Einführung

Zu dem komplexen Bereich des umweltgerechten Bauens gehört neben der Auswahl ökologischer Baustoffe und Techniken auch die Frage nach der Baukonstruktion, dem Baustellenbetrieb sowie der Wiederverwertung der Baustoffe. Insbesondere während des Baustellenbetriebes nimmt die Bedeutung der Abfallverwertung und -entsorgung einen steigenden Stellenwert ein. Zum Teil werden noch immer alle anfallenden Materialien unsortiert auf einer Stelle oder in einem Container gesammelt, obwohl diese Methode eigentlich der Vergangenheit angehören sollte (Bild 2.1). Heute müssen sich die Bauunternehmer oder Handwerker mit innerbetrieblichen Abfallwirtschaftskonzepten, aber auch den Annahmebedingungen der nächsten Verwertungs- oder Entsorgungseinrichtung auseinandersetzen. Die gesetzlichen Vorgaben (z.B. die TA Siedlungsabfall, Kreislaufwirtschaftsgesetz und die Abfallgesetze der Bundesländer) sowie die begrenzten Deponiekapazitäten führen zu Restriktionen bei der Entsorgung. Noch sind nicht an allen Aufbereitungs-, Sortieranlagen bzw. Deponien die Annahmebedingungen so gestaltet, daß gemischte Baustoffe oder Baustellenabfälle gar nicht oder nur zu sehr erhöhten Entgelten angenommen werden. Die Vor- bzw. Nachkalkulation eines Bauprojektes sollte jeden Unternehmer von der Wirtschaftlichkeit der Abfallvermeidung, jedoch zumindestens der getrennten Sammlung auf der Baustelle oder auf dem Bauhof überzeugen [2.1].

Eine Umfrage, die Anfang 1994 von der Fachzeitschrift Baugewerbe bei 25 Hoch-, Tief- und Straßenbauunternehmen durchgeführt wurde, zeigt ein entsprechendes Ergebnis. Auf die Frage nach den Betriebsbereichen, die durch behördliche Auflagen betroffen sind, wurden u.a. folgende Antworten gegeben (Mehrfachnennungen möglich) [2.2]:

- die Entsorgung der Baustelle (84 %),
- die Deponiekosten (80 %),
- Vermeidung/Sortierung von vermischten Abfällen auf der Baustelle (68 %),
- die Entsorgung von Schmierstoffen, Schalölen etc. (52 %) und
- das Recycling von Baustoffen (44 %).

Die innerbetriebliche Überwachung zur Einhaltung der Auflagen wird zu 60 % von den Bauleitern durchgeführt. Erst 28 % der Unternehmen haben dafür einen entsprechenden Betriebsbeauftragten bestellt.

Bild 2.1: Unsortierte Baustellenabfälle

Erstaunlich ist die Aussage, daß 76 % der befragten Baunternehmen kein neues Aufgabenfeld im Bereich des Recyclings von Baustoffen sehen. Die Information und Weiterbildung der Geschäftsführung wie auch der Mitarbeiter erscheint damit zwingend geboten. Eine weitreichende Zusammenfassung der einzelnen Vermeidungs-, Verwertungs- und Einsatzmöglichkeiten in der Bauwirtschaft ist in der vorliegenden Veröffentlichung dargestellt.

Erst durch den Einsatz von Recycling-Baustoffen besteht die Möglichkeit, auch in der Bauwirtschaft einen Kreislauf des umweltgerechten Bauens zu schließen. Voraussetzung ist dabei, daß die Recycling-Baustoffe gleichwertig zu Primärbaustoffen im Bauprozeß eingesetzt werden.

Einen ersten Ansatz zum Aufbau einer Kreislaufwirtschaft soll der „Kreislaufwirtschaftsträger Bau" (KWB) darstellen, der im Ausblick dieses Beiheftes vorgestellt wird.

2.1 Literatur

[2.1] *Gewiese, A.:* Geld im Container, Baugewerbe (21) 1994, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

[2.2] *N.N.:* Der „grüne" Bauunternehmer, Baugewerbe (9) 1994, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

3. Begiffsbestimmung und Aufkommen an gebrauchten mineralischen Baustoffen

Die Definition bzw. Begriffsbestimmung der unterschiedlichen gebrauchten mineralischen Baustoffe wird von den bestehenden gesetzlichen Regelungen (z. B. TA Siedlungsabfall) vorgegeben. In der Praxis werden jedoch für die einzelnen Stoffe die unterschiedlichsten Bezeichnungen verwendet. Um eine Vereinheitlichung der verwendeten Begriffe zu erreichen, sind in Tabelle 3.1 unter anderem die Begriffsbestimmungen gemäß TA Siedlungsabfall angegeben.

Die Tabelle 3.1 zeigt außerdem die Abfallschlüsselnummern gemäß Abfallartenkatalog der LAGA sowie die zu erwartenden Stoffe je Fraktion. In Spalte 5 ist das für 1992 auf die gesamte Bundesrepublik hochgerechnete Aufkommen an gebrauchten mineralischen Baustoffen aufgeführt. Konkrete Daten liegen auch beim Statistischen Bundesamt nicht vor. Eine Umfrage bei den zuständigen Ministerien der Bundesländer ergab die in Tabelle 3.2 angegebenen Daten. Diese geben die Massen an Baustoffen an, die durch die entsorgungspflichtigen Körperschaften auf Deponien entsorgt wurden [3.2].

3.1 Abschätzungen des Aufkommens

Wie aus der Tabelle 3.2 ersichtlich, werden lediglich in fünf Bundesländern die Baustoffe entsprechend den Abfallschlüsselnummern erfaßt. Zum Teil werden Bauschutt und Straßenaufbruch zusammengefaßt. Vier Ministerien waren nicht in der Lage, aktuelle Daten zur Verfügung zu stellen.

Angaben über die Massen an Baustoffen, die wiederverwertet wurden, konnten nicht gemacht werden. In Baden-Württemberg existiert eine Abschätzung für 1992, nach der ca. 50 % des Bauschutts und Straßenaufbruchs verwertet wurden.

Die Zusammenstellung zeigt das Defizit bei der Erfassung der anfallenden gebrauchten mineralischen Baustoffe. Die Daten basieren teils auf Abschätzungen, teils auf Wiegeergebnissen der Annahmestellen oder der Auswertung von Begleitscheinen. Ein Teil der anfallenden Baustoffe verschwindet – vorbei an jeglicher Erfassung – „über billige Kanäle" im angrenzenden Ausland oder in offenen Gruben (alte Deponien, Tagebau etc.). Es bleibt abzuwarten, ob diese Praktiken durch die Pflicht zur Erstellung von Abfallbilanzen

Tabelle 3.1.: Definition, Zusammensetzung und Aufkommen der in der Bundesrepublik anfallenden gebrauchten mineralischen Baustoffe

gebrauchte mineralische Baustoffe = Bauabfälle	Abfallschlüssel des Abfallartenkatalogs der LAGA	Definition gemäß TA Siedlungsabfall	Zusammensetzung	bundesweites Aufkommen 1992
Bodenaushub	314 11	nicht kontaminiertes, natürlich gewachsenes oder bereits verwendetes Erd- oder Felsmaterial	Mutterboden, Sand, Kies, Lehm, Ton, Steine, Fels etc.	ca. 215 Mio. Mg/a
Bauschutt	314 09	mineralische Stoffe aus Bautätigkeiten, auch mit geringfügigen Fremdanteilen	Erdreich, Beton, Ziegel, Kalksandsteine, Mörtel, Gips, Leichtbaustoffe, Fliesen, Steinwolle etc.	ca. 30 Mio. Mg/a
Straßenaufbruch	314 10	mineralische Stoffe, die hydraulisch, mit Bitumen oder Teer gebunden oder ungebunden im Straßenbau verwendet werden	Asphalt, Teer, Beton, Sand, Kies, Schotter, Pflaster- und Randsteine etc.	ca. 26 Mio. Mg/a
Baustellenabfälle	912 06	nicht mineralische Stoffe aus Bautätigkeiten, auch mit geringfügigen Fremdanteilen	Metalle, Holz, Kunsttstoffe, Verpackungsmaterial (Papier, Kartonagen), Kabel, farben, Lacke, Emballagen, Klebstoffe, Isoliermaterialien etc.	ca. 14 Mio. Mg/a

Tabelle 3.2: Durch die entsorgungspflichtigen Körperschaften in den einzelnen Bundesländern entsorgte gebrauchte Baustoffe in Mio. Mg/a, Stand: September 1994

Bundesland	Bauschutt	Straßenaufbruch	Erdaushub	Baustellenabfälle	Summe
Baden-Württemberg (1992)	6,2		15,4		21,6
Bayern (1991/92)	5,0	2,0	20,0	1,5	28,5
Berlin (1993)	1,06		1,13		2,19
Brandenburg (1992)	0,5	1,4	0,2	0,7	2,8
Bremen					k. A.
Hamburg (1990/91)	1,0	0,7	4,5	0,5	6,7
Hessen (1993)	0,8	0,06	1,5	0,2	2,56
Mecklenbg.-Vorpom. (1992)					2,2
Niedersachsen (1992)					4,0
Nordrhein-Westfalen (1992)					25,0
Rheinland-Pfalz					k. A.
Saarland					k. A.
Sachsen (1992)	4,1		2,4	0,6	7,1
Sachsen-Anhalt (1992)	2,6	0,2	2,5	0,7	6,0
Schleswig-Holstein					k. A.
Thüringen (1992)		2,2		4,0	6,2

durch die entsorgungspflichtigen Körperschaften unterbunden werden. Eine verbindliche Pflicht zur regelmäßigen Kontrolle könnte dies unterstützen.

Betreiber von Baustoff-Aufbereitungsanlagen müssen sich bisher, sofern keine Aufkommensdaten in der jeweiligen Gemeinde vorliegen, zur Abschätzung des Aufkommens mit Hochrechnungen begnügen. Ein Modell zur Berechung des Aufkommens an Erdaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch wurde 1991 im Rahmen einer Dissertation an der Universität Karlsruhe entwickelt. Mit Hilfe des Modells können in einem festgelegten Gebiet verläßliche Informationen über das Aufkommen und Angaben über die wiederzuverwertenden Anteile errechnet werden. Als Grundlagen für dieses Modell wurden Erfahrungswerte aus dem Rhein-Neckar-Kreis, Baden-Württemberg, verwendet. Diese Region kann als typischer Verdichtungsraum angesehen werden [3.1].

Tabelle 3.3: Flächenkennwerte bezüglich des Aufkommens, der potentiellen Wiederverwertung und potentiellen Deponiequoten für die Region Rhein-Neckar-Kreis [3.1]

Flächennutzung	Baustoffarten	anfallende Baustoffmassen in [Mg/a · Jahr]	Wiederverwertungsquote in [Gew.-%]	Deponiequote in [Gew.-%]
Gebäudeflächen	Erdaushub	74,4	47	53
Betriebsflächen	Asphalt	–	–	–
Hofflächen, Freizeitanlagen [1])	sonst. mineral. Baustoffe	58,0	64	36
Verkehrsflächen	Erdaushub	24,8	47	53
inclusiv	Asphalt	7,3	98	2
Landwirtschaft- und Forstwege [2])	sonst. mineral. Baustoffe	37,8	64	36

[1]) Diese Flächengruppe umfaßt folgende Kategorien der amtlichen Flächennutzungsstatistik: Gebäude- und Hofflächen, Friedhöfe, Parkanlagen, Sportanlagen.

[2]) Diese Flächengruppe umfaßt die Kategorien „Wegeland und Eisenbahnflächen", Landwirtschafts- und Forstwege werden mit erfaßt.

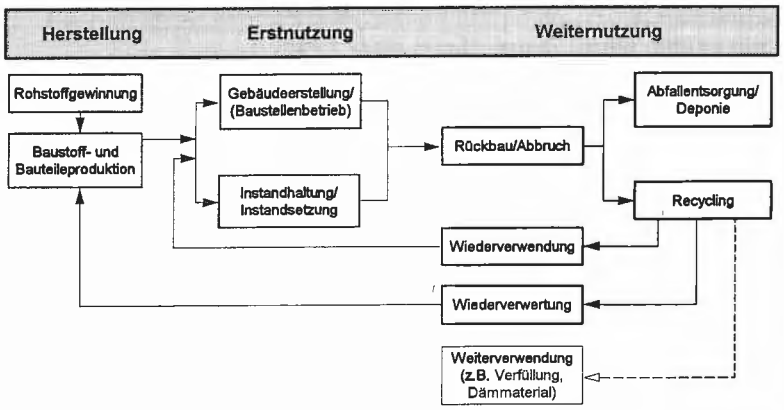


Bild 3.1: Lebenszyklus eines Baustoffes von der Gewinnung über die Erstnutzung bis zur Weiternutzung.

Als Datengrundlage diente die amtliche Flächennutzungsstatistik des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg. Einschränkend für die Anwendung gilt, daß die Kennwerte zunächst nur auf den im Rhein-Neckar-Kreis gewonnenen Modellergebnissen beruhen. Diese sind als Kennwert-Schätzungen anzusehen, die durch weitere Modellanwendungen empirisch abzusichern sind. In Tabelle 3.3 sind die Ergebnisse der Modellberechnung dargestellt.

Es konnte ein Aufkommen an gebrauchten mineralischen Baustoffen von 3,9 Mg/E · a errechnet werden. Bei einem darin enthaltenen Anteil von ca. 50 Gew.-% Erdaushub und einem Anlagen-Mindestdurchsatz von 100.000 Mg/a ergibt sich ein Einzugsgebiet von ca. 51.300 Einwohnern. Werden neben der Größe des Einzugsgebietes auch die Transportentfernungen mit einbezogen, so errechnet sich bei einer durchschnittlich Transportweite von 10 bis 15 km eine Mindesteinwohnerdichte von 105 E/km^2 [3.1].

Tabelle 3.4: Zusammenstellung der unterschiedlichen Bezeichnungen für gebrauchte mineralische Baustoffe

Begriffe gemäß TA Siedlungsabfall	Verwendete Begriffe in diesem Beiheft	Begriffe aus der täglichen Praxis
Bauabfälle	gebrauchte mineralische Baustoffe	Baureststoffe, Baurestmassen
Bodenaushub	Bodenaushub	Erdaushub, Boden, Füllboden
Bauschutt	Bauschutt	Schutt, Hochbauschutt, Abbruchmassen, Baumischschutt
Straßenaufbruch	Straßenaufbruch	Straßenbaumaterial, Asphaltaufbruch
Baustellenabfälle	Baustellenabfälle	Baumischstoffe oder -abfälle, Containerabfälle, Muldenmüll

1) Baustellenabfälle bestehen oft aus Gemischen von mineralischen und nicht mineralischen Stoffen, da keine Sortierung auf den Baustellen durchgeführt wird.

3.2 Abgrenzung der verwendeten Begriffe

Unterschiede bei den Angaben zum Aufkommen der anfallenden gebrauchten Baustoffe entstehen auch aufgrund der unterschiedlichen Bezeichnungen für die einzelnen Fraktionen. Die Tabelle 3.1 zeigt die offiziellen Definitionen gemäß TA Siedlungsabfall; in der Praxis werden jedoch viele zum Teil verwirrende Begriffe verwendet. In Tabelle 3.4 ist eine Zusammenstellung der gebräuchlichsten Begriffe aufgeführt.

Der Oberbegriff „Bauabfälle" wird in dieser Veröffentlichung nicht benutzt, da das Wort „Abfall" im deutschen Sprachgebrauch eine negative Auslegung erfährt. Danach sind Abfälle oft Stoffe, die entsorgt und nicht verwertet werden. In der Fachliteratur wird daher neutral von gebrauchten mineralischen Baustoffen gesprochen.

Ebenso besteht bei der Abgrenzung der Begriffe Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung und Weiterverwertung eine Vermischung der Bedeutungen. Gemäß VDI-Richtlinie 2243 werden diese Begriffe wie folgt definiert:

- Wiederverwendung ist die erneute Nutzung eines gebrauchten Produktes für den gleichen Verwendungszweck, für den es ursprünglich hergestellt wurde. So können z. B. ausgebaute Fenster erneut in einem Gebäude eingesetzt werden.
- Weiterverwendung ist die erneute Verwendung eines gebrauchten Produkts für einen anderen Zweck, für den es ursprünglich nicht hergestellt wurde. Beispielsweise können intakte Ziegelsteine als Randbegrenzung für Grünanlagen verwendet werden.

Bei der Wieder- und Weiterverwendung bleibt die Gestalt des Produktes erhalten.

- Wiederverwertung ist der wiederholte Einsatz von Altstoffen und Produktionsrückständen in einem gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktionsprozeß. So werden die aufgenommenen Straßenbaustoffe nach einer Aufbereitung erneut im Straßenbau eingesetzt. Erfolgt dieser Prozeß mehrfach, wird dies als Re-Recycling bezeichnet

- Weiterverwertung ist der Einsatz von Altstoffen und Produktionsrückständen in einem von diesen noch nicht durchlaufenen Produktionsprozeß. Beispielsweise wird Ziegelsplitt als Pflanzsubstrat in der Dachbegrünung benutzt.

Der Lebenszyklus eines Baustoffes unter Berücksichtigung der erneuten Verwendungs- und Einsatzmöglichkeiten ist entsprechend in Bild 3.1 dargestellt.

3.3 Literatur

[3.1] *Hiersche, E.-U.; Hettenbach, P.:* Anfall und Wiederverwendbarkeit von abgängigen Baustoffen, Baustellenabfällen und Erdaushub. Baustoff-Recycling + Deponietechnik 5 (1991), Stein-Verlag, Baden-Baden

[3.2] *Kohler, G.:* Kreislaufwirtschaft Baureststoffe. *Bilitewski, B.* (Hrsg.): Recycling von Baureststoffen, Berlin: EF-Verlag 1993, S.125–143

4. Rechtliche Grundlagen

Für den Bereich des Baustoff-Recyclings müssen immissionsschutz-, genehmigungs-, abfall- und baurechtliche Regelungen beachtet werden. Hinsichtlich der Anforderungen an den Immissionsschutz und die Genehmigungsvoraussetzungen stellen das Bundesimmissionsschutz-Gesetz (BImSchG) und die dazugehörigen Verordnungen die Rechtsgrundlage dar. Die Bereiche Vermeidung, Verringerung, Verwertung und Transport werden vom Abfallgesetz (AbfG) sowie den zugehörigen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften berücksichtigt. Hinsichtlich der Standortbedingungen für Baustoff-Recyclinganlagen ist außerdem das Baugesetzbuch (BauGB) zu beachten.

4.1 Abfallrechtliche Rahmenbedingungen

4.1.1 Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz: AbfG)

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz: KrW-/AbfG)

Am 8. Juli 1994 hat der Bundesrat dem Kreislaufwirtschaftgesetz zugestimmt. Gemäß Artikel 13 gelten folgende Fristen für das Inkrafttreten bzw. Außerkrafttreten. Vorschriften, die die Bundesregierung zum Erlaß von Rechtsverordnungen ermächtigen, treten am Tage nach der Verkündigung (6. 10. 1994, Bundesgesetzblatt Nr. 66) in Kraft. Im übrigen tritt das Kreislaufwirtschaftsgesetz zwei Jahre nach Verkündigung in Kraft, während zum gleichen Zeitpunkt das Abfallgesetz außer Kraft tritt. In diesem Sinne können die im Entwurf vorliegenden Rechtsverordnungen (Baurestabfallverordnung/Zielfestlegungen) bereits nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz umgesetzt werden.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz stellt eine weitgehende Novellierung des bestehenden Abfallgesetzes dar. Diese ist erforderlich, da die Möglichkeiten zur Vermeidung von Abfällen unzureichend genutzt werden. Eine Verminderung des Abfallaufkommens kann durch Nutzung von Sekundärrohstoffen, Einsatz abfallarmer Verfahren oder Verwertung innerhalb des Produktionsprozesses, d.h. vor der Abfallentstehung, erreicht werden. Bisher fehlten für diesen Bereich klare gesetzliche Vorgaben. Insbesondere die „Unschärfe" des bisherigen Abfallbegriffes und damit verbunden die Möglichkeit, Abfälle als Wirtschaftsgut zu deklarieren, führten zu erheblichen Planungsunsicherheiten und Investitionshemmnissen.

Gemäß § 3 KrWG sind Abfälle alle beweglichen Sachen, die unter die im Anhang I des Gesetzes aufgeführten Gruppen fallen, und deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung. Danach handelt es sich bei gebrauchten mineralischen Baustoffen zukünftig um Abfälle zur Verwertung.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz legt kurzgefaßt folgende Eckwerte fest [4.4]:

- In wichtigen Bereichen von Produktion und Konsum werden Pflichten zur Abfallvermeidung festgelegt.
- Erzeuger und Besitzer von Abfällen werden verpflichtet, nicht vermeidbare Abfälle umweltverträglich zu verwerten. Dabei hat die umweltverträglichste Verwertungsart Vorrang. Neben der stofflichen Verwertung wird die energetische Verwertung gleichrangig behandelt.
- Es sind nur noch Abfälle zu entsorgen, die nicht verwertet werden können.
- Die Wirtschaft muß diese Pflichten in eigener Verantwortung und auf eigene Kosten erfüllen.
- Es werden die Voraussetzungen geschaffen, damit die Behörden die Einhaltung dieser Pflichten gesetzlich sicherstellen können.

Hinsichtlich der Planfeststellung, Plangenehmigung oder immmissionsschutzrechtlichen Genehmigung von Baustoff-Recyclinganlagen gelten sowohl nach dem AbfG als auch dem KrWG folgende Regelungen:

Die Errichtung und der Betrieb von ortsfesten Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung oder Behandlung von Abfällen (zur Beseitigung) sowie die wesentliche Änderung einer solchen Anlage oder ihres Betriebes bedürfen der Genehmigung nach den Vorschriften des Bundesimmissionsschutz-Gesetzes. Einer weiteren Zulassung nach dem AbfG oder KrWG bedarf es nicht (siehe Kap. 4.2) [4.3].

4.1.2 Zielfestlegungen der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Bodenaushub und Straßenaufbruch

Die Bundesregierung hat Ziele für die Vermeidung, Verringerung sowie Verwertung der gebrauchten Baustoffe festlegt. Diese Zielfestlegungen (Stand: 5. 11. 1992) liegen bisher nur im Entwurf vor. Eine Inkraftsetzung ist zur Zeit nicht geplant. Die Forderungen dieser Zielfestlegungen haben jedoch Eingang in länderspezifische Verordnungen gefunden [4.5].

Die Zielfestlegungen beziehen sich auf nicht schadstoffhaltigen Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle. Im einzelnen werden folgende abfallwirtschaftlichen Ziele definiert:

Zukünftige Bauweisen

Bereits bei der Entwicklung neuer Baustoffe, Bauprodukte und Bauweisen soll der späteren Abfallvermeidung, stofflichen Verwertung bzw. umweltfreundlichen Entsorgung Rechnung getragen werden. Dies bezieht sich auf wiederverwertbare Materialien, stofflich verwertbare Bauprodukte sowie recyclinggerechte Baukonzeptionen.

Anfall von Baureststoffen bei Bauarbeiten

Der Anfall der eigentlich wiederverwertbaren Baustoffe als zu entsorgende Abfälle ist durch geeignete Maßnahmen weitestgehend zu vermeiden. Diese Maßnahmen schließen Möglichkeiten bei der Gestaltung des Ablaufs von Abbrucharbeiten bzw. von Baumaßnahmen, der unmittelbaren Wiederverwertung auf der Baustelle und anderes ein. Diese Aufforderung richtet sich an öffentliche und private Auftraggeber, Planer, Abbruchunternehmen und die zuständigen Behörden des Bundes, der Länder und der Gebietskörperschaften.

Getrennthaltungs- und Verwertungspflicht

Die Verwertung der gebrauchten Baustoffe hat Vorrang vor deren Ablagerung. Dabei sollen die verwertbaren Bestandteile getrennt von den nichtverwertbaren bzw. störenden Stoffen bereits an der Baustelle erfaßt und einer Verwertung zugeführt werden.

Fällt die Entsorgung dieser Stoffe nicht in die Zuständigkeit der entsorgungspflichtigen Körperschaft, so sind die zuständigen Behörden aufgefordert, durch geeignete Überwachungsmaßnahmen und durch verhaltenslenkende Maßnahmen (z.B. Deponiegebührengestaltung) den Vorrang der Verwertung vor der sonstigen Entsorgung zu gewährleisten.

Anwendungsbereich

Die Zielfestlegungen richten sich an die Hersteller von Bauprodukten und diejenigen, welche mit der Planung und Durchführung von Bau-, Sanierungs- und Abbruchmaßnahmen sowie dem Einsammeln, Befördern, Aufbereiten, Verwerten und Entsorgen der gebrauchten Baustoffe befaßt sind.

Verwertungsziele

Um das Aufkommen an zu deponierenden Bauabfällen zu verringern, werden die in Tabelle 4.1 aufgeführten Verwertungsziele vorgegeben.

Einsatz der Sekundärprodukte

Öffentliche Auftraggeber sollen sicherstellen, daß bei der Ausschreibung und Vergabe von Bauprojekten, insbesondere des Wege- und Straßenbaus, Sekundärbaustoffe unter Beachtung der Qualitätsanforderungen und Umweltverträglichkeit bei sonst gleichen Bedingungen vorrangig berücksichtigt werden. Neue Bauweisen, welche die spezifischen Eigenschaften der Sekundärprodukte nutzen, sind zu beachten. Eine Anpassung der Bau- und Prüfvorschriften wird gefordert. Die Entwicklung der Verwendung außerhalb des Wege- und Straßenbaus ist zu fördern.

Tabelle 4.1: Verwertungsziele gemäß Zielfestlegung der Bundesregierung

gebrauchte mineralische Baustoffe	Verwertung in den alten Bundesländern 1990 in Gew.-%	Verwertungsziele für 1995 für das Bundesgebiet in Gew.-%
Bauschutt	29	60
Baustellenabfälle	–	40
Straßenaufbruch	71	90

Bodenaushub ist vollständig zu verwerten. Bei fehlendem Bedarf sind Zwischenlager zu errichten.

4.1.3 Verordnung über die Entsorgung von Baurestabfällen (Baurestabfallverordnung – BaurestAbfV)

Die Bundesregierung hat den letzten Entwurf über die Entsorgung von Baurestabfällen am 20. 11. 1992 vorgelegt. Die Inkraftsetzung steht bis jetzt aus [4.6].

Einer weitgehenden Wiederverwertung der anfallenden gebrauchten Baustoffe sind aufgrund vielfältiger Belastungen mit schadstoffhaltigen und störenden Stoffen zur Zeit noch Grenzen gesetzt. Zur Wahrung der Wiederverwertungsmöglichkeiten sollen belastete Baurestabfälle getrennt von regelmäßig ohne besondere Behandlung verwertbaren Stoffen gehalten, eingesammelt, befördert und entsprechend den chemischen und physikalischen Eigenschaften in sonstiger Weise umweltverträglich entsorgt werden.

Anwendungsbereich

Die Verordnung gilt für Stoffe, die bei Bauarbeiten jeglicher Art anfallen und die aufgrund des Schadstoffgehaltes (schadstoffhaltige Baurestabfälle) oder als störende Bestandteile (störende Baurestabfälle) als Abfall zu entsorgen sind. Diese Stoffe werden als Baurestabfälle bezeichnet. Der Begriff „Baurestabfälle" wird ausschließlich in der BaurestAbfV verwendet, während dieser Begriff in der TA Siedlungsabfall bereits in der Entwurfsphase wieder gestrichen wurde (vgl. Kap. 4.1.4). Der Begriff „Baurestabfälle" ist daher auch nicht in Kap. 3 angeführt.

In der Baurestabfallverordnung wird im einzelnen ausgeführt, was unter schadstoffhaltigen und was unter störenden Baurestabfällen zu verstehen ist:

Schadstoffhaltige Baurestabfälle

Holz, Steine, Erden, Schlacken, Metalle, Kunststoffe, Textilien oder Glas sowie Baustoffe daraus, die in nicht nur unerheblichen Maße insbesondere belastet sind durch:

- umwelt- und gesundheitsgefährdende Farb- und Anstrichmittel, Holzschutzmittel, Lösemittel, Flammschutzmittel, Klebe- oder Dichtungsmittel, einschließlich Verpackungen mit Resten oder Anhaftungen dieser Stoffe;
- Mineralöl oder -erzeugnisse, synthetisches Öl oder Erzeugnisse aus diesem sowie Altöl, insbesondere Hydraulik-, Schal-, Transformatoren- und Kondensatorenöl oder ähnliche Stoffe, einschließlich Verpackungen mit Resten oder Anhaftungen dieser Stoffe;
- teerhaltige Stoffe, einschließlich Verpackungen mit Resten oder Anhaftungen dieser Stoffe;
- Faserbaustoffe, die als krebserzeugend klassifiziert sind, oder daraus hergestellte Verbundwerkstoffe;

- geschäumte Kunststoffe, die unter Verwendung umweltschädigender Treibmittel hergestellt wurden;
- gebrauchs- und unfallbedingte Verunreinigungen.

Störende Baurestabfälle

Holz, Steine, Erden, Schlacken, Metalle, Kunststoffe, Textilien oder Glas sowie Baustoffe daraus, soweit diese keine Abfälle sind, die als Gemengeteile eine Verwertung der einsetzbaren Baustoffe behindern oder unmöglich machen.

Getrennthaltungsgebot, Vermischungs- und Ablagerungsverbot

Schadstoffhaltige Baurestabfälle sind getrennt von störenden Baurestabfällen und verwertbaren Baustoffen zu halten, einzusammeln und einer umweltverträglichen Entsorgung zuzuführen. Asbesthaltige Baurestabfälle sind wiederum von sonstigen schadstoffhaltigen Baurestabfällen getrennt zu halten und zu entsorgen. Eine Vermischung von schadstoffhaltigen mit störenden Baurestabfällen oder mit verwertbarem Bauschutt, Bodenaushub, Baustellenabfällen und Straßenaufbruch ist untersagt. Außerdem ist es verboten, schadstoffhaltige Baurestabfälle auf Flächen abzulagern, die zum Verfüllen mit Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch zugelassen sind.

Fallen bei einer einzelnen Baumaßnahme nicht mehr als 500 kg schadstoffhaltiger Baurestabfälle aus dem Verantwortungsbereich des Bauherrn an, gilt für diese Abfälle derjenige als Abfallerzeuger im Sinne der Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung (AbfRestÜberwV), der mit der Ausführung der Bauarbeiten unmittelbar beauftragt ist. Ansonsten ist der Bauherr verantwortlich.

4.1.4 Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen: TA Siedlungsabfall)

Die Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen wurde am 1. Juni 1993 in Kraft gesetzt. Es handelt sich dabei um eine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Die Anforderungen beziehen sich unter anderem auf Baustoff-Recyclinganlagen (Altanlagen), deren Errichtung und Betrieb zum Zeitpunkt des Inkrafttretens dieser Technischen Anleitung (Juni 1993) nach § 7 Abs. 1 oder 2 AbfG zugelassen waren oder deren Vorhaben im Rahmen eines Planfestellungsverfahrens öffentlich bekannt gemacht wurden. Neuanlagen werden nicht nach AbfG, sondern gemäß Bundes-Immissionsschutz-Gesetz genehmigt. Diese unterliegen damit nicht direkt den Anforderungen der TA Siedlungsabfall [4.7].

Als Verwaltungsvorschrift hat die TA Siedlungsabfall keine unmittelbare Außenwirkung, sondern bindet die Verwaltung. Die Behörden können jedoch auf Grundlage dieser Verwaltungsvorschrift Anordnungen erlassen, die z. B. die Deponierung von verwertbaren, gebrauchten Baustoffen auf öffentlichen Deponien ausschließen oder eine abfallrechtliche Überwachung zur Folge haben. Dies kann wiederum direkte Auswirkungen auf den Betrieb von Baustoff-Recyclinganlagen haben [4.1].

Da die Behörden als entsorgungspflichtige Körperschaften Abfallentsorgungspläne aufstellen müssen, sind gemäß den Anforderungen der TA Siedlungsabfall entsprechende Verwertungsberichte von den Anlagenbetreibern zur Verfügung zu stellen.

Die Ziele der TA Siedlungsabfall sind wie folgt definiert:

- nicht vermeidbare Abfälle soweit wie möglich zu verwerten,
- den Schadstoffgehalt der Abfälle so gering wie möglich zu halten,
- eine umweltverträgliche Behandlung und Ablagerung der nicht verwertbaren Abfälle sicherzustellen.

Dabei ist die Entsorgungssicherheit zu gewährleisten.

Die nachfolgend aufgeführten Forderungen über die Organisation und den Betrieb von Anlagen beziehen sich mit Übergangsfristen auf Recyclinganlagen (Altanlagen), die gemäß AbfG planfestgestellt oder plangenehmigt sind. Für diese hat die zuständige Behörde nachträgliche Anordnungen bis zum 1. Juni 1996 mit der Maßgabe zu erlassen, daß

- die Anforderungen an die Organisation, das Personal sowie Information und Dokumentation bis spätestens zum 1. Juni 1999,
- sowie die übergreifenden Anforderungen an Behandlungsanlagen bis spätestens zum 1. Juni 2002 eingehalten werden.

Für die Verwertung von Abfällen sind folgende Zuordnungskriterien definiert. Danach sind Abfälle zu verwerten, wenn

- dies technisch möglich ist,
- die hierbei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Entsorgung nicht unzumutbar sind,
- für die gewonnenen Produkte ein Markt vorhanden ist oder insbesondere durch Beauftragung Dritter geschaffen werden kann und
- sich die Verwertung insgesamt vorteilhafter auf die Umwelt auswirkt als andere Entsorgungsverfahren.

Gleichzeitig werden „Zuordnungskriterien für die Ablagerung" aufgeführt, wonach Abfälle nur dann der Deponie angeliefert werden dürfen, wenn diese nicht verwertet werden können und die Grenzwerte („Zuordnungskriterien des Anhangs B") für die Deponieklasse I oder II eingehalten werden. Dies bedeutet, daß die Anlieferung von gebrauchten Baustoffen an öffentlichen Deponien verweigert werden kann.

Die Grundsätze zur Getrennthaltung und zum Vermischungsverbot wiederverwertbarer und nicht verwertbarer Stoffe sowie die getrennte Erfassung an der Anfallstelle werden vergleichbar der Baurestabfallverordnung und den Zielfestlegungen gefordert. Gleichzeitig werden Verwertungswege für Straßenaufbruch, Bodenaushub und Bauschutt benannt.

Die Betreiber von Verwertungsanlagen, also auch von Baustoff-Recyclinganlagen, sind durch die Behörde zu verpflichten, jährlich Verwertungsberichte mit folgenden Informationen zur Verfügung zu stellen:

- Angaben über Menge und Zusammensetzung des Input- und Output-Materials,
- Angaben über den Verbleib der gewonnenen Wertstoffe,
- Einschätzung der Absatzsicherheit für die Wertstoffe und
- Angaben über Menge und Verbleib der nicht verwertbaren Reste.

Altanlagenbetreiber haben die „Anforderungen an die Organisation und das Personal sowie an die Information und Dokumentation" zu beachten. Danach sollen die Anlagen über eine „Kontrolleinheit" verfügen, die verantwortlich für die Annahmekontrolle und die Sicherstellung falsch angelieferter Abfälle ist. Zur „Information und Dokumentation" hat der Betreiber eine Betriebsordnung, ein Betriebshandbuch und Betriebstagebuch zu erstellen und fortzuschreiben. Das Betriebstagebuch hat dabei u.a. Annahmeerklärungen, Bestätigungen und Nachweisbücher gemäß Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung, Daten über die Wertstoffe sowie die restlichen Abfälle, Ergebnisse von Eigen- und Fremdkontrollen sowie Betriebsstörungen etc. zu enthalten.

Die „übergreifenden Anforderungen" beinhalten Forderungen zum Eingangsbereich mit Stauraum, Waage und Probenahmestelle, Lagerbereich (getrennte Lagerung von Abfällen und Betriebsmitteln) und Arbeitsbereich.

Zur Verbesserung der Nachfragesituation von Recyclingbaustoffen wird in den „Ergänzenden Empfehlungen zur TA Siedlungsabfall" bestimmt, daß die öffentliche Hand ihrer Vorbildfunktion im Bereich Vermeidung und Verwertung nachkommen soll. So sollte vor allem das Beschaffungs- und Auftragswesen so ausgerichtet werden, daß die Wiederverwendung von Erzeugnissen und die Verwertung von Wertstoffen gefördert wird. Dies bezieht sich unter anderem auf die Auftragsvergabe von Bauvorhaben.

Die angeführten Regelungen erscheinen auf den ersten Blick recht weitreichend. Bei den hier angesprochenen Bereichen handelt es sich aber überwiegend um sogenannte Soll-Vorschriften, die nicht zwingend zu befolgen sind. Des weiteren werden eine ganze Reihe für die Praxis entscheidene Fragen offengelassen, so z.B., was unter „verwertbaren Anteilen" oder unter „schadstoffbelasteten Bauabfällen" zu verstehen ist. [4.1].

Prinzipiell ist jedoch festzustellen, daß die TA Siedlungsabfall die einzige bisher rechtlich verbindliche Vorschrift ist. Die Annahmeverweigerung von gebrauchten Baustoffen an öffentlichen Deponien zeigt dabei die Bereitschaft zur Umsetzung durch die Behörden an. Inwieweit die Anordnungen an Altanlagen tatsächlich von den Behörden gefordert werden, bleibt bis Juni 1996 abzuwarten. Ob die Zielfestlegungen und die Baurestabfallverordnung überhaupt in Kraft gesetzt werden, ist fraglich. Hier sind dann eher die einzelnen rechtsverbindlichen bundesländerspezifischen Verordnungen und Erlasse bindend. In einigen Regelungen wurden die Recycling-Quoten bzw. das Vermischungsverbot und Getrennthaltungsgebot von Wert- und Reststoffen bereits übernommen.

4.2 Regelungen für die Genehmigungspraxis von Baustoff-Recyclinganlagen

Um eine Recycling-Anlage betreiben zu können, sind in Abhängigkeit von deren Betriebsweise und Anlagenart Genehmigungen nach dem Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) erforderlich. Bisher war die Erlangung der erforderlichen Genehmigungsverfahren für den Betreiber sehr arbeits- und zeitintensiv. Das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz soll hierbei zur Verkürzung der Verfahren beitragen.

4.2.1 Gesetz zur Erleichterung von Investitionen und der Ausweisung und Bereitstellung von Wohnbauland (Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz)

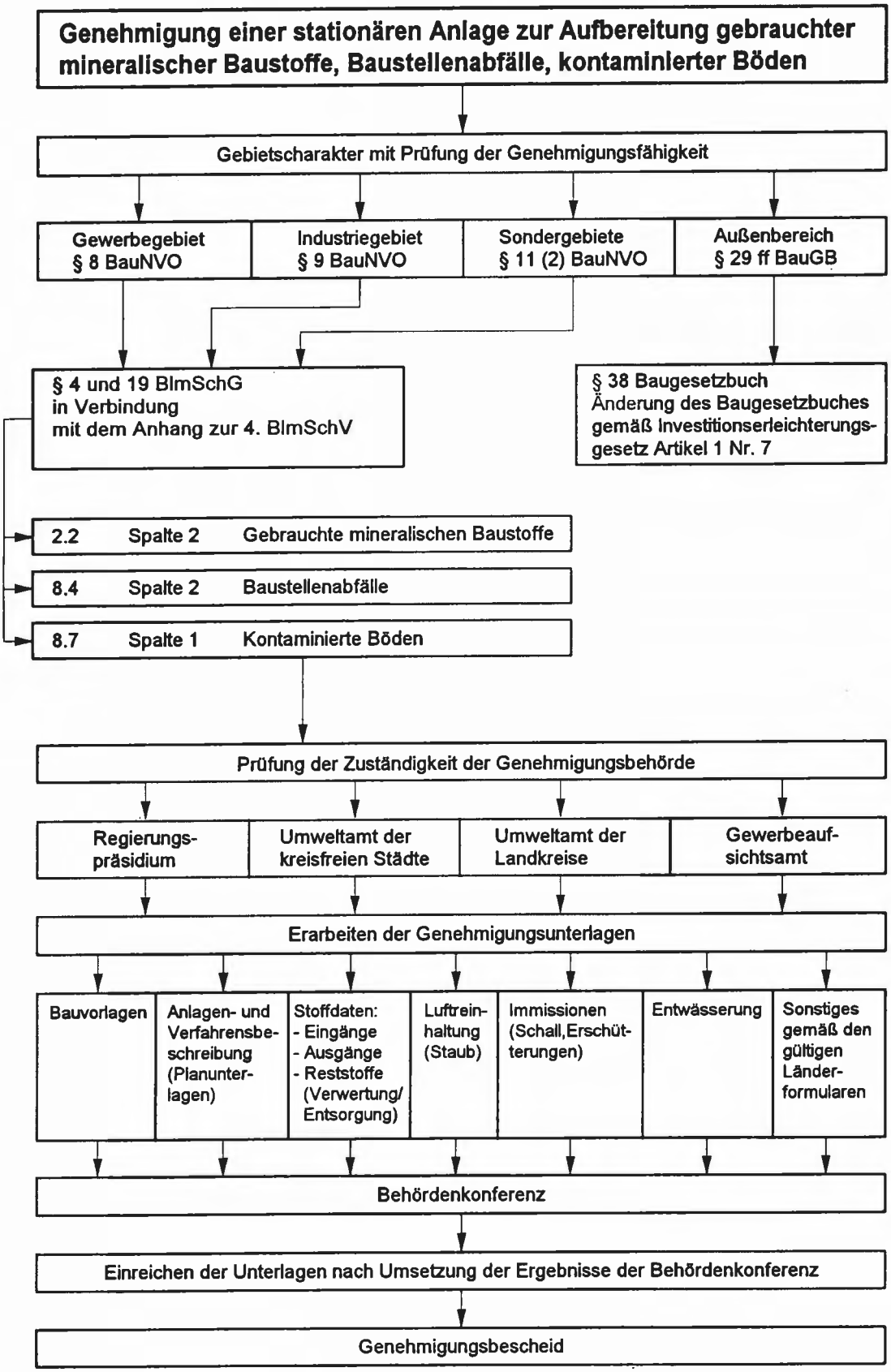
Das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz wurde am 1. Mai 1993 in Kraft gesetzt. Dieses Gesetz sieht u.a. zur Erleichterung und Beschleunigung von Investitionen Vereinfachungen bei immissionsschutzrechtlichen Genehmigungen und eine Beschleunigung bei der Genehmigung von Abfallentsorgungsanlagen vor [4.8].

Das Investitionserleichterungsgesetz ist ein Artikelgesetz, das eine Reihe von Gesetzen ändert. Von Bedeutung sind das Abfallgesetz, das Bundes-Immissionsschutz-Gesetz und das Gesetz zur Durchführung der Umweltverträglichkeitsprüfung. Danach ist eine Genehmigung nach Abfallgesetz beim Behandeln und Lagern von Abfällen nicht mehr erforderlich. Dennoch ist die Frage, ob es sich um Abfall handelt, bedeutsam für das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren. Das aufzuarbeitende Material kann subjektiv oder objektiv als Abfall oder Wirtschaftsgut einzuordnen sein. Subjektiv handelt es sich um Abfall, wenn die gebrauchten Baustoffe im Auftrag der entsorgungspflichtigen Körperschaft aufbereitet werden sollen. Objektiv ist es Abfall, wenn es sich um schadstoffbelastetes Material handelt. Wann Baustoffe als belastet gelten, ist aufgrund einer chemischen Analyse zu beurteilen. Eine bundesweite Vereinheitlichung der Grenzwerte werden die Technischen Regeln der LAGA bringen. Diese werden ausführlich in Kapitel 8.2 vorgestellt.

4.2.2 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutz-Gesetz: BImSchG)

Gemäß § 4 Abs. 1 BImSchG bedürfen die Errichtung und der Betrieb von Anlagen, die schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen oder in anderer Weise die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft gefährden, erheblich benachteiligen oder belästigen, der Genehmigung. Das gilt ebenfalls für ortsfeste Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung und Behandlung von Abfällen. § 4 Abs. 1 ermöglicht, in einer Rechtsverordnung vorzusehen, daß eine Genehmigung nicht erforderlich ist, wenn eine Anlage insgesamt oder in wesentlichen Teilen der Bauart nach zugelassen ist und in Übereinstimmung mit der Bauartzulassung errichtet und betrieben wird. Danach sollen durch eine Rechtsverordnung, die bis jetzt noch nicht besteht, für einzelne Anlagenarten bestimmte Emissionsgrenzwerte

Bild 4.1: Genehmigungsweg für stationäre Baustoff-Recyclinganlagen unter Berücksichtigung der relevanten Gesetze [4.2]



Bau NVO = Baunutzungsverordnung

und technische Anforderungen festgelegt werden. Diese Regelung könnte zukünftig für mobile Brech- und Klassieranlagen für Bauschutt und Straßenaufbruch eine erhebliche Vereinfachung des Verwaltungsverfahrens darstellen [4.8].

Inwieweit Anlagen zur Aufbereitung, Sortierung oder Dekontamination von gebrauchten Baustoffen genehmigungsbedürftig sind, wird in der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) geregelt. In Bild 4.1 ist der Genehmigungsweg für stationäre Baustoff-Aufbereitungsanlagen dargestellt.

Für den Antragsteller ist bei dem Genehmigungsverfahren nach BImSchG von Bedeutung, daß nach § 6 die Genehmigung zu erteilen ist, wenn die Genehmigungsvoraussetzungen vorliegen. Dies ist der Fall, wenn die sich aus dem Gesetz und den Verordnungen ergebenden Betreiberpflichten erfüllt sind. Andere Vorschriften und Belange des Arbeitsschutzes dürfen der Errichtung und dem Betrieb der Anlagen nicht entgegenstehen. Der Betreiber hat danach einen Rechtsanspruch auf Genehmigung.

4.2.3 Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen: 4. BImSchV)

In § 1 der 4. BImSchV wird ausgeführt, daß nur solche Anlagen genehmigungsbedürftig sind, bei denen zu erwarten ist, daß diese länger als 12 Monate nach Inbetriebnahme an einem Standort betrieben werden.

Dies gilt auch für ortsveränderliche Anlagen, die zwar an verschiedenen Standorten durchgehend weniger als 12 Monate betrieben werden, jedoch regelmäßig an den gleichen Standort zurückkehren. Verschiebungen der Anlage auf dem Grundstück, z. B. einer Deponie oder einer Baustelle, gelten nicht als Veränderung des Standortes.

Die Genehmigung gilt dabei jeweils für eine bestimmte Anlage. Es ist nicht möglich z. B. gemietete Anlagen nach Belieben auszutauschen. Jedoch kann eine Anlage für mehrere Standorte genehmigt sein, wie es sich im ländlichen Raum anbietet.

Des weiteren ist in § 1 der 4. BImSchV festgelegt, daß sich die Genehmigungserfordernisse auch auf Nebeneinrichtungen, die umweltrelevant sind, erstrecken. Für die Aufbereitung von gebrauchten Baustoffen bedeutet dies, daß die Lagerplätze für das angelieferte Material sowie für die Fertigprodukte in der Regel zu genehmigen sind. Standorte, die regelmäßig von mobilen Anlagen angefahren werden, sind nicht mehr als Nebeneinrichtungen anzusehen und bedürfen ggf. einer eigenen Genehmigung [4.8].

Im Anhang der 4. BImSchV werden die genehmigungsbedürftigen Anlagen im einzelnen aufgeführt (Tabelle 4.2). Hier erfolgt eine Unterscheidung in Spalte 1 und Spalte 2. Anlagen der Spalte 1 sind im förmlichen Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung (nach § 10 BImSchG) und Anlagen der Spalte 2 im vereinfachten Verfahren (nach § 19 BImSchG) zu genehmigen. Außerdem gibt es Anlagen, für die zusätzlich eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) erforderlich ist. Welche Anlagen dazu gehören, kann der Anlage zu § 3 des Gesetzes zur Durchführung der UVP entnommen werden. Um ein UVP-pflichtiges Verfahren kann es sich handeln, wenn eine Dekontaminationsanlage für verunreinigte Böden errichtet werden soll.

Die Bearbeitungszeit für ein vereinfachtes Verfahren nach vollständiger Einreichung aller erforderlichen Unterlagen wurde auf 3 Monate festgesetzt. Diese Frist kann um drei Monate verlängert werden, wenn dies aufgrund von Schwierigkeiten bei der Antragsprüfung erforderlich ist oder wenn der Antragsteller die Bearbeitung verzögert. Ein förmliches Genehmigungsverfahren unterscheidet sich von einem vereinfachten durch die öffentliche Bekanntmachung des Vorhabens. Schriftliche Einwendungen sind daher innerhalb des Verfahrens möglich. Ein Erörterungstermin findet statt. Das förmliche Verfahren soll innerhalb von sieben Monaten beendet sein. Eine Verlängerung um drei Monate ist unter den oben genannten Voraussetzungen möglich.

Die Genehmigung nach BImSchG hat eine sogenannte Konzentrationswirkung, diese umfaßt also auch die behördliche Entscheidungen über weitere, die Anlage betreffende Genehmigungen wie:

- Eingriffsgenehmigungen nach den Naturschutzgesetzen,
- Baugenehmigungen für die baulichen Anlagen,
- Eignungsfeststellung nach dem Wasserhaushaltsgesetz etc.

Ausgenommen von der Konzentrationswirkung sind Zulassungen bergrechtlicher Betriebspläne oder eine wasserrechtliche Erlaubnis z. B. für die Einleitung in Oberflächengewässer.

Mobile und semimobile Recyclinganlagen, die weniger als 12 Monate an einem Standort betrieben werden, gelten nicht als bauliche Anlagen, sondern werden wie z. B. Kräne als Baumaschinen betrachtet. Aus der Sicht des Immissionsschutzes unterliegen diese den einschlägigen Vorschriften über Baulärm. Auch wenn für die Anlage selbst keine Genehmigung notwendig ist, so kann diese jedoch für den Standort erforderlich werden, da hier nicht unbeträchtliche Mengen an nicht aufbereiteten Baustoffen sowie RC-Baustoffen lagern.

Der Standort ist im Industriegebiet zu wählen. Darüberhinaus sollte der Standort einen ausreichenden Abstand zu Wohngebieten haben, so daß die Tag-Lärm-Immissionsrichtwerte gemäß Technischer Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) unterschritten werden. Die Emissionsgrenzwerte für staubförmige Emissionen nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) sind gleichfalls einzuhalten. Für mobile und semimobile Anlagen muß ein TÜV-Gutachten erbracht werden; bei von der Straßenverkehrsordnung abweichenden Anlagen ist eine zusätzliche Genehmigung vom Straßenverkehrsamt notwendig.

4.2.4 Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren: 9. BImSchV)

Welche Angaben und Unterlagen ein Antrag enthalten muß, ist in den §§ 4, 4a bis 4d der 9. BImSchV gere-

Tabelle 4.2: Genehmigungsbedürftige Anlagen gemäß 4. BImSchV

Nr. im Anhang 4. BImSchV	Spalte 1: Förmliches Verfahren	Spalte 2: Vereinfachtes Verfahren
2.2		Anlagen zum Brechen, Mahlen oder Klassieren von natürlichem oder künstlichem Gestein einschl. Schlacken und abbruchmaterial, ausgenommen Klassieranlagen für Sand oder Kies und Anlagen zur Behandlung von Abbruchmaterial am Entstehungsort **Geltungsbereich:** stationäre Anlagen zur Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch
2.15	Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen einschl. Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplitanlagen mit einer Produktionsleistung von 200 Mg oder mehr je Stunde	Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen einschl. Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplitanlagen mit einer Produktionsleistung bis 200 Mg/h
8.4	Anlagen, in denen feste, flüssige oder gasförmige abfälle ... aufbereitet werden, mit einer Leistung von 10 Mg oder mehr je Stunde ... **Geltungsbereich:** Sortieranlagen für nicht getrennt gesammelte Baustellenabfälle mit einer Leistung von mehr als 10 Mg/h	a) Anlagen, in denen feste, flüssige oder gasförmige Abfälle ... aufbereitet werden, mit einer Leistung von 1 Mg bis 10 Mg je Stunde ... **Geltungsbereich:** Sortieranlagen für nicht getrennt gesammelte Baustellenabfälle mit einer Leistung bis 10 Mg/h b) Anlagen, in denen Stoffe aus in Hauhaltungen anfallenden oder gleichartigen Abfällen durch Sortieren für den Wirtschaftskreislauf zurückgewonnen werden, mit einer Leistung von 1 Mg oder mehr je Stunde **Geltungsbereich:** Sortieranlagen für getrennt erfaßte Baustellenabfälle
8.7	Anlagen zur Behandlung von verunreinigtem Boden, der nicht ausschließlich am Standort der Anlage entnommen wird. **Geltungsbereich:** stationäre Bodenreinigungsanlagen	Anlagen zur Behandlung von verunreinigtem Boden, der ausschließlich am Standort der Anlage entnommen wird. **Geltungsbereich:** mobile Bodenreinigungsanlagen
8.10/8.11	Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung oder Behandlung von Abfällen im Sinne § 2 Abs. 2 AbfG (besonders gefährdende Abfälle) **Geltungsbereich:** z. B. Lagerflächen für kontaminierte Baustoffe	Abfallentsorgungsanlagen zur Lagerung und Behandlung von Abfällen **Geltungsbereich:** z. B. Lagerflächen für Baustoffe
9.11		Offene oder unvollständig geschlossene Anlagen zum Be- oder Entladen von Schüttgütern, die im trockenen Zustand stauben können,... soweit 200 Mg oder mehr je Tag bewegt werden können, ausgenommen Anlagen zum Be- oder Entladen von Erdaushub : **Geltungsbereich:** offene Lager für Sekundärbaustoffe

gelt. Die einzureichenden Unterlagen sind sowohl für das förmliche wie auch vereinfachte Verfahren zu erarbeiten. Bei UVP-pflichtigen Anlagen ist zusätzlich eine Umweltverträglichkeitsuntersuchung durchzuführen:

- Antragsformulare (je nach Bundesland unterschiedlich);
- topografische Karten, Vermessungspläne;
- Bauvorlagen;
- schematische Darstellung (Maschinen- und Verfahrensfließbild), Maschinenaufstellungspläne;
- Anlagen- und Betriebsbeschreibung mit technischen Daten;
- Angaben zu Art, Menge und Beschaffenheit der Einsatzstoffe, der Endprodukte und der Reststoffe;
- Angaben über den Verbleib der Reststoffe (Beseitigungsnachweis);
- Darstellung der Schutzmaßnahmen gegen Emissionen (Kapselung, Staubabsaugung mit Abluftreinigung oder Bedüsung zur Staubminderung, Lärmschutzmaßnahmen);
- Lärm- und Staubimmissionsbetrachtung oder -prognose;

– Angaben zu den Arbeitsschutz- und Arbeitsstättenanforderungen.

Zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren wurde im Investitionserleichterungsgesetz folgendes vorgesehen:

– Die Anträge sollen künftig direkt und nicht über andere Stellen den zu beteiligenden Behörden (Bauamt, Naturschutz-, Abfallbehörde, Amt für Arbeitsschutz, Feuerwehr) zugesandt werden. Deshalb ist der Antrag in ca. 10-facher Ausfertigung abzugeben.
– Die Behörden werden aufgefordert, Stellungnahmen zum eigenen Zuständigkeitsbereich abzugeben und nicht etwa zu allgemeinen Belangen.
– Den Behörden wird eine verhältnismäßig kurze Frist von einem Monat zur Abgabe der Stellungnahme gesetzt. Geht in dieser Zeit keine Stellungnahme ein, kann die Genehmigungsbehörde vom Einverständnis der beteiligten Behörde ausgehen.

4.3 Literatur

[4.1] *Freise, H.:* Aktuelle Rechtsprobleme des Baustoff-Recyclings und der Bauabfallentsorgung. EntsorgungsPraxis 4 (1994), S. 70–72

[4.2] *Görisch, U.:* Genehmigungsverfahren für Anlagen zur Aufbereitung gebrauchter Baustoffe, Hiersche (Hrsg.) Baustoff-Recycling 94/95, Stein-Verlag Baden-Baden, S. 134–142

[4.3] *N. N.:* Gesetze zur Vermeidung von Rückständen, Verwertung von Sekundärrohstoffen und Entsorgung von Abfällen, Drucksache 654/94, Bundesrat, 24. 6. 1994, Bonn

[4.4] *N. N.:* Bundestag verabschiedet Kreislaufwirtschaftsgesetz, AbfallwirtschaftsJournal 6 (1994), Nr. 5, S. 243/250

[4.5] *N. N.:* Zielfestlegungen der Bundesregierung zur Vermeidung, Verringerung oder Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Bodenaushub und Straßenaufbruch, Entwurf vom 5. 11. 1992

[4.6] *N. N.:* Verordnung über die Entsorgung von Baurestabfällen (BaurestAbfV), Entwurf vom 20. 11. 1992

[4.7] *N. N.:* Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall), 14. 5. 1993

[4.8] *Philipp, H.-G.:* Genehmigungsverfahren nach dem Investitionserleichterungsgesetz. Baustoff-Recycling + Deponietechnik, Jahresband 1993, S. 7–11

5. Möglichkeiten zur Vermeidung und Verwertung von gebrauchten mineralischen Baustoffen

Die Prioritätenfolge Abfallvermeidung vor Abfallverwertung und Abfallbeseitigung bedeutet für das Bauwesen, daß das Recycling immer nur eine sinnvolle Ergänzungsstrategie sein kann. Die übergeordnete Strategie muß die Werterhaltung von Bauten, Bauteilen und Baustoffen berücksichtigen.

5.1 Recyclinggerechtes Konstruieren und Bauen

Die entscheidende Schlüsselposition für den langfristig funktionierenden Recycling-Kreislauf ist die Art und Weise der Konstruktion und des Bauprozesses. Lediglich Konstruktionen, die von der Konzeptidee bis zur Ausführung die Belange des Recyclings berücksichtigen, bieten die Möglichkeiten für eine spätere umfangreiche Wiederverwertung.

Daher gilt es sowohl bei der Baustoffherstellung und -verwendung als auch bei der Planung und Errichtung von Bauwerken konsequent die Frage nach den Recyclingmöglichkeiten zu berücksichtigen.

Durch das recyclinggerechte Konstruieren sollen alle Recycling-Kreisläufe auf einem möglichst hohen Qualitätsniveau erhalten werden und nicht, wie vielfach zu beobachten, in einer Spirale zu immer minderwertigeren Einsätzen (Down-Cycling) führen. Alle Entwicklungsphasen, in denen der Konstrukteur Festlegungen bezüglich der Lebensdauer der Bauteile, des Produktionsabfalls, der Fügeverfahren und der Werkstoffkombinationen trifft, sind von Bedeutung. Eine Darstellung der Entwicklungsphasen mit den zu berücksichtigenden Anforderungen für das Recycling gibt Bild 5.1. Die Werterhaltung von Bauten, Bauteilen und Baustoffen kann ebenfalls durch eine hohe Umnutzungsflexibilität erreicht werden.

Anders als bisher üblich endet die Verantwortung des Konstrukteurs künftig nicht mit der Übergabe an den Bauherren, sondern erstreckt sich über die gesamte Nutzungsdauer. Für eine recyclinggerechte Bauweise sind Aspekte wie „mögliche Recyclingkreisläufe", „einsetzbare Technologien" und „Marktsituation" zu beachten.

Als Regeln für den Konstrukteur lassen sich nennen:

- Minimierung des Rücklaufs bei der Produktion und des Bruchmaterials beim Bau: Wahl von abfallarmen Fertigungsverfahren.
- Werkstoffvielfalt:
  Grundsätzlich muß die Werkstoffvielfalt minimiert werden.
- Recyclingfähigkeit des Rücklaufs:
  Unvermeidbarer Produktionsrücklauf soll mit möglichst geringem Aufwand und Wertverlust wiederverwertbar sein.
- Betriebsmittel, Hilfsstoffe:
  Grundsätzlich sind solche Produktionsverfahren zu bevorzugen, bei denen sich die benötigten Betriebsmittel und Hilfsstoffe problemlos recyceln sowie entstehende Emissionen verhindern lassen.

Außerdem sollten Baustoffe, die bei einer Zerlegung umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe abgeben könnten (z. B. Isoliermaterialien, Klebstoffe), nicht verwendet werden.

Einen weiteren Bereich für das recyclinggerechte Konstruieren stellt die Entwicklung von neuen Einsatzgebieten für Recycling-Baustoffe dar. Da Recycling-Baustoffe aufgrund unterschiedlicher Materialeigenschaften konventionelle Baustoffe nicht direkt im gleichen konstruktiven Aufbau ersetzen können, sind Alternativen zu schaffen.

Für die Entscheidungsträger des Konstruierens im Hochbau ergeben sich Einflußmöglichkeiten auf Abfallvermeidung und -verwertung vor allem in den in Bild 5.2 dargestellten Planungs- und Realisierungsphasen [5.26].

Entscheidung des Auftraggebers

Zunächst ist die angestrebte Lebensdauer des Bauwerks, ggf. auch eine spätere vorgesehene Wiederverwendung einzelner Teile oder Stoffe von Bedeutung. Eine generelle positive Einstellung zu Recycling-Baustoffen beim Auftraggeber ist Voraussetzung. Hier besteht eine besondere Verantwortung öffentlicher Auftraggeber, entsprechende Verfahren und Materialien beispielhaft zu verwenden. Insbesondere bei gewerblichen Bauten mit einer kürzeren Lebensdauer sind Wirtschaftlichkeitsüberlegungen für eine Wiederverwendung von Materialien und Bauteilen anzustellen.

Konstruktiver Entwurf und Wahl des Tragwerks

In dieser Planungsphase fallen wesentliche Entscheidungen für die Rohbaustruktur. Diese beeinflussen z. B. durch schalungsintensive oder schalungsfreie Konstruktionen den Anteil an Reststoffen bei der Herstellung. Durch die Differenzierung unterschiedlich beanspruchter Bauteile (tragend oder nichttragend) bestehen hier Einsatzmöglichkeiten für Recycling-Baustoffe.

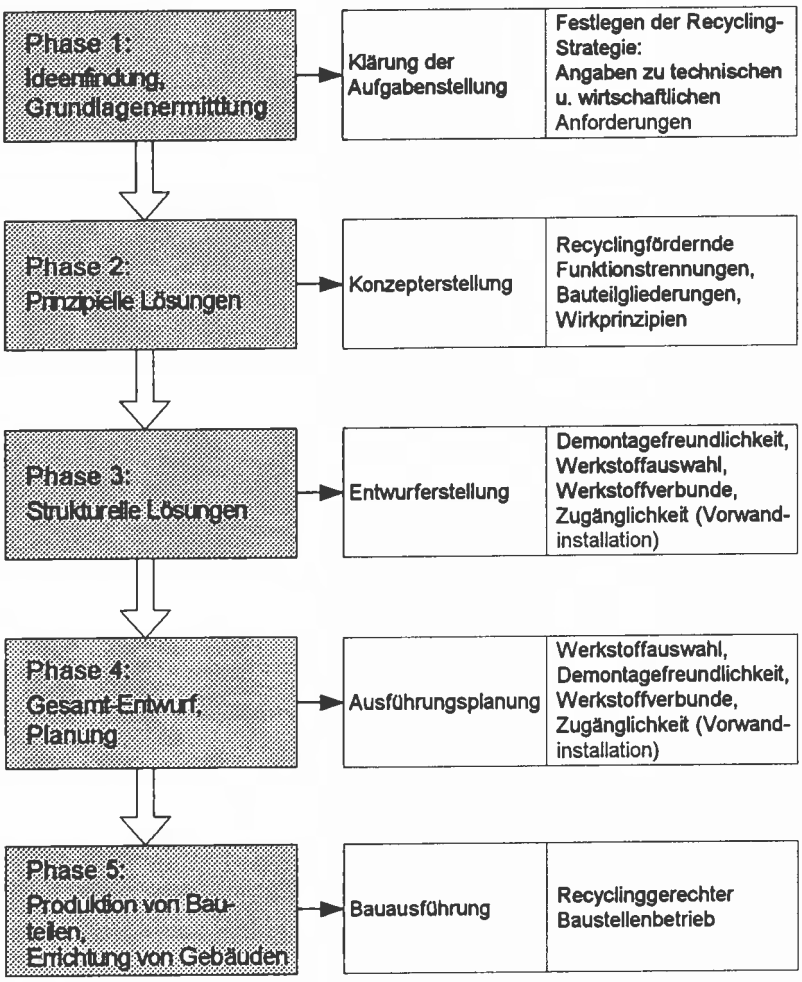
Ausführungsplanung

In der Ausführungsplanung wird entschieden, welche Baustoffe und Fügetechniken bzw. Verbindungsmittel zum Einsatz kommen. Hier fällt letztendlich die Entscheidung für die Verwendung von Recycling-Baustoffen und eine spätere Wiederverwendbarkeit der Bauteile bzw. Baustoffe.

Leistungsbeschreibung

In der Leistungsbeschreibung können Sekundärbaustoffe direkt ausgeschrieben oder als Alternativpositionen gefordert werden.

Bild 5.1: Entwicklungsphasen, Arbeitsschritte und Anforderungen für ein recyclinggerechtes Konstruieren



Bauliche Realisierung und Objektüberwachung

In der Bauphase wird die Ausführungsqualität und damit die Lebensdauer beeinflußt. In diese Phase fällt der Bereich des recyclinggerechten Baustellenbetriebes.

Zusammenfassend können für den Bereich des recyclinggerechten Konstruierens und in dessen Folge für das recyclinggerechte Bauen folgende Anforderungen genannt werden [5.6, 5.26]:

- Kennzeichnung aller verwendeten Baustoffe (z. B. PVC-Fenster, PU-Hartschaum) und Anlegen von Katastern oder detaillierten Materiallisten mit Angabe der Schadstoffe und der Verwertungsmöglichkeiten zur Weitergabe an den Bauherrn sowie zur Ergänzung der Bauvorlagen.
- Entscheidung für lösbare Verbindungen zwischen Bauteilen unterschiedlicher Lebensdauer, um eine leichtere Instandhaltung und Modernisierung des Gebäudes zu ermöglichen.
- Zerlegbarkeit der Gebäude in Bauelemente, Komponenten, Baustoffarten; so können die Voraussetzungen für den Rückbau mit anschließender Weiternutzung geschaffen werden.
- Selektiver Umgang mit Verbundbaustoffen, Bevorzugen mechanischer Verbindungen (Schrauben, Nägel) gegenüber vollflächig verklebten Befestigungen (z. B. bei Isoliermaterialien), um eine getrennte Verwertung zu ermöglichen.
- Verwendung von RC-Baustoffen und -Elementen;
- Planung der Grundrisse und Tragwerke, so daß spätere Umnutzungen und Modernisierungen technisch einfach und damit kostengünstig durchführbar sind.

5.2 Recyclinggerechter Baustellenbetrieb beim Neu- und Umbau

Die Zielfestlegungen der Bundesregierung fordern, daß durch geeignete Maßnahmen Abfälle soweit wie möglich zu vermeiden sind. Hierzu zählen die Gestaltung des Ablaufs von Abbrucharbeiten bzw. von Baumaßnahmen, unmittelbare Wiederverwendung von Baustoffen auf der Baustelle etc.

Für einen recyclinggerechten Baustellenbetrieb sind einerseits die Herkunft der Reststoffe im Bauprozeß relevant, andererseits die Menge und stoffliche Zusammensetzung. Die anfallenden Reststoffe können

Bild 5.2: Planungs- und Realisierungsphasen der Konstruktion im Hochbau und die Möglichkeiten für einen Einfluß auf Abfallvermeidung und -verwertung [5.26]

Konstruktion im Hochbau	Abfallvermeidung			Abfallver-verwertung
	Werterhaltung durch lange Lebensdauer	Reststoffarme Konstruktion und Herstellung	Einplanung späterer Wiederverwendung	Einsatz von Recycling-Baustoffen und -Bauteilen
Entscheidung des Auftraggebers	■	□	■	■
Konstruktiver Entwurf/Wahl des Tragwerkes	■	■	■	□
Ausführungsplanung	■	■	■	■
Leistungsbeschreibung	■	■	□	■
Bauliche Realisierung/Objektüberwachung	■	■	□	□

□ Einfluß der Leistungsphase auf Abfallvermeidung und Abfallverwertung

■ Besonders intensiver Einfluß der Leistungsphase auf Abfallvermeidung und Abfallverwertung

dabei in die folgenden Gruppen eingeteilt werden [5.5]:

- Abbruchmaterialien;
- Reststoffe, die bei Lagerung, Transport und Verarbeitung von Baustoffen und -komponenten als Verschnitt, Bruch, Späne, Splitter oder überschüssige Rohmaterialien anfallen.
- Bauhilfsstoffreste, die nicht mehr einsetzbar sind, wie Schalungs- und Rüstmaterial, Verschnitt oder ungebrauchte Reste von Bauhilfsstoffen.
- Verpackungsmaterial von Baustoffen und -komponenten, die dem Schutz vor Schäden bei Transport, Lagerung und während der Montage dienen.

Die Entsorgung der im Bauprozeß anfallenden Reststoffe ist abhängig von dem Umfang des Bauvorhabens und den Platzverhältnissen auf der Baustelle. Entweder erfolgt die Entsorgung kontinuierlich oder nach Abschluß von Bauabschnitten bzw. der gesamten Baumaßnahme. Daher ist das Sammeln, Transportieren und Zwischenlagern der Reststoffe auf der Baustelle erforderlich. Diese baustelleninternen Transporte und die Zwischenlagerung haben einen nicht unerheblichen Einfluß auf den Umfang der späteren Verwertungsmöglichkeiten. Die Umsetzung der getrennten Sammlung ist dabei von unterschiedlichen Parametern abhängig:

- örtliche Einflußgrößen aufgrund der Größe der Baustellen;
- zeitliche Einflußgrößen durch die Terminbindung des Bauvorhabens;
- konstruktive Einflußgrößen in Abhängigkeit von der gewählten Bauart mit entsprechenden Verarbeitungsprozessen und Baustoffen;
- lokale Gebühren für die Entsorgung der Reststoffe bzw. der wiederverwertbaren Materialien.

Eine Übersicht über die Transporte und Lagermöglichkeiten der anfallenden Stoffe kann durch die Eintragung in den Baustelleneinrichtungsplan erleichtert werden. Dieser bildet die wesentliche Grundlage für die räumliche und zeitliche Disposition von Flächenbedarf und Bauvorgängen. Zur leichteren Versetzung der Container sollten die Sammelstellen an den Baustraßen oder im Schwenkbereich der Krane liegen. Für eine Nachsortierung sowie Abfuhr der Container ist ein zentraler Sammelplatz sinnvoll.

Die Überwachung der getrennten Sortierung während des gesamten Bauablaufs sowie eine etwaige Nachsortierung der Fraktionen am zentralen Sammelplatz sollte von einem geschulten Entsorgungsbeauftragten übernommen werden. Dieser Facharbeiter hat die notwendige Weisungsbefugnis in Entsorgungsbelangen gegenüber allen Roh- und Ausbaugewerken auf der Baustelle. Der Entsorgungsbeauftragte sollte als Ansprechpartner für die Mitarbeiter der Gewerke zur

Verfügung stehen. Eine Schulung der Mitarbeiter hinsichtlich der Bedeutung und Durchführung des Entsorgungskonzeptes sollte frühzeitig auf der Baustelle durchgeführt werden.

Besonders wichtig ist die Kennzeichnung der Sammelgefäße für eine fraktionsgerechte Zuordnung der Restmassen. Diese sollte durch eine Kombination aus Texten und Piktogrammen, die auch von ausländischen Arbeitskräften verstanden werden können, sichergestellt werden. In Bild 5.3 ist die getrennte Sammlung auf einer Baustelle gezeigt.

5.2.1 Relevante Reststoffe im Bauprozeß

Als relevante Reststoffe, die im Laufe eines Bauprosses anfallen, lassen sich nennen [5.8, 5.27]:

Rest- und Altholz

Allein in den alten Bundesländern fallen 2,5 bis 3,0 Mio. Mg/a Alt- und Restholz im Sperrmüll, in den Baustellen- und Gewerbeabfällen an. Für einen Großteil des Holzes kommt nur eine energetische Nutzung in Frage. Gemäß TA-Siedlungsabfall werden Alt- und Resthölzer mittelfristig von der Deponierung ausgeschlossen.

Tabelle 5.1: Übersicht typischer Holzeinsatzgebiete [5.13]

Baubereich	Außenanwendung
– Dachstühle	– Holzschwellen
– Holzbalkendecken	– Holzmasten, -pfähle
– Leichte Trennwände	– Holzzäune
– Holztüren, Holzfenster	– Holzverbretterungen
– Holzbauten	
– Holzschalungen	
Verpackungsbereich	**Sonstiges**
– Holzkisten, -stiegen	– Holz-, Holzwerkstoffmöbel
– Holzpaletten	– Spielplatzgeräte aus Holz
– Kabeltrommeln	

Bei **Restholz** handelt es sich um Reststoffe aus der Primärproduktion. Beispielsweise sind das Schwarten, Rinden, Späne aber auch Spanplattenreste.

Um **Altholz** handelt es sich bei bereits benutzten Holzprodukten. In Tabelle 5.1 sind die wichtigsten Holzeinsatzgebiete bzw. Althölzer aufgeführt [5.13].

Der größte Teil des anfallenden Alt- bzw. Restholzes ist mit Begleitstoffen und Verunreinigungen behaftet. Als Begleitstoffe des Holzes treten u.a. Klebstoffe, Lackanstriche, Kunststoffe, Holzschutzmittel sowie

Bild 5.3: Getrennte Sammlung unterschiedlicher Wert- und Reststoffe auf einer Baustelle

Metallteile auf. Verunreinigungen des Altholzes sind im wesentlichen mineralische Verschmutzungen, aber auch Öle und andere anhaftende organische Substanzen. Eine Reihe von Verunreinigungen und Begleitstoffe sind in Tabelle 5.2 aufgeführt [5.13].

Wichtige Gruppen der Begleitstoffe bzw. Verunreinigungen des Alt- sowie Restholzes bilden die Holzschutzmittel und halogenorganischen Verbindungen. Gemäß der Zusammensetzung bekannter Holzschutzsalze ist mit Gehalten an Chrom, Kupfer, Arsen, Bor und Fluor zu rechnen. Bei den halogenorganischen Verbindungen handelt es sich überwiegend um Holzbeschichtungen aus PVC sowie um das lösemittelhaltige Holzschutzmittel Pentachlorphenol (PCP). Holzabfälle und -behältnisse mit schädlichen Verun-

Tabelle 5.2: Nicht-Holzbestandteile in Althölzern [5.13]

Abtrennbare Bestandteile	Nicht oder kaum abtrennbare Bestandteile
Asbestteile	Beizen, Bindemittel
Asphalt	Flammschutzmittel
Fliesen, Gipsprodukte	Folien- und Furnierbeschichtungen
Glas, Glasfaser	Holzschutzmittel
Kunststoff- und Metallteile	Klebstoffe
Linoleum u.a. Fußbodenbeläge	Lackanstriche
Putz, Tapeten, Teerpappen	Sonstige Veredelungsmittel
Zementteile, Ziegeln	Organische Verschmutzungen
sonstige mineralische Verschmutzungen	

reinigungen sind unbedingt getrennt von unbehandelten Hölzern zu halten.

Das Aufkommen an Holzresten im Baubereich ist dabei quantitativ sehr stark von der Architektur abhängig. Bei nicht rechtwinkligen oder anderweitig ausgefallenen Bauteilformen ist der Anfall aufgrund der Schalungsreste erheblichlich höher. Bei einfachen Bauweisen können mehrfach nutzbare Systemschalungen verwendet werden. Eine wirtschaftlich orientierte Planung strebt die überwiegende Verwendung von schalungsfreien Bauarten (z.B. Halbfertigteil-Decken) oder System- bzw. Modulschalungen an. Die dennoch anfallenden Holzreste sollten in jedem Fall getrennt von den mineralischen Stoffen gelagert werden.

Zum Teil ist eine direkte Nutzung als Balken oder Schalmaterial möglich. Nach einer Aufbereitung in einer entsprechenden Anlage besteht die Möglichkeit, das Holz zu Brettern und Leisten zu verarbeiten. Werden die Reststücke zerspant, kann das Material zur Faser-, Span- und Bauplattenherstellung verwendet werden. Gehäckselte Reststücke finden als Füll- und Isolierstoffe Verwendung. Daneben ist noch die chemische Verwertung zu Zellstoff oder die Kompostierung möglich.

Holzpaletten gelten als Transportverpackungen und müssen vom Hersteller und Vertreiber zurückgenommen werden.

Nach wie vor werden große Mengen von Altholz auf Deponien entsorgt. Nach der Verrottung bleiben zahlreiche Schadstoffe und andere Begleitstoffe erhalten. Durch die Bestimmungen der TA-Siedlungsabfall wird in Zukunft die Deponierung von organischen Altstoffen, darunter auch Altholz, nicht mehr zulässig sein. Viele Althölzer lassen sich nur sehr aufwendig bzw. kaum auftrennen. Für diese Sortimente ist oft die thermische Nutzung die wirtschaftlich und ökologisch vorteilhafteste Verwertungsform. Z.Zt. ist die Zahl von Feuerungsanlagen, die für belastete Althölzer geeignet und zugelassen sind, noch begrenzt [5.13].

Steinreste

Diese entstehen direkt an den Lagerflächen, z.B. durch Bruch bei der Entladung oder im Bauwerk bei der Vermauerung. Da die Lagerflächen für die Steine immer an den Baustraßen bzw. im Kran-Schwenkbereich liegen, sollten an diesen Stellen alle mineralischen Stoffe getrennt erfaßt werden.

Mineralische Reste entstehen z.B. bei Installationsarbeiten durch nachträgliche Schlitzstemmarbeiten, nachdem die Rohbaugewerke bereits abgeschlossen sind. Abhilfe schaffen hier sorgfältig geplante Installationsschächte und sogenannte Vorwandinstallationen, welche die dahinterliegenden Wände auch bei der Horizontalverteilung der Leitungen unzerstört lassen. Dies erfordert keinen Planungsmehraufwand, sondern vor allem ein prozeßorientiertes Denken der Planer im Sinne einer recyclinggerechten Konstruktion.

Mineralische Stoffe fallen jedoch auch nach Abschluß der Rohbauarbeiten als Reste von Mörtel, Estrich- und Putzarbeiten oder als Abfälle der Naturstein-, Werkstein- und Fliesenlegerarbeiten an.

Restbeton

Betonreste fallen in geringen Mengen auch beim Einsatz von Transportbeton an, wobei eine direkte Verwendung zum Betonieren von Fundamenten und Kellersohlen angestrebt werden sollte. Restbeton kann auch für die Betonierung der Baustraßen oder Plattformen mit dem Ziel eingesetzt werden, nach Abschluß der Bauarbeiten diesen aufzunehmen und einer Wiederverwertung zuzuführen. Dies gilt gleichfalls für Schlämme aus der Beton- und Mörtelherstellung.

Erd- und Sandschlämme können nach einer Vorbehandlung (Trocknung) als Verfüllmaterial verwendet werden.

Bitumen-, Asphalt- und Brikettabfälle können als Zugabematerial im Straßenbau eingesetzt werden.

Metalle

Metallische Reste fallen bei der Verarbeitung von Betonstahl sowie bei den Ausbaugewerken (Klempnerarbeiten, Installationen) an. Eisenreste, entleerte Eisenbehältnisse sowie Nichteisenmetalle können nach einer sortenreinen Trennung an den Schrotthandel abgegeben werden.

Dämmstoffe

Im Baubereich werden unterschiedliche Dämmstoffe zur Isolierung eingesetzt, wobei zwei der verwendeten Gruppen ein Schadstoffpotential beinhalten. Dazu gehören die FCKW-haltigen Dämmstoffe, die aufgrund der FCKW-Emissionen nicht mehr eingesetzt werden sollen, und die mineralstoffhaltigen Dämmstoffe, deren Fasern als gefährlich eingestuft wurden.

Die Reduzierung der **FCKW-haltigen Dämmstoffe** ist gemäß der FCKW-Halon-Verbotsverordnung von 1991 wie folgt gefordert. Der Einsatz endet danach:

- von Montageschäumen mit R22 (teilhalogenisiert) 1993,
- von Dämmstoffen mit FCKW (vollhalogenisiert), Ausnahme R22, 1995,
- von Dämmstoffen mit R22 (teilhalogenisiert) 2000.

Bei den bedeutendsten ozonabbauenden FCKW-geschäumten Kunststoffen für den Baubereich handelt es sich um

- Extrudierten Polystyrolschaum (XPS); Warenname: Styrodur, Styrofam, Roofmaat;
- Polyurethanhartschaum (PUR) in Form von Dämmstoffplatten, Ortschaum, Füllschaum, Montageschaum.
  Die PUR-Hartschäume enthalten bis zu 15 Gew.-% FCKW (Einsatz von Fluortrichlormethan – F11), die während der Verwendungsdauer oder bei der Entsorgung freigesetzt werden und zu einer langfristigen Umweltschädigung führen.

Die **mineralstoffhaltigen Dämmstoffe** stehen unter dem Verdacht, beim Menschen Krebs zu erzeugen. Bei den mineralischen Dämmstoffen handelt es sich um Glas- und Steinwolle, die durch Schmelzen und Zerblasen von Sedimentgestein (Kalkstein) oder von flüssiger Hochofenschlacke bzw. aus Glasrohstoffen unter Verwendung von Altglas hergestellt wird [5.17].

Diese Stoffe wurden 1993 durch die MAK-Kommissi-

on der Deutschen Forschungsgesellschaft zwar nicht in die höhere Gefahrstoffklasse III/A2 (eindeutig krebserzeugend) eingestuft. Die Dämmstoffe sollen aber dennoch so behandelt werden, „als ob" diese in dieser Klasse eingestuft wären. Eine endgültige Entscheidung über die Einstufung steht noch aus [5.25].

Diese beiden Dämmstoffgruppen können aufgrund unterschiedlicher Wirkungsweisen eine potentielle Gefährdung der Umwelt und des Menschen darstellen. Eine getrennte Erfassung ist geboten. Die Verwertung von Mineralfaserabfällen ist derzeit noch nicht möglich. Die Entsorgung erfolgt über Deponien.

Reste aus dem Innenausbau, der Fassaden- und Dachdämmung sowie -abdichtung

Die anfallenden Schrumpffolien, Kartonagen, Schaumverpackungen, kaschierten Dämmstoffreste, Dichtungsbahnen etc. sollten in jedem Fall von den bisher genannten Materialien getrennt gehalten werden. Die aufgeführten Verpackungsmaterialien fallen unter die Verpackungsverordnung, wobei eine Rücknahmepflicht durch die Hersteller besteht. Die Rückgabe gestaltet sich z.T. jedoch schwierig, da z.B. die Verpackung von Fliesen oder die Papiersäcke vom Estrich nicht gleich bei Anlieferung entleert werden. Eine Bereitstellung von Containern ausschließlich für wiederverwendbare Verpackungsmaterialien ist daher sinnvoll.

Verpackungsmaterial mit schädlichen Verunreinigungen oder vorwiegend anorganischen Restinhalten ist über Hausmüll- oder Sonderabfallverbrennungsanlagen zu entsorgen.

Handelt es sich beim Styropor um eine Transportverpackung, ist dieses von den Herstellern oder Händlern zurückzunehmen.

Sonderabfälle

Die anfallenden Sonderabfälle wie alle ölhaltigen und lösemittelhaltigen Stoffe (Farben, Lacke, Kleber, Abdichtungsmaterialien etc.) sind in jedem Fall getrennt zu lagern.

Da **Schalöle** zu den Sonderabfällen gehören, ist eine Reinigung der Schalteile auf dem Bauhof mit eingebauten Ölabscheidern anzuraten. Alternativ können aber auch biologisch abbaubare Betontrennmittel eingesetzt werden. Ähnliches gilt für die Verwendung von Mitteln zum Betonoberflächenschutz. Auch hier gibt es mittlerweile lösemittelfreie Betonversiegelungen auf dem Markt.

Altfarben, Altlacke sind im ausgehärtetem Zustand einer ordnungsgemäßen Verbrennung oder Deponierung zuzuführen.

Bei **Asbestabfällen** ist eine Aufbereitung nicht möglich. Eine Staubbildung muß verhindert werden. Bei Arbeiten mit Asbest sind die Technischen Regeln für Gefahrstoffe 519 (TRGS 519) unbedingt zu beachten. Eine Deponierung kann auf zugelassenen Deponien erfolgen.

Die Entsorgung von **Eisenmetallbehältnissen mit schädlichem Restinhalt** muß über Sonderabfallverbrennungsanlagen oder Sonderabfalldeponien erfolgen.

Teerpappe und bitumengetränktes Papier können in der Regel nicht aufgearbeitet und müssen zur Zeit deponiert werden.

Für **PVC-Fensterprofile** gibt es seit 1991 ein flächendeckendes Sammelsystem. Die Koordination von Sammlung und Wiederverwertung erfolgt über den Verband der Fenster- und Fassadenhersteller. Gebrauchte **PVC-Rohre** werden teilweise im Rahmen von Kundenbeziehungen zurückgenommen. Die Hersteller von **PVC-Bodenbelägen** haben sich zur Rücknahme von alten Belägen verpflichtet. Ein flächendeckendes Erfassungssystem muß allerdings erst aufgebaut werden. Für **PVC-Dachbahnen** werden Recyclingaktivitäten über die Arbeitsgemeinschaft für PVC-Dachbahnen-Recycling koordiniert. Die erste Recyclinganlage soll 1994 in Betrieb gehen.

Für **Strahlmittelrückstände mit schädlichen Verunreinigungen** (Farb- und Lackreste) gibt es keine Wiederverwertungsmöglichkeiten. Die Entsorgung erfolgt auf Deponien mit Basisabdichtung und Sickerwassererfassung.

Um eine Durchsetzung der getrennten Sammlung auf der Baustelle zu erreichen, ist es notwendig, die entsprechenden Entsorgungsleistungen von den Subunternehmern zu fordern. Bei Nichterfüllung sollte der Generalunternehmer diese mit relativ hohen Beträgen in Abzug bringen. Dies ist zwar in den konventionellen Ausschreibungen vorgesehen, oft hinterlassen die einzelnen Gewerke jedoch Teile ihrer Reste. Eine Durchsetzung des Verursacherprinzips durch die Bauleitung und eine konsequente Abrechnung der entstehenden Entsorgungskosten kann hier Abhilfe schaffen.

Die wesentlichen Aspekte für einen recyclinggerechten Baustellenbetrieb bei Neu- und Umbaumaßnahmen lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen [5.27]:

- Erleichterung der Verwertung der mineralischen Reststoffe durch Einplanung des Platzbedarfs für eine konsequente getrennte Zwischenlagerung;
- Zuordnung der Plätze mit Reststoffaufkommen (z.B. Schalungszuschnitt, Mauersteine, Restbeton) zu Baustraßen und den Kran-Schwenkbereichen, um zusätzliche Horizontaltransporte zu vermeiden;
- Berücksichtigung des Platzbedarfs an den transportgünstigen Punkten für Container für Mineralisches, Schrott, Holz, Folien, Verpackungen und Sonderabfälle;
- Vermeidung von unzulässigen Vermischungen der ökologisch weniger problematischen Abfälle mit Sonderabfällen sowie eine kontinuierliche Entsorgung; absolute Trennung lösemittelhaltiger und ölhaltiger Reststoffe und Leergebinde.
- Eintragung der zu erwartenden Materialflüsse, Zwischenlagermengen und -plätze in den Baustelleneinrichtungsplan;
- Vermeidung einer Fremdnutzung der Container durch einen entsprechenden Verschluß der Baustelle, der Container oder der Container-Stellplätze;
- Vermeidung von Vermischungen durch weitgehend getrennte, vertraglich fixierte Entsorgungsverantwortung der Subunternehmer (insbesondere bei Problemstoffen);

- Verringerung des Anfalls durch eine systematische Koordination in der Ausführungsplanung;
- frühzeitige Abstimmung mit Recycling-Anlagen, Sortieranlagen oder Deponien im Einzugsbereich über die Anlieferungsmodalitäten und die entstehenden Kosten;
- Einflußnahme auf Materiallieferanten bezüglich recyclingfähiger Verpackungsmaterialien und Rücknahmepflichten.

Eine weitgehend getrennte Sammlung und eine Durchführung des damit verbundenen recyclinggerechten Baustellenbetriebes ist jedoch nur bei größeren Baustellen mit ausreichend Platzbedarf möglich. Für eine Sortierung kann aber auch der firmeneigene Bauhof oder ein sonstiges Zwischenlager genutzt werden. Die Anforderungen an eine weitgehende Sortierung, wie diese von der Baurestabfallverordnung gefordert wird, ist bei den üblichen Platzverhältnissen auf den Baustellen nicht möglich. Umsomehr steigen die Anforderungen an die Platz- und Organisationsansprüche der Bauhöfe. Der Vorteil von Bauhöfen liegt in der leichteren Kontrollierbarkeit gegenüber einer Vielzahl von Baustellen, die oft nur unzureichend verschließbar sind.

Insbesondere die weitergehende Sortierung der schadstoffhaltigen Bauabfälle z.B. nach ölhaltigen Stoffen, Dichtungsmittelresten auf Silikon- oder Acrylbasis, Farben und Lacke mit unterschiedlichen Lösemitteln. Diese weitgehende Sortierung bietet die Möglichkeit, die Hersteller für eine Rücknahme der Produkte zu gewinnen.

5.2.2 Projektbeispiel aus der Praxis: LVA-Rheumaklinik Bad Rothenfelde

Der Neubau der LVA-Rheumaklinik in Bad Rothenfelde ist als Pilotprojekt zur Erfassung, Vermeidung und Verwertung von unterschiedlichen Baustoffen im Firmenverbund (Rohbauarbeiten durch AG Oevermann/Scholle/Dieckmann) angelegt. Der Beginn der Baumaßnahme war im Juni 1992, die Fertigstellung ist für Ende 1995 geplant. Der Umfang der Baumaßnahme liegt in der Größenordnung von insgesamt 56.220 m^2 Nutzfläche. Der Rohbau der Klinik ist überwiegend in Stahlbeton und Mauerwerk erstellt [5.3].

Das Grundstück am Ortsrand bietet mit 37.000 m^2 ausreichend Fläche zur getrennten Sammlung und Zwischenlagerung der unterschiedlichen Materialien. Der bei den Tiefbaumaßnahmen angefallene Bodenaushub konnte entweder einer Zwischenlagerung zur Verwendung nach Abschluß der Arbeiten (Mutterboden) oder einer anderweitigen direkten Verwertung zugeführt werden.

Im weiteren Verlauf der Bauarbeiten werden Maßnahmen zur Vermeidung von nicht verwertbaren Reststoffen durchgeführt. Diese werden bereits auf der Baustelle vorsortiert und in folgende Gruppen getrennt gesammelt [5.3]:

- unbelasteter Bauschutt wird in einer nahe gelegenen stationären Recycling-Anlage aufbereitet;
- Baustellenabfälle, die als Reststoffgemisch keiner Verwertung zugeführt werden können (z.B. behandelte Holzreste), werden von den verwertbaren getrennt gesammelt und entsorgt;
- unbehandelte Holzreste werden in einer Shredderanlage aufbereitet und unter Beimengung von Torf als Torfmull verwertet;
- Altmetalle werden entweder über Schrotthändler oder direkt an die Wiederverwerter abgegeben;
- Verpackungen gehen soweit wie möglich gemäß Verpackungs-Verordnung an die Anlieferer zurück, oder diese werden zur Verwertung bzw. Beseitigung einer zentralen Entsorgungsgesellschaft zugeführt;
- Sonderabfälle gelangen über die zentrale Entsorgungsgesellschaft zu einer entsprechenden Behandlung und Entsorgung.

Die Sammlung und Sortierung der verschiedenen Materialien und Reststoffe erfolgt in zwei Phasen. In der ersten bereits abgeschlossenen Sortierphase (Fundament, Keller, Rohbau) wurden die Reststoffe, die von Baustoffen und Bauhilfsstoffen direkt anfallen, erfaßt. Die in dieser Phase nur in geringen Mengen anfallenden Verpackungsmaterialien wurden zusammen mit den nicht verwertbaren Baustellenabfällen gesammelt. Die Plazierung der Container auf der Baustelle ist in Bild 5.4 gezeigt. Nach der Einführung eines Rücknahmesystems von Verpackungen durch eine zentrale Ensorgungsgesellschaft werden in der jetzt laufenden zweiten Sortierphase (Innenausbau) auch die verschiedenen Verpackungsmaterialien in Container getrennt voneinander gesammelt (Bild 5.5).

Inwieweit die insbesondere in der zweiten Bauphase sehr differenzierte getrennte Sammlung wirtschaftlich und praktikabel ist und von den einzelnen Gewerken durchgeführt wird, muß bis zum Abschluß der Bauarbeiten (Ende 1995) abgewartet werden.

5.3 Recyclinggerechte Demontage und Abbruch von Bauwerken

5.3.1 Wiedereinsatz von Gebäuden, Bauelementen und Baukomponenten

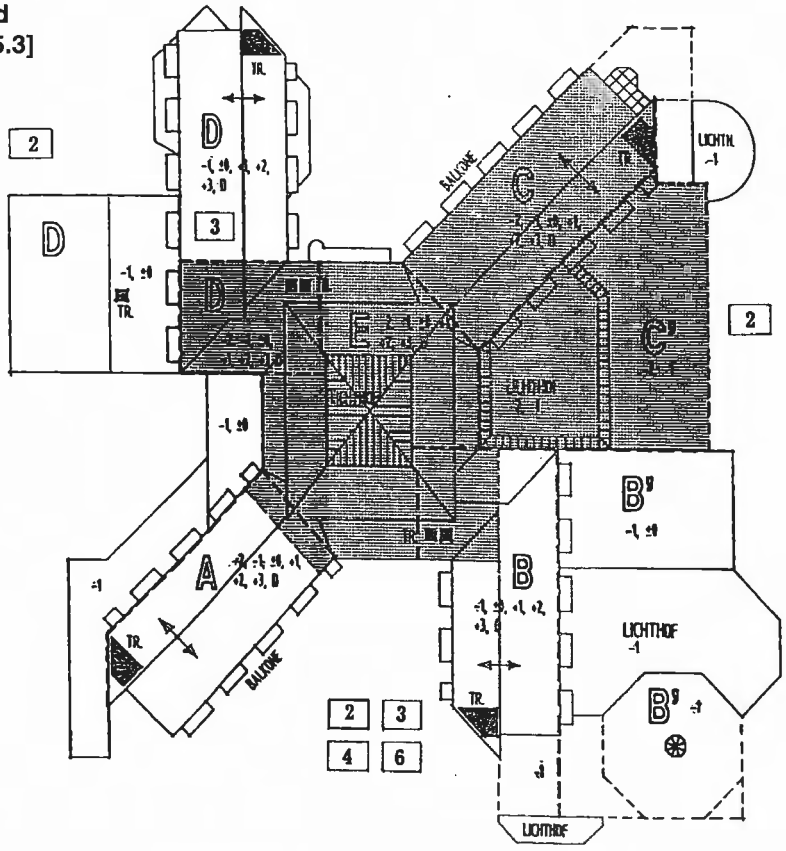
Die direkte Wiederverwendung von Bauelementen, komponenten oder kompletter Gebäude nimmt bisher aus mangelnder Akzeptanz oder Erfahrung einen geringen Stellenwert in der Bauwirtschaft ein. Durch die speziellen Eigenschaften von Montagekonstruktionen eröffnen sich gegenüber dem konventionellen Recycling überlegenswerte Alternativen.

Für den direkten Wiedereinsatz von Bauelementen eignen sich aufgrund der relativ leicht zu lösenden Verbindungen vorrangig Skelettkonstruktionen. Die Elemente lassen sich hier weitgehend zerstörungsarm demontieren, so daß ein hoher Gebrauchswert bewahrt werden kann.

Die Idee, Gebäude zu demontieren und an anderer Stelle wieder zu errichten, ist nicht neu. Eines der berühmtesten Beispiele ist das Versetzen kompletter Tempelanlagen beim Bau des Assuanstaudamms in Ägypten durch die UNESCO.

Erste Demontagen von Gebäuden wurden vor über 20 Jahren in der damaligen DDR durchgeführt. Die Wiederverwendungsquoten lagen allerdings sehr niedrig. Oftmals wurden nur ausgewählte Gebäudeteile, wie z.B. Deckenplatten für Platzbefestigungen wiederverwendet.

Bild 5.4: Getrennte Sammlung während der Rohbauphase (Phase 1) [5.3]

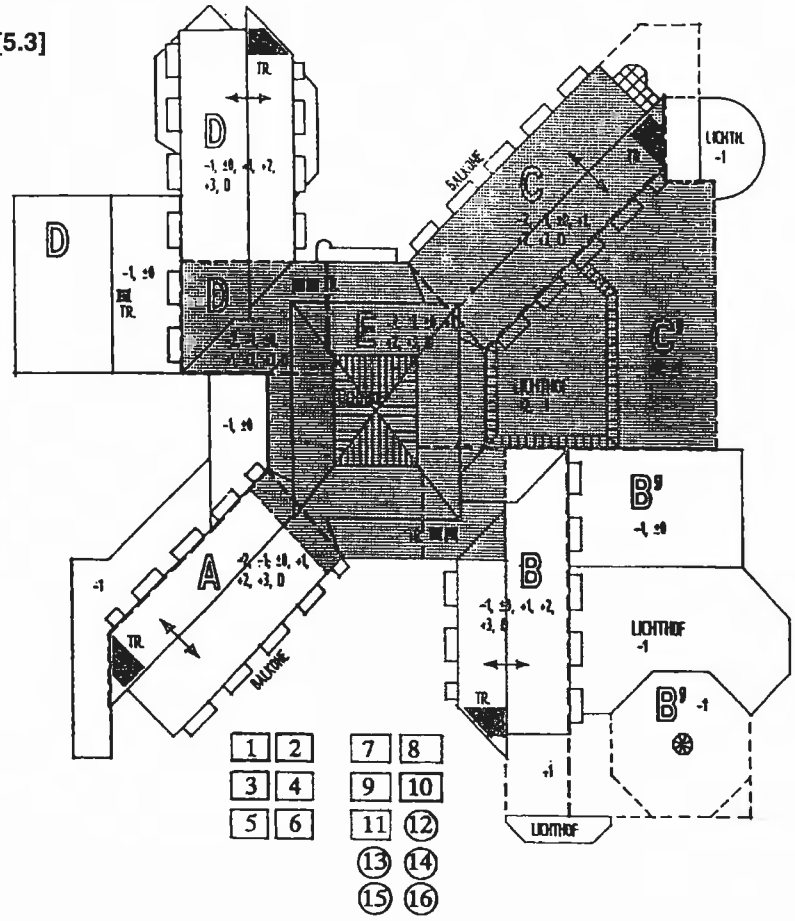


Legende:

Sammelbehälter für

1 Bauschutt (erst in Phase 2 aufzustellen)
2 Baustellenabfälle (z. B. behandeltes Holz)
3 Schrott
4 Altglas
5 Holz (unbehandelt – erst in Phase 2 aufzustellen)
6 Hausmüll

Bild 5.5: Getrennte Sammlung auf der Baustelle in der Phase 2 [5.3]



Legende:

Sammelbehälter für

1 Bauschutt
2 Baustellenabfälle (z. B. behandeltes Holz)
3 Schrott
4 Altglas
5 Holz (unbehandelt)
6 Hausmüll

Sammelbehälter für Verpackungen aus

7 Wellpappe, Karton, Papier
8 PE-Schrumpf-, Streich- und Luftpolsterfolie, Umreifungsbänder aus Kunststoff und Stahl
9 Holz und Paletten
10 Holzwerkstoffe
11 Entleerte Papiersäcke

Sammelbehälter für Verpackungen aus

12 EPS (Styropor)
13 Kunststoffeimer (PE oder PP)
14 Weißblecheimer, -kanister, -dosen, -tuben
15 Kanister aus PE
16 Dosen, Kartuschen, Flaschen, Tuben, Schläuche, Standbeutel, Säcke aus PE oder PP

An mehreren Beispielen wurde festgestellt, daß die Wiederverwendungsquote maßgeblich von der Trennbarkeit der Elemente im Fugen- und Verbindungsbereich beeinflußt wird. Die Verbindungstechnik ist entscheidend, ob ein Bauelement zerstörungsfrei wiedergewonnen werden kann. Gelingt dies nicht, muß das Teil entweder regeneriert oder das Gebäude bei der Remontage durch ein Neubauteil komplettiert werden.

Im Zuge der Ausbreitung von Braunkohlentagebauen konnten in den vergangenen Jahren zahlreiche Erfahrungen mit der Demontage von Mehrzweckgebäuden gesammelt werden. Meist waren dies eingeschossige Stahlbetonkonstruktionen in Skelettbauweise. Dabei konnten bei Bauelementen der Tragkonstruktion Wiederverwendungsquoten von bis zu 96 % und bei Bauelementen der Umhüllung bis zu 82 % erreicht werden.

Die neu entstandenen Sekundärbauwerke mußten mit neuen Bauteilen komplettiert werden. Trotzdem lagen in einem Beispielobjekt die Kosten gegenüber einem vergleichbaren Neubau um rund 42 % niedriger.

Die Gründe für diese Kostensenkung liegen hauptsächlich in der Energieeinsparung für die Herstellung von Primärbeton. Der Energiebedarf für die Herstellung von unbewehrtem Beton liegt zwischen 182 und 320 kWh/Mg und für Stahl- und Spannbeton bei 700 bis 1.700 kWh/Mg. Hinzu kommen die Materialeinsparung sowie die Einsparung von Recycling- bzw. Deponierungskosten.

Andererseits fallen besonders in der Vorbereitungsphase der Wiederverwendung vor allem bei Materialprüfungen, Transporten und Zwischenlagerungen Kosten an, die der Forderung nach einer möglichst hohen Wiederverwendungsquote gegenüberzustellen sind.

Für die bauwerksdiagnostischen Untersuchungen sind charakteristische Prüfkriterien wie z. B. Karbonatisierungstiefe, Bewehrungskorrosion, Dichte usw. erforderlich. Dabei können sich aus den Ergebnissen weitere Untersuchungskriterien ableiten, die für die Prognose der Gebrauchseigenschaften und der Restnutzungsdauer unerläßlich sind.

Anhand des technischen Zustands und des Beschädigungs- bzw. Verschleißgrades der Bauelemente wird entschieden, ob eine Regenerierung erforderlich und ökonomisch sinnvoll ist. Für die Aufarbeitung gibt es folgende Möglichkeiten:

- zentrale Aufarbeitungsstelle (z. B. Betonwerk),
- unmittelbar auf der Demontagebaustelle,
- auf der Remontagebaustelle oder
- im remontierten Zustand im Sekundärbauwerk.

Die Entscheidung für die Wiederverwendung muß unter Berücksichtigung technologischer, ökonomischer sowie regionaler Aspekte getroffen werden [5.14, 5.28].

Beispiele für die Demontage und den Wiederaufbau von alten Fachwerkhäusern finden sich in vielen Freilichtmuseen. Als modernes Gebäude läßt sich das Design-Center Stuttgart nennen. Das speziell demontierbare Gebäude wurde für eine 3-jährige, vorübergehende Nutzung gebaut. Danach wurde das Gebäude demontiert und 20 km weiter als Seminargebäude für eine Fachhochschule erneut aufgebaut [5.9].

5.3.2 Kontrollierter Rückbau in einzelnen Demontagestufen

5.3.2.1 Allgemeines

Die selektive Demontage – auch als kontrollierter Rückbau bezeichnet – bietet mehrere Vorteile: zum einen den Werterhalt der Baustoffe, zum anderen die Schonung von Deponiekapazitäten und Rohstoffressourcen. Dem Abbruch eines Gebäudes geht die ökonomische Abwägung zwischen Verwertung und Entsorgung voraus. Prinzipiell sind dabei zwei alternative Vorgehensweisen möglich:

1. Kontrollierter Rückbau der Gebäude in Demontagestufen mit dem Ziel einer möglichst weitgehenden Materialgewinnung durch Sortierung der gewonnenen Fraktionen während des Abbruchs.
2. Abbruch des gesamten Bauwerks ohne differenzierte Demontage und ohne Sortierung vor Ort.

Eine Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten erfolgt unter Abwägung unterschiedlicher Randbedingungen wie:

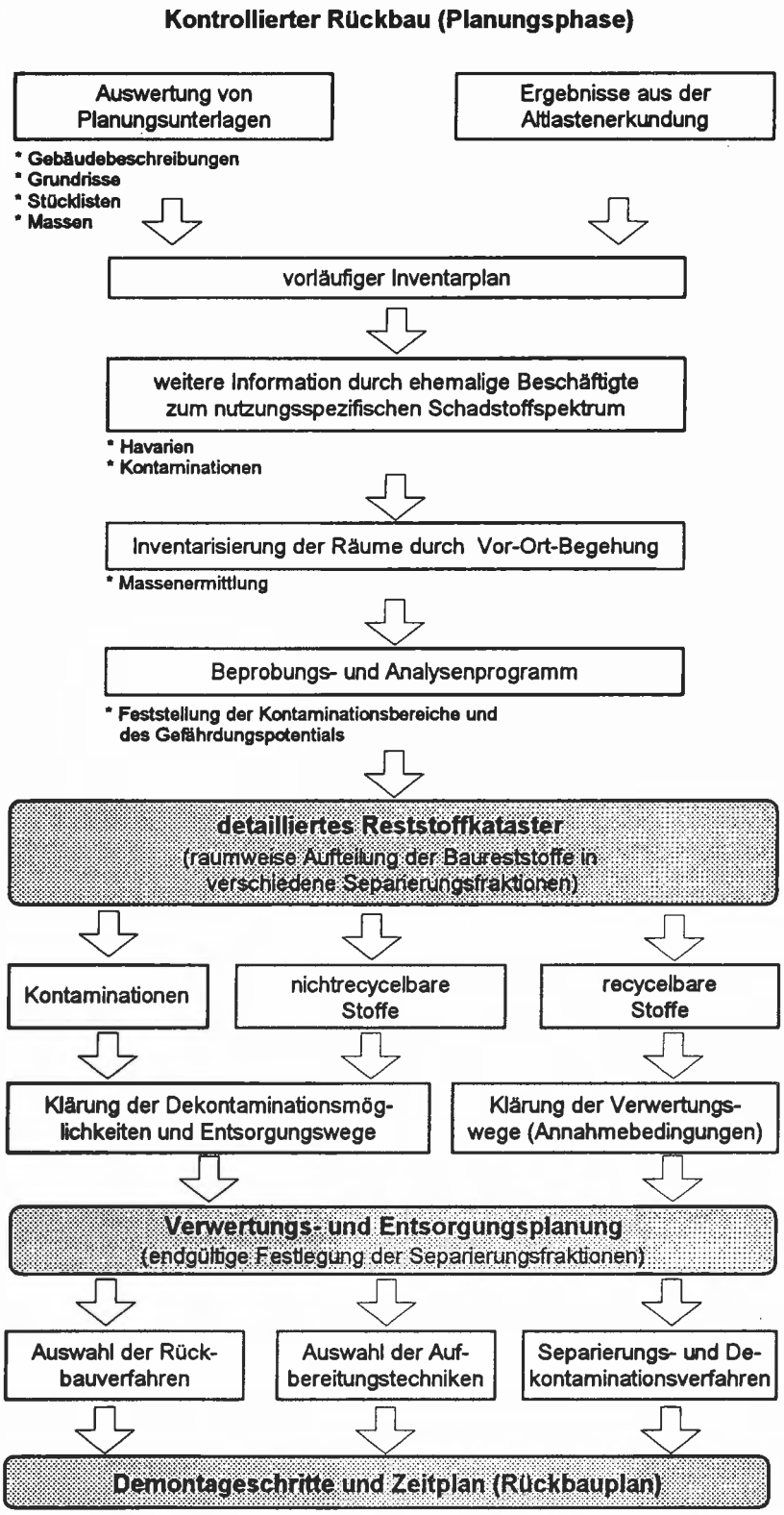
- Platzverhältnisse,
- Zeitvorgaben,
- Lohnkosten,
- Transportkosten,
- Entsorgungskosten,
- rechtliche Rahmenbedingungen.

Durch einen sinnvoll gegliederten Abbruchvorgang in Demontageschritten können vor allem große Mengen von unvermischten, mineralischen Baustoffen für eine Aufbereitung gewonnen werden. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist allerdings die vorherige Eingrenzung und Analyse sowie ein Ausbau kontaminierter Bereiche, die unter keinen Umständen mit dem unbelasteten Bauschutt vermischt werden dürfen.

Ferner können die sonstigen gemischten Stoffe in Fraktionen wie z. B. Glas, Holz, Installationen, Kunststoffe, Schrott u. s. w. separiert und einer qualitativ hochwertigen Verwertung oder einer umweltgerechten Entsorgung zugeführt werden. Eine spätere Sortierung der gemischten Baustellenabfälle ergibt schlechtere Qualitäten, weil eine saubere Trennung der ein-

Bild 5.6: Bau-Elemente-Lager Berlin

Bild 5.7: Ablaufstruktur in der Planungsphase zum kontrollierten Rückbau



zelnen Stoffgruppen ohne Verunreinigungen kaum noch möglich ist [5.12].

Neben der Nutzung der gebrauchten Baustoffe nach einer Aufbereitung ist auch der direkte Wiedereinsatz von Bauelementen möglich. Entsprechende Börsen und Baulager beginnen sich bereits zu etablieren. So besteht seit einiger Zeit in Berlin das BEL (Bau-Elemente-Lager Berlin), wo wiederverwendbare Bauelemente (Fenster, Türen etc.) aus Abrißgebäuden oder Sanierungsvorhaben ausgebaut, aufgearbeitet und zum direkten Einsatz in Gebäuden verkauft werden (Bild 5.6). Je nach Aufarbeitungsverfahren ist diese Vorgehensweise sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll.

5.3.2.2 Vorgehensweise in der Planungsphase

Der Durchführung des kontrollierten Rückbaus geht eine sorgfältige Planungsphase voraus. In der Planung müssen die Vorgaben des Bauherren (z.B. Zeitaspekte, Kostenminimierung), die technischen Möglichkeiten des Abbruchunternehmens, der Recyclingfirmen und Deponien sowie die behördlichen Auflagen in Einklang gebracht werden. In Bild 5.7 ist die prinzipielle Ablaufstruktur der Planungsphase dargestellt.

Die Planungsphasen gliedern sich in vier wesentliche Stufen:

1. Gebäudeanalyse,
2. Detailliertes Reststoffkataster,
3. Verwertungs- und Entsorgungsplanung,
4. Demontageschritte und Zeitplan (Rückbauplan).

Für die Gebäudeanalyse erweist es sich als günstig, auf vorhandene Bau- und Planungsunterlagen (Grundrisse, Stücklisten, Gebäudebeschreibungen etc.) bzw. auf eventuelle Untersuchungen aus der Altlastenerkundung zurückzugreifen. Aus diesen Ergebnissen kann ein vorläufiger Inventarplan aufgestellt werden [5.24].

Nutzungsspezifische Schadstoffspektren, welche besonders für die Festlegung kontaminierter Bereiche relevant sind, werden dabei noch nicht erfaßt. Nutzungsänderungen, eventuelle Havarien und Kontaminationen müssen ermittelt werden. Anschließend wird auf der Grundlage der gewonnenen Informationen ein spezielles Beprobungs- und Analysenprogramm zur Feststellung von kontaminierten Bereichen sowie des Gefährdungspotentials aufgestellt.

Durch die einzelne Inventarisierung der Räume (Vor-Ort-Begehungen) kann ein detailliertes Wert- und Reststoffkataster erstellt werden, in welchem die verschiedenen Baustoffe bereits in einzelne Separierungsfraktionen eingeteilt werden. Dabei wird grundsätzlich in Kontaminationen, nichtrecycelbare und recycelbare Stoffe unterschieden. Gleichzeitig wird eine Umfrage bei den regionalen Verwertern und Entsorgungsbetrieben durchgeführt. Die endgültige Festlegung der Separierungsfraktionen richtet sich u.a. nach den speziellen Annahmebedingungen. Diese werden in einem Entsorgungs- und Verwertungsplan zusammengefaßt.

Unter Berücksichtigung eines hohen Wiederverwertungsgrades werden schließlich die Rückbauverfahren, Aufbereitungstechniken bzw. Dekontaminationsverfahren ausgewählt und in Demontageschritten zusammengefaßt. In Verbindung mit einem Zeitplan stellt dies den eigentlichen Rückbauplan dar [5.23].

5.3.2.3 Demontagestufen des kontrollierten Rückbaus

Die Hauptzielsetzung des kontrollierten Rückbaus besteht in der Erreichung hoher Wiederverwertungsquoten für die anfallenden Materialien. Durch einen systematischen Rückbau in folgenden Demontagestufen kann dies erreicht werden (Bild 5.8). Aus organisatorischen Gründen ergeben sich teilweise Überschneidungen der Stufen [5.7].

Im ersten Arbeitsschritt sind möglichst alle kontaminierten Bauteile zu entfernen. Ansonsten kann es zu gesundheitlichen Gefährdungen der Demontagearbeiter und zu Verunreinigungen unbelasteter Stoffe kommen [5.12].

In Stufe 2 werden manuell direkt wiederverwendbare Teile (z.B. Heizkörper, Einrichtungsgegenstände) abgebaut, die entweder in eigenen Liegenschaften verwendet oder auf dem freien Markt verkauft werden können. Eine Alternative stellt die kostenlose Abgabe an Selbstabholer dar.

In Stufe 3 werden ebenfalls händisch Teile demontiert, die erst nach einer Vorbehandlung (z.B. Reinigung, Aufarbeitung) wiederverwendet werden können. Dies erfordert häufig eine Zwischenlagerung dieser Teile.

Als Stufe 4 erfolgt der Ausbau der in der Planung festgelegten Fraktionen, die nicht unmittelbar zur Gebäudekonstruktion gehören. Das betrifft vorrangig Materialien wie Glas, Holz, Metalle usw., die in einen Materialkreislauf eingebunden werden können.

Bevor die Gebäudekonstruktion abgetragen wird, ist es in Stufe 5 wichtig, alle nicht verwertbaren Bestandteile aus dem Gebäude zu entfernen. Damit kann der Störstoffanteil in der Bauschuttfraktion auf ein Minimum reduziert und somit die Qualität des Bauschutts erhöht werden. Es ist von Vorteil, unter Berücksichtigung der differierenden Deponiegebühren getrennte Fraktionen für die unterschiedlichen Entsorgungswege (Bauschutt-, Hausmüll-, Sondermülldeponie) zu bilden.

In Stufe 6 erfolgt schließlich der Abbruch der Gebäudesubstanz incl. der Außenanlagen und Tiefbauten. Aus der Gebäudesubstanz wird fast ausschließlich mineralischer Bauschutt gewonnen, der entweder in einer mobilen Anlage vor Ort aufbereitet oder einer stationären Anlage zugeführt werden kann. Im Hinblick auf die Qualität der Sekundärbaustoffe sollten die einzelnen Bauschutt-Fraktionen (reiner Betonbruch, Ziegel- und Mischschutt) getrennt gelagert und transportiert werden [5.10].

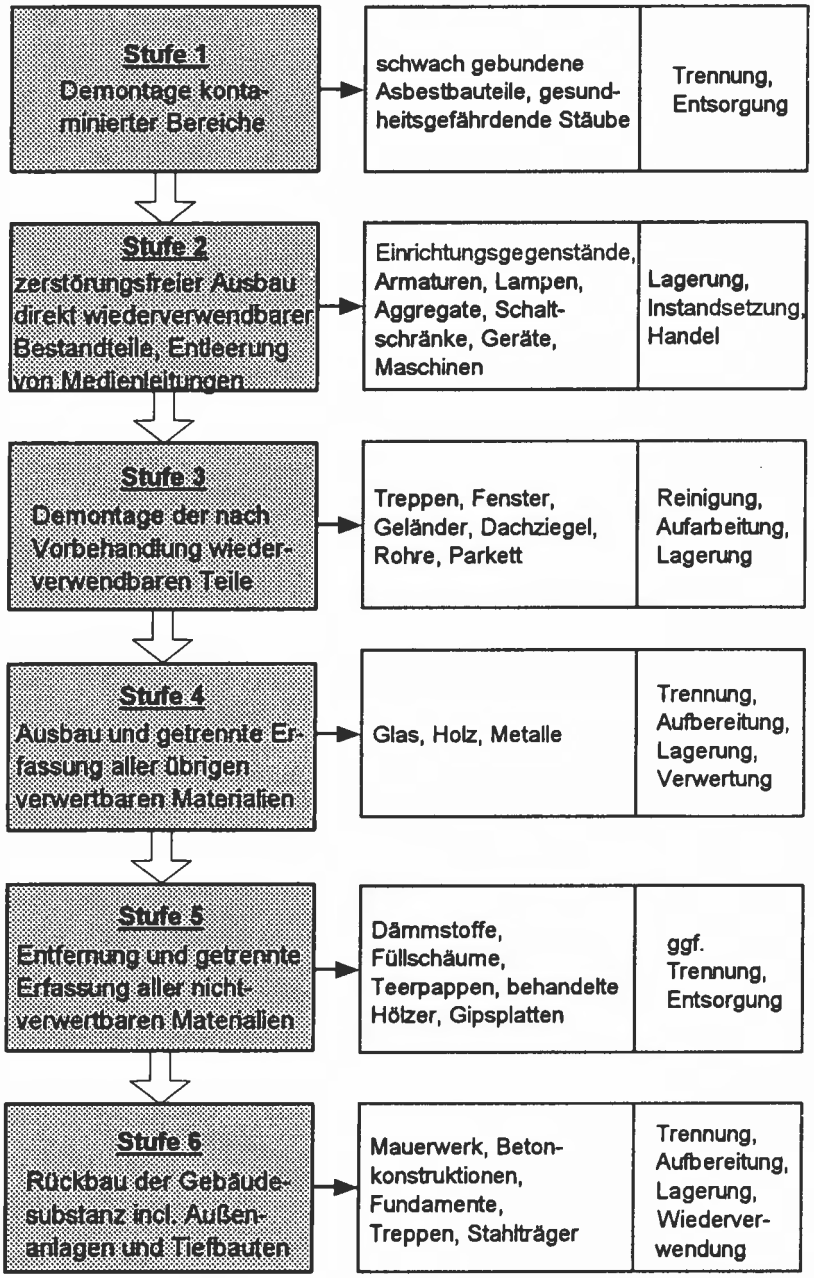
Die lückenlose Aufstellung der Demontagestufen im Rückbauplan bildet die grundlegende Voraussetzung für die Ausarbeitung der Leistungsverzeichnisse und somit für eine beschränkte oder öffentliche Ausschreibung. Die detailliert ermittelten Massen sowie die Vorgabe der Einzelleistungen und Entsorgungswege ermöglichen eine gute Kalkulationsgrundlage für den Bauunternehmer und eine überschaubare Kontrolle für den Auftraggeber. Ansatzpunkte für Spekulationen (z.B. extrem überzogene Pauschalpreise durch „Sicherheitszuschläge für Unwägbarkeiten") werden weitestgehend eingeschränkt und eine optimale Steuerung und Überwachung der Arbeiten gewährleistet. Durch die genaue Kenntnis der untersuchten Gefahrenbereiche können seitens des Auftraggebers Sicherheitszuschläge eingespart werden, die allein schon den höheren Aufwand einer kontrollierten Rückbauplanung rechtfertigen [5.11].

5.3.3 Beispiel aus der Praxis

5.3.3.1 Hotel Post, Dobel

In Dobel, Landkreis Calw, wurde im Rahmen eines geförderten Pilotprojektes ein Wohngebäude vollständig selektiv zurückgebaut. Ziele waren dabei:

Bild 5.8: Kontrollierter Rückbau in einzelnen Demontagestufen



- getrennte Erfassung aller Materialien des Gebäudes;
- Erprobung verschiedener Demontagezeiten und -kosten;
- bestmögliche Verwertung ausgebauter Materialien;
- Ermittlung von Materialbilanzen und Verwertungskosten.

Das Hotel Post, erbaut 1910, wurde in einem Zeitraum von sechs Wochen vollständig abgetragen. Zuvor wurden qualifizierte Gebäudestücklisten erstellt. Der Abbruchvorgang wurde detailliert geplant, um den Zeitbedarf und die Arbeitskosten exakt zuordnen zu können. Parallel dazu wurden die Aufwendungen, die für einen konventionellen Abbruch notwendig wären, ermittelt. Der Vergleich ergab, daß der selektive Rückbau unter den gegebenen Voraussetzungen (Deponiekosten, Platzverhältnisse u.ä.) die ökonomisch günstigste Abbruchvariante darstellte.

Die Erfahrungen aus diesem Projekt, bei dem eine Verwertungsquote von 94 % erreicht wurde, lassen sich allgemein auf die Demontage und Verwertung von Wohngebäuden übertragen [5.20]

5.3.3.2 Rückbau eines Kühlhauses, Berlin

Schwerpunkt beim Rückbau eines Kühlhauses, der in Berlin durch die uve GmbH durchgeführt wird, ist die sortenreine Trennung von Störstoffen (Dämmaterialien aus PAK-belastetem Kork, FCKW-haltiger PUR-Schaum, Styropor) sowie von Holz, Kabeln und NH_3-Anlagen. Der Abbruch erfolgt teilweise parallel zur Entkernung bei gleichzeitigem Weiterbetrieb eines Teilbereichs des Kühlhauses. Dies erforderte die Koordination von bis zu acht Gewerken gleichzeitig. Die

Bild 5.9: Rückbau eines Kühlhauses, Berlin [5.21]

Entsorgungslogistik beinhaltete auch die Vermarktung der direkt wiederverwendbaren Bauelemente. Die weitgehende Separierung von Störstoffen (Bild 5.9) soll eine hochwertige Verwertung ermöglichen.

5.3.4 Verfahren zum Abbruch von Tragwerkskonstruktionen sowie kompletten Gebäuden

Die gegenwärtigen Abbruchverfahren werden in folgende Hauptgruppen eingeteilt:

Mechanisch:
- Einschlagen,
- Einreißen,
- Eindrücken,
- Abgreifen,

Hydraulisch:
- Einreißen,
- Schneiden,
- Knabbern,
- Meißeln,

Manuell:
- Autogenschneiden,
- Kaltdemontage,
- Preßlufthammer,

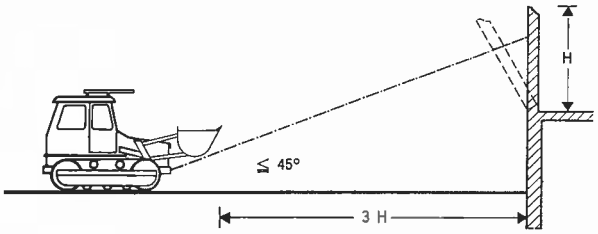
Besondere Verfahren:
- Sprengtechnik,
- Diamantsägen,
- Quelldruckverfahren
- Wasserstrahlschneiden,
- Kryotechnik.

Bild 5.10: Einschlagen mit einer Stahlkugel (Abrißbirne) [5.18]

Werden mechanische Verfahren wie z.B. das Einschlagen mit einer Abrißbirne (Bild 5.10), das Einreißen durch Seilzug (Bild 5.11) oder auch die Sprengtechnik angewandt, so ist dies meistens mit einer starken Staubentwicklung, Erschütterungen und Lärm verbunden. Eine Selektion der einzelnen Materialfraktionen ist nach dem Abbruch kaum noch oder nur mit großem Aufwand möglich [5.19]. Außerdem werden kontaminierte Bereiche auf das übrige unbelastete Material verteilt und eine abrißbegleitende Analytik läßt sich aus technischen und Sicherheitsgründen schwer realisieren. Der vermischte Bauschutt ist qualitativ minderwertig.

Die Sprengung ist zwar die schnellste Methode, ein Gebäude abzubrechen, jedoch ist nach der Sprengung keinerlei Materialtrennung mehr möglich. Außerdem wird durch die zusammenfallende Gebäudemasse soviel kinetische Energie in das Erdreich geleitet, daß durch ausgelöste seismische Schwingungen benachbarte Gebäude stark in Mitleidenschaft gezogen werden können.

Bild 5.11: Einreißen durch Seilzug [5.2]



Das Einreißen durch einen Seilzug (Bild 5.11), bei dem ein Stahlseil um einen tragenden Pfeiler gelegt und ein kräftiger Zug ausgeübt wird, war bis vor wenigen Jahren ein vielfach verwendetes Verfahren. Es ist jedoch stark unfallträchtig, weil zum einen mindestens eine Person das immer baufälliger werdende Gebäude mehrmals betreten muß, und zum anderen das gespannte Seil plötzlich reißen kann. Es wird deshalb zunehmend ein hydraulisch geführter Abbruchstiel zum Einreißen verwendet.

Dem Zeitvorteil, den mechanische Verfahren erbringen, stehen erhebliche Nachteile entgegen:

- Keine Trennungsmöglichkeiten der Baustoffe beim Abbruch;
- Kontaminationen können sich auf den gesamten Bauschutt verteilen;
- Bauschutt hat niedrige Qualität;
- erhebliche Staubentwicklung, Lärmbelästigungen sowie Erschütterungen an benachbarten Gebäuden;
- eine rückbaubegleitende Analytik ist kaum realisierbar.

Diese Verfahren sollten deshalb nur nach der vorherigen Entfernung von Kontaminationen und dem Ausbau der übrigen Materialfraktionen (Entkernung) an-

Bild 5.12: Abgreifen von Mauerwerk [5.18]

gewandt werden. Außerdem muß die Staub- und Lärmbelästigung z.B. für umliegende Gebäude vertretbar sein.

Eine zeitaufwendigere, aber für den selektiven Rückbau besser geeignete Methode stellt das Abgreifen mit einem Bagger dar (Bild 5.12). Größere Lärm- und Staubentwicklungen werden vermieden und bereits während des Abbruchs kann eine Vorsortierung des Bauschutts vorgenommen werden.

Hydraulische Verfahren sind besonders gut geeignet, größere Gebäudeeinheiten und Tragwerkskonstruktionen zielgerichtet und getrennt abzubrechen, ohne daß Materialfraktionen miteinander vermischt werden. Dafür steht ein breites Sortiment an Abbruchwerkzeugen wie z.B. Hydraulikhämmer, -zangen, Löffel, Greifer oder Reißhaken verschiedener Hersteller zur Verfügung (Bilder 5.13 bis 5.15). Diese Werkzeuge lassen sich oftmals je nach Bedarf am selben Basisgerät (Bagger) beliebig und schnell austauschen [5.19].

Die Bagger können mit langen Teleskopauslegern ausgerüstet sein (Bild 5.13), die aus sicherer Entfernung ein gefahrloses Arbeiten auch an Gebäuden höherer Bauart ermöglichen. Die Länge des Abbrucharmes kann etwa 20 m betragen. Außer dem Drücken und Ziehen kann der Einreißhaken auch Schürfbewegungen, beispielsweise zum Abräumen von Decken, ausführen. Dieses Verfahren ist kostengünstig anwendbar für Totalabbrüche von Mauerwerk und leicht bewehrtem Beton nach vorheriger Demontage. Eine Trennung der Materialien während des Abbruchs ist nicht möglich.

Hydraulik-Brechzangen (Bild 5.14) sind universell einsetzbar und werden beim trennenden Abbruch vorrangig zur stückweisen Zerlegung tragender Bauteile wie Balken, Deckenplatten, Stützen usw. verwendet. Der Beton wird örtlich zerdrückt und die Bewehrung freigelegt, so daß die Tragkonstruktion so geschwächt wird, daß diese im Anschluß mühelos zusammengeschlagen werden kann. Mit der max. Arbeitshöhe von 18 m können auch 5 bis 6-stöckige Gebäude abgetragen werden [5.4].

Der Abbruch mit handgeführten Hämmern ist arbeitsintensiv und stellt eine große Unfallgefahrenquelle für das Bedienungspersonal dar. Es werden daher fernbedienbare Hydraulikhämmer angeboten, die von Kleingeräten bis zu größeren Baggern erhältlich sind (Bild 5.15) [5.4].

Mit manuellen Verfahren ist praktisch eine Separierung in beliebiger Tiefe möglich. Diese Verfahren sind allerdings sehr zeitaufwendig und arbeitsintensiv und führen somit zu hohen Abbruchkosten. Zum Einsatz kommen bei dieser Methode eine Vielzahl von manuell zu bedienenden Schneid-, Fräs-, Absaug- und anderen Demontagegeräten [5.19].

In einem neueren Verfahren werden Quelldruckmittel verwendet. Die Rezepturen dieser Gemische sind firmenspezifisch verschieden. In das zu entfernende Material werden Bohrungen gesetzt, in die das angemischte Expansionsmittel gefüllt wird. Durch eine chemische Reaktion entsteht ein Quelldruck (ca. 6000 bis 9000 Mg/m^2), der die Zugfestigkeit des Betons oder Gesteins übersteigt. Das Verfahren ist – bis auf die Herstellung der Bohrlöcher – lärm-, staub- und erschütterungsfrei; es wird daher häufig in Krankenhäusern oder in der Nähe von empfindlichen Großanlagen (Computer, Meßgeräte, Alarmanlagen)

Bild 5.13: Einreißen, Eindrücken mit Abbruchstiel [5.18]

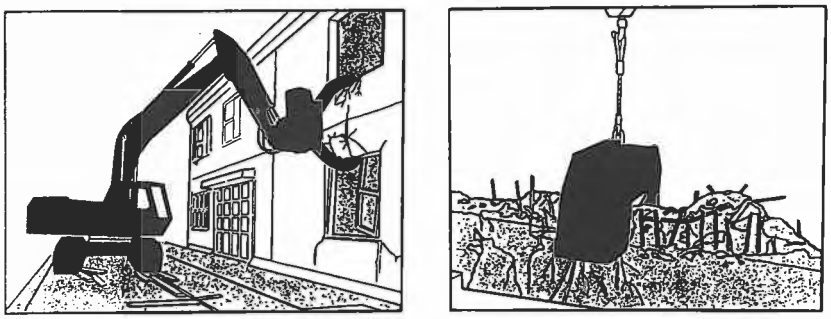


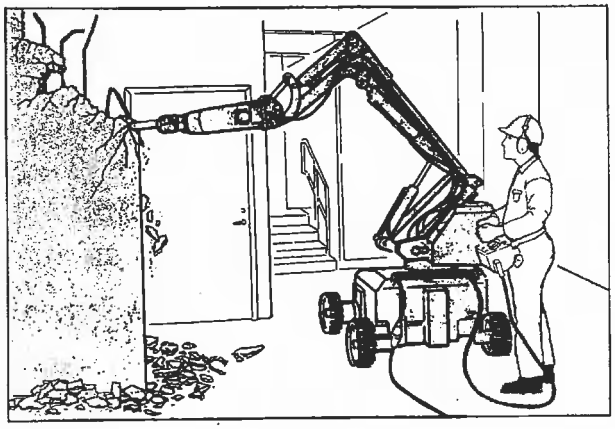
Bild 5.14: Schneiden und Knabbern mit Brechzange und Brechbügel [5.2]

eingesetzt. Der Einsatz von Quelldruckverfahren im kontrollierten Rückbau von Gebäuden ist denkbar [5.15].

Eine weitere Voraussetzung für die sortenreine Trennung von Materialien ist die Zerlegung unterschiedlicher Verbundmaterialien, die häufig verschiedene Festigkeiten aufweisen. Möglichkeiten dafür bieten das Wasserstrahlschneiden und die Kryotechnik, die allerdings für die großtechnische Anwendung noch weiter entwickelt werden müssen. Beim Wasserstrahlschneiden wird unter hohem Druck (bis zu 2500 bar) ein Wasserstrahl durch eine Düse auf den Werkstoff geführt. In Abhängigkeit von Druck, Düse und Düsenführung wird dabei vom flächenhaften Abtrag (Farbe, Putz) bis zum Trennschneiden von Stahl (unter Zusatz von abrasiven Stoffen) eine ganze Bandbreite des Abtrages ermöglicht. Gute Erfolge wurden beim selektiven Abtrag von verputzten Wänden im Zuge eines Großversuchs beim Abbruch eines Gebäudes in Weinheim erzielt. Für das Wasserstrahlen von Verbundbaustoffen ist jedoch Voraussetzung, daß der jeweils außenliegende Baustoff weicher ist als der dahinterliegende (z. B. Putz auf Beton). Eine umgekehrte Baustoffkombination tritt allerdings nur in Sonderfällen auf. Entwicklungsbedarf besteht bei dieser Technologie für die Methode des Einfangens und Reinigens des Wassers, so daß nach Möglichkeit das Wasser im Kreislaufverfahren verwendet werden kann [5.1].

Die Kryotechnik ist eine Methode, die sich insbesondere zur Trennung von verklebten weichen und zähplastischen Baustoffen eignet, so z. B. von verklebten Dämmstoff-Putz-Schichten oder von bitumenbeschichteten Folien (Aluminium, Kupfer) und Pappen.

Bild 5.15: Fernbedienbarer Hydraulikhammer [5.2]



Bei normalen Temperaturen sind Trägermaterial und Beschichtung zäh. Bei sehr starker Abkühlung – z. B. mit Hilfe von flüssigem Stickstoff – reißt der Verbund zwischen den Schichten infolge von unterschiedlichem Kälteschrumpfen. Darüber hinaus verspröden die zähen Materialien und lassen sich auf einfache Weise abklopfen oder -schaben [5.1]

Für die Auswahl der einzelnen Abbruchverfahren gibt es kein Universalrezept. Vielmehr müssen bei jedem Abriß die Abbruchmethoden auf die Besonderheiten sowie die ökonomischen Randbedingungen ausgerichtet werden. Im Zuge der Durchsetzung der gesetzlichen Vorgaben werden Abrißunternehmen durch strengere Abgabebestimmungen, verbunden mit steigenden Deponiepreisen, zunehmend veranlaßt, recyclinggerecht abzureißen. Dies bedeutet, daß ein steigender Trend zu hydraulischen und manuellen Verfahren, die eine bessere Selektion der einzelnen Materialfraktionen ermöglichen, zu verzeichnen ist [5.4, 5.19].

5.4 Literatur

[5.1] *Andrä, H.:* Lösungsansätze für die akuten Probleme in Form von neuen Abbruch- und Baumethoden; Symposium Der Baustoffkreislauf – Problem oder Chance für die Zukunft, Baden-Württemberg,1993

[5.2] ATLAS COPCO, Abbruchhandbuch, Selbstverlag, zu beziehen über Atlas Copco Essen

[5.3] *Bredenbals, B., Weber, H., Willkomm, W.:* Recycling, Rückbau und umweltgerechte Baustellenentsorgung, Verband Deutscher Baustoff-Recycling-Unternehmen e. V. (Hrsg.), Bonn 1993

[5.4] *Drees, G.:* Recycling von Baustoffen im Hochbau, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1989

[5.5] *Gewiese, A.; Fischer, K.J.; Heilmann, A.; Wagner, S.:* INTECUS-Studie über den Stand des Baustoff-Recyclings in der Bundesrepublik Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der neuen Bundesländer, unveröffentlicht im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung, 1993

[5.6] *Gewiese, A.:* Abfallwirtschaft und Bauen. Baumeister (4) 1994, S. 33–35, Verlag G. Callwey

[5.7] *Gewiese, A.; Gladitz-Funk, I.; Schenk, B.:* Recycling von Baureststoffen. Kontakt & Studium, Bd. 390, INTECUS, TAE, expert-Verlag, Renningen 1994

[5.8] *Frankenburger, A.:* Hilfe zur Selbsthilfe bei der Entsorgung, Baugewerbe 9 (1994), Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

[5.9] *Küsgen, H.:* Konzepte für die Wiederverwendung. Wachstumsmarkt Umweltschutz, Sonderdruck 1992, S. 20–23, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

[5.10] *Häußler, M., Rentmeister, O., Tomm, A.:* Wiederverwendung und Recycling, Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung, Aachen, Stand: 07.93, S.139–177

[5.11] *Kolb, W., Rohou, P.:* Möglichkeiten und Grenzen des selektiven Rückbaus von Industriebrachen am Beispiel der ehemaligen Halberger Hütte in Ludwigshafen. Abfallwirtschafts-Seminar, Berlin 1993

[5.12] *Marek, K.:* Recyclinggerechter Abbruch – Kontrollierter Rückbau. *Bilitewski, B.* (Hrsg.), Recycling von Baureststoffen, Berlin: EF-Verlag 1993, S. 177–188

[5.13] *Marutzky, R.; Strecker, M.:* Altholzverwertung, Kongreßforum „Holz", Internationale Grüne Woche, Jan. 1992, Berlin

[5.14] *Mettke, A.:* Wiederverwendung von Bauelementen und Bauwerksteilen aus Beton, Baustoff-Recycling + Deponietechnik (6) 1993, S. 9–13, Stein Verlag, Baden-Baden

[5.15] *Morgenweck, G.:* Wo sanfte Kräfte sinnvoll walten, Baugewerbe 10 (1994), Verlagsgesellschaft Rudolf Müller

[5.16] *N.N.:* Sicherheit bei Abbrucharbeiten, Merkheft, Schriftenreihe der Berufsgenossenschaft, Abruf-Nr. 421, Ausgabe 1982

[5.17] *N.N.:* Gesundheitsdiskussion um künstliche Mineralfasern – eine unendliche Geschichte, Bauindustrie aktuell (11) 1993

[5.18] *N.N.:* Firmendruckschrift der Bauunternehmung Bergfort, Essen

[5.19] *Rehage, H., Breithor, W.:* Intelligenter Abbruch; Sonderdruck aus der Fachzeitschrift ENERGIE, 46, (3) 1994

[5.20] *Rentz, Ruch, Nicolai, Spengler, Schultmann:* Selektiver Rückbau und Recycling von Gebäuden, ecomed-Verlag, Landsberg 1994

[5.21] uve: Rückbau eines Kühlhauses in Berlin, unveröffentlicht 1994

[5.22] VDI-Richtlinie 2243 Blatt 1, Beuth-Verlag, Oktober 1993

[5.23] *Wagner, S., Klupak, M.:* Abfallvermeidung durch kontrollierten Rückbau von Gebäuden, Kongressband zum CUT 1993 in Erfurt, S. 20–22

[5.24] *Wagner, S., Klupak, M.:* Kostenvergleich zwischen dem kontrollierten Rückbau und dem klassischen Abbruch anhand eines Beispiels, *Bilitewski, B.:* Recycling von Baureststoffen, Berlin: EF-Verlag 1993, S. 321–329

[5.25] *Weber, J.:* Faserförmige Stäube, Umweltmagazin (1) 1994

[5.26] *Willkomm, W.:* Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau, RKW-Verlag, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1990

[5.27] *Willkomm, W.:* Recyclinggerechter Baustellenbetrieb, Institut für Industrialisierung des Bauens, i. A. des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Hannover 1990

[5.28] *Zeidler, D.:* Recycling von Baureststoffen und Industrieflächen, Verlag Brunner Energie-Report 1993

6. Stand der Verfahrenstechnik zur Aufbereitung von gebrauchten mineralischen Baustoffen

Art und Umfang der Baustoff-Recyclinganlagen werden in erster Linie durch die Qualitätsanforderungen an das Endprodukt bestimmt. Bei der Erzeugung von Produkten minderer Qualität, z. B. für Tragschichtmaterial im Wegebau, kann sich die Aufbereitung im wesentlichen auf das Zerkleinern und die Abscheidung von Eisenmetallen beschränken. Sollen jedoch Qualitäts-Recycling-Baustoffe hergestellt werden, ist eine aufwendige Aufbereitungstechnik notwendig. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die Aufbereitungstechnik für mineralische Baustoffe ausgereift und weit entwickelt ist. Zerkleinern, Klassieren, Sortieren, Lagern und Transportieren sind Prozesse, die schon lange zur Praxis in der Rohstoffaufbereitung gehören. Entscheidend für den Recyclingerfolg ist daher weniger die Neuentwicklung der Maschinentechnik, als vielmehr die optimale Kombination der Einzelkomponenten. In Tabelle 6.1 ist eine Zusammenstellung der in der Aufbereitung und Sortierung von gebrauchten mineralischen Baustoffen eingesetzten Aggregate gezeigt.

6.1 Maschinentechnische Ausstattung von Aufbereitungsanlagen

6.1.1 Aufbereitung von Erdaushub

Ausschlaggebend für die Verwertung des anfallenden Bodenaushubs ist ebenfalls dessen Qualität. Die Nutzung für technische Zwecke kann nur dann erfolgen, wenn entsprechende Qualitätsgarantien vorliegen. Diese Forderungen bedingen eine verwertungsorientierte Prüfung und Beurteilung des zu verwertenden Bodenaushubs, die vor dessen Anfall durchgeführt werden sollte. Der Tabelle 6.2 ist eine Einteilung der natürlich vorkommenden Aushubmaterialien in Verwertungsgruppen zu entnehmen. In einem Verwertungsleitfaden des Landes Baden-Württemberg sind für jede Verwertungsgruppe die möglichen Einsatzspektren zusammengestellt [6.4].

Bei der Verwertung des Bodenaushubs ist zwischen dem Einsatz als Baustoff und als Rohstoff zu unterscheiden.

Bei der Aufbereitung nicht bindiger Böden (grobkörnige Lockergesteine) werden hauptsächlich Klassierverfahren (Abscheideroste, Schwingsiebmaschinen oder Vibrationsroste) eingesetzt.

Die Aufbereitung fein- und gemischtkörniger Lockergesteine (bindige Böden) ist technisch meist aufwendiger. Der Aufbereitungserfolg hängt von der Kornzusammensetzung und der Plastizität sowie vom natürlichen Wassergehalt ab. Bei trockenem Bodenmaterial werden ebenfalls klassierende Verfahren eingesetzt. Mit steigendem Wassergehalt nimmt die Kohäsion des Gemisches zu, und der Wirkungsgrad herkömmlicher Anlagen wird stark herabgesetzt (Verstopfungen der Aufgabetrichter, Kugelbildung auf den Siebböden).

Für die Aufbereitung von bindigen wie auch von kontaminierten Böden mit Anteilen an weichem und mittelhartem Naturstein kann beispielweise ein Doppelwellensizer eingesetzt werden. Die Brechertechnik beruht auf einem langsam laufenden Doppelwellenbrecher mit speziell entwickelten Spaltbrechzähnen. Mit dem Doppelwellensizer besteht die Möglichkeit, unabhängig vom Gesteinsanteil, bindige Böden aufzubereiten und z. B. für die Grabenverfüllung zur Verfügung zu stellen [6.13].

Zur Qualitätsprüfung und -sicherung ist zur Zeit eine

Verfahrensschritt	eingesetzte Aggregate
Aufgabeeinheit	Schubbodenbunker; Bunker mit Vibrorinne, Lochblechen, Plattenbandabzug oder Kratzkettenförderer
Vorklassierung	Schwersiebmaschinen; Stangensizer; Rollenrost, Disk-Scheider, Fingersieb; Trommelsieb; Bechersieb; Sternsieb
Zerkleinerung	Backen-, Prall-, Schlagwalzenbrecher; selten Kegelbrecher
Magnetscheidung	Überband-, Permanent-, Trommelmagnetscheider
Produktklassierung	Linear-, Kreisschwingsiebmaschinen; Fingersieb; Spannwellensieb
mechanische Sortierung	Gegen- und Querstromwindsichtung; Naßreinigung im Wasserbett, Aufstromsortierung, Setzmaschine, Waschtrommel; Schrägsortierbänder, Schleuderbänder; Wirbelstromscheider

Tabelle 6.1: Zusammenstellung der in der Aufbereitung und Sortierung von gebrauchten mineralischen Baustoffen eingesetzten Aggregate

Tabelle 6.2: Prinzipielle Einteilung des Bodenaushubs in Verwertungsgruppen [6.4]

Gesteinsarten			Gesteine (Beispiele)	Verwertungs-gruppe*
Festgestein	Metamorphe Gesteine		Gneis	M1
	Magmatische Gesteine Tiefengesteine (Plutonite) Erdgußsteine (Vulkanite) Gangsteine		Granit, Syenit Basalt, Porphyr Granophyr	M2
	Sedimentgesteine	Klastische Sedimente	Ton-, Schiefertonsteine Tonmergel-, Silt(Schluff)-steine	S1
			Sandsteine, Arkosen Grauwacken, Brekzien	S2
		Chemische Sedimente	Kalk-, Kalkmersteine Dolomitsteine, Sinterkalksteine	S3
			Gips-, Anhydritstein Steinsalz	S4
		Biogene Sedimente	Schillkalksteine, Riffkalksteine Ölschiefertonsteine	S5
	Feinkörnige Lockergesteine		Tone sowie Ton-Schluff-Sand-Gemische (= Lehme) kies- und steinfrei	L1
			Schluffe, kies- und steinfrei	L2
Locker-gestein	Gemischtkörnige Lockergesteine		Tone, Schluffe und Lehme, sandig-kiesig und/oder steinig	L3
	Grobkörnige Lockergesteine		Sande	L4
			Kiese	L5
	Humose, organische und organogene Lockergesteine		Ober (Mutter-)boden, Torf, Mudden	L6

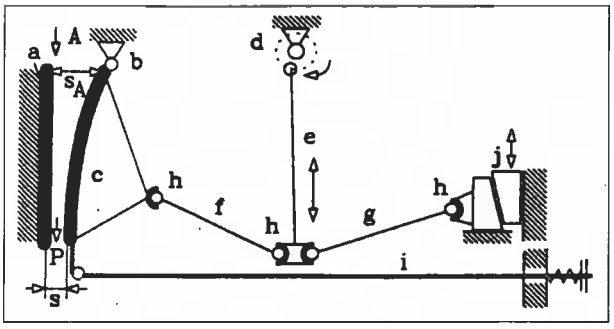
* M = Magmatische und metamorphe Gesteine
S = Sedimentgesteine
L = Lockergesteine

RAL-Gütesicherung für bindige Böden in der Bearbeitung [6.25].

6.1.2 Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch

Grundsätzlich lassen sich Anlagen zur Aufbereitung von gebrauchten mineralischen Baustoffen hinsichtlich der Mobilität, der Art der Zerkleinerung sowie der Verfahren zur Separation von Fremdstoffen unterscheiden. Bezüglich der Anlagenbauweise werden am Markt mobile, semimobile und stationäre Anlagen mit Durchsatzleistungen von 50–400 Mg/h angeboten, wobei Anlagen mit 120–160 Mg/h dominieren. Für die Zerkleinerung werden vorrangig Backen-, Prall- und Schlagwalzenbrecher eingesetzt. Neben der einstufigen Zerkleinerung mit einem Brecher, vorwiegend einem Prallbrecher, setzen sich in der Praxis zunehmend zweistufige Aufbereitungsanlagen mit Vor- und

Bild 6.1: Schema eines Doppelkniehebel-Backenbrechers [6.9]



Nachbrechern durch. Zur Aussortierung von Stör- und Fremdstoffen werden sowohl Trocken- als auch Naßreinigungsverfahren angeboten [6.3].

6.1.2.1 Vorzerkleinerung und Vorsortierung

Insbesondere an stationären Anlagen werden gebrauchte Baustoffe angeliefert, deren Größe die Einlaufweite der Brecher übersteigt oder bei denen Bewehrungseisen (Durchmesser > 15 mm) nach außen ragen. Derartige Stücke wie z. B. Betonpfeiler, -masten oder -platten müssen vor der Aufgabe vorzerkleinert werden, um einen störungsfreien Betrieb der Anlage zu ermöglichen. Ebenso ist die Abtrennung von großen Störstoffen wie Holzbalken, Heizkörpern, Folien und Kartonagen für einen reibungslosen Betriebsablauf notwendig.

Für die Vorsortierung und -zerkleinerung werden sowohl Handmaschinen (Preßlufthammer, Schneidbrenner) sowie Bagger mit speziellen Greif- und Zerkleinerungswerkzeugen (Sortiergreifer, Meißel, Hydraulikscheren und -zangen) eingesetzt. Teilweise finden auch Fallbirnen für die Vorzerkleinerung von Betonplatten Verwendung.

6.1.2.2 Zerkleinerung

In der Praxis werden Zerkleinerungsmaschinen nach dem Korngrößenbereich des Produktes, der Härte und dem Bruchverfahren des Aufgabegutes unterschieden. Die angebotenen Zerkleinerungsaggregate stammen dabei aus der Aufbereitung fester Mineralstoffe (Bergbau-, Schotter- und Kiesindustrie). Eine Gliederung der einzelnen Aggregate ist nach der Kraft- bzw. Energiezuführung sowie hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften und Korngrößenklassen der aufzubereitenden Stoffe möglich. Bezüglich des Korngrößenbereichs ist eine Einteilung in „Brechen" (grob) und „Mahlen" (fein) üblich. In der Baustoff-Aufbereitung werden Brecher eingesetzt, die für eine Zerkleinerung im Bereich der harten und mittelharten Gesteine geeignet sind. Diesen Härtebereichen werden auch Bauschutt und Straßenaufbruch zugeordnet, wobei hauptsächlich Backen- und Prallbrecher Verwendung finden. Es werden aber auch Schlagwalzenbrecher und selten Kegelbrecher eingesetzt.

Aufgrund der Inhomogenität der gebrauchten Baustoffe (Mischung unterschiedlicher Material-Festigkeitsgrade, Armierungsstähle etc.) sind die aus der Primärrohstoff-Aufbereitung übernommenen Brecher entsprechend angepaßt worden. Die Anpassungen beziehen sich beispielsweise auf die verwendeten Werkstoffe, die Maulweiten, die Austragsrichtung aus den Brechern sowie auf Verschleißminderungsmaßnahmen. Detaillierte Abrasionsverschleiß-Untersuchungen an Prall- und Schlagwalzenbrechern haben gezeigt, daß eine Verschleißminderung einerseits mit hochwertigen Werkstoffen andererseits durch Formveränderungen der Werkzeuge erreicht werden kann. Während neue Werkstoffe nicht immer wirtschaftlich vertretbar sind, können Formveränderungen zur Verzehnfachung der Verschleißteil-Standzeiten führen [6.2].

Backenbrecher

Die wichtigsten Maschinen für das Brechen grober Stücke harten Materials sind Backenbrecher.

Backenbrecher werden hauptsächlich in stationären Anlagen installiert und als erste Brechstufe für die Vorzerkleinerung eingesetzt. Es gibt aber auch mobile Anlagen, die ausschließlich mit einem Backenbrecher betrieben werden. Für die Zerkleinerung von Bauschutt und Straßenaufbruch finden Doppelkniehebel- und Einschwingen-Backenbrecher Verwendung.

Doppelkniehebel-Backenbrecher

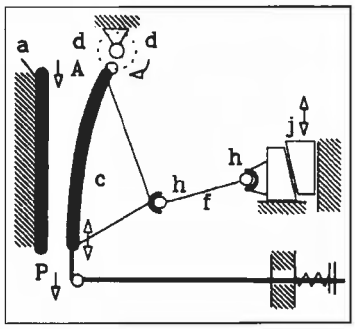
In Bild 6.1 ist das Schema eines Doppelkniehebel-Backenbrechers dargestellt. In einem entsprechend kräftigen Rahmen sind eine starre Backe (a) und eine um ein oberes Lager (b) schwingende Backe (c) angeordnet, zwischen denen das Brechgut durch unmittelbaren Kraftangriff (Druck) zerkleinert wird. Ein Doppelkniehebel-System mit Exzenter (d), Pleul (e) und Kniehebelplatten (f,g) überträgt die rotierende Bewegung des Antriebes auf die bewegliche Backe. Der Antrieb erfolgt mittels Elektromotor und Keilriementrieb, wobei die Keilriemenscheibe zugleich als Schwungrad dient. Die Kniehebel sind lose in Pfannen gelagert. Eine am hinteren Teil des Rahmens federnd befestigte Rückholstange (i) verhindert, daß die Kniehebel im unbelasteten Zustand aus den Pfannen fallen [6.9].

Die Brechbacken als Verschleißteile sind leicht auswechselbar ausgebildet. Seitlich ist der Brechraum durch Schleißbleche begrenzt. Mit einem Keil (j) am Gegenlager der hinteren Kniehebelplatte und einer Schraubspindel läßt sich die Spaltweite (s) einstellen, welche die max. Korngröße des Produktes in einer Dimension begrenzt. Die Spaltweite ist beim Doppelkniehebel-Brecher nicht konstant, sondern variiert periodisch mit dem Hub. Die Hubzahl der Schwinge liegt bei 180 bis 250 min^{-1}.

Einschwingen-Backenbrecher

Bei einem Einschwingen-Backenbrecher (Bild 6.2) greift der Exzenter (d) oben an der beweglichen Backe (c) an. Diese ist unten an einen Kniehebel (f) abgestützt. Daher führt die Schwinge im oberen Teil eine elliptische und am Austragsspalt eine beinahe lineare auf- und abwärtsgerichtete Bewegung aus, die einen schnellen Durchfluß des Materials gewährleistet. Im Vergleich zu den Doppelkniehebelbrechern zeichnen sich die Einschwingenbrecher durch einen

Bild 6.2: Schema eines Einschwingen-Backenbrechers [6.9]



höheren Verschleiß der Brechbacken aus. Aufgrund der relativ geringen Masse und der gedrungenen Bauweise werden diese auch für fahrbare Brechanlagen verwendet [6.9, 6.26].

Mehrere Hersteller bieten auch horizontal gelagerte Backenbrecher an, die eine Zerkleinerung in Förderflußrichtung gewährleisten. Die Anlagen bestehen im wesentlichen aus dem liegenden Backenbrecher und einem Plattenband. Das Brechgut wird umlenkungsfrei von der Aufgabe durch den Brecher transportiert [6.23].

Allgemein kann festgestellt werden, daß sich Backenbrecher sowohl wegen der weitgehenden Verschleißarmut als auch wegen des verhältnismäßig geringen Zerkleinerungsgrades insbesondere für die Vorzerkleinerung von Bauschutt und Straßenaufbruch eignen. Die Standzeiten der Brecherbacken liegen bei ca. 1–1,5 Jahren (ca. 300.000 Mg).

Bei der Zerkleinerung wird ein weitgehend kubisches Produkt erzeugt. Während integrierte Stähle gut freigeschlagen werden und keine Probleme bereiten, sollten bei armiertem Beton die herausstehenden Stähle vor der Aufgabe entfernt werden, um Verstopfungen im Brechermaul zu vermeiden. Zähe Materialien wie Asphalt können insbesondere bei Sommertemperaturen zu einem Verkleben der Backen führen. Desweiteren hat sich als nachteilig erwiesen, daß Materialien wie z. B. Gehwegplatten durch den Spalt rutschen, ohne gebrochen zu werden. Aus der Sicht des Arbeitsschutzes besteht eine potentielle Brandgefahr, wenn sich Kanthölzer zwischen den Backen verkanten.

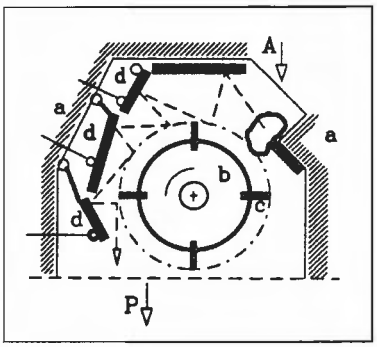
Die Fein- und Feinstanteile sind im Gegensatz zu Prallbrechern deutlich geringer. Der Durchsatz von Backenbrechern wird im wesentlichen von der Maulweite der Backen und der Austragsspaltweite bestimmt. Während die Maulweite für ein Aggregat konstant ist (bei Doppelkniehebelbrechern 15–20 % größer als die maximale Aufgabekorngröße), kann die Austragsspaltweite variiert werden [6.26].

Prallbrecher

Bei einem Prallbrecher erfolgt die Zerkleinerung des Materials durch Schlag gegen die Prallplatten. Prallbrecher sind wesentlich einfacher als Backenbrecher gebaut und deshalb preiswerter. Außerdem erreichen Prallbrecher größere Zerkleinerungsgrade.

Prallbrecher bestehen aus einem durch Schleißbleche geschützten Gehäuse (a), einem Rotor (b) mit Schlagleisten (c) und verstellbaren Prallplatten (d) (Bild 6.3). Der Rotor (b) ist meistens als Trommel mit entsprechenden Aussparungen und Halterungen für die Befestigung der Schlagleisten ausgebildet. Die besonders an den Kanten verschleißenden Schlagleisten sind oft so symmetrisch ausgebildet, daß diese um die Längsachsen gedreht werden können. Damit sind alle vier Kanten nutzbar. Die Prallplatten sind alle oder teilweise – insbesondere die in Drehrichtung letzte Prallplatte – schwenkbar aufgehängt. Dies soll Beschädigungen der Prallplatten beim Eintritt von nicht zerkleinerbaren Fremdkörpern vermeiden. Die Spaltweite ist zwischen den Schlagleisten und Prallplatten mittels Schraubspindeln oder hydraulisch einstellbar [6.9].

Bild 6.3: Schema eines Prallbrechers [6.9]



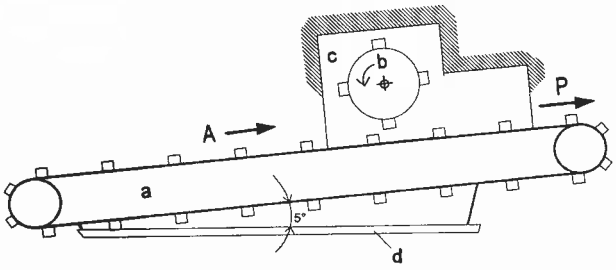
Das über eine Rutsche aufgegebene Material wird beim Auftreffen auf die Schlagleisten des Rotors gegen die Prallwerke geschleudert. Diese sind dergestalt angebracht, daß das Brechgut wieder in den Schlagkreis zurückgelenkt wird. Nach mehrmaliger Wiederholung dieses Vorgangs ist das Material genügend zerkleinert und kann den Spalt zwischen Rotor und Prallwerk passieren. Die gestrichelte Linie deutet die Flugbahn der Bruchstücke im Verlauf des Zerkleinerungsvorganges an. Da das Aufgabegut stark beschleunigt wird, kann ein Herausschleudern von Bruchstücken des Gutes aus dem Brechraum nicht ausgeschlossen werden [6.1, 6.3].

Für den Zerkleinerungsgrad ist im Gegensatz zu Backenbrechern nicht die Spaltweite sondern die Umfanggeschwindigkeit entscheidend. Diese muß je nach Härte und Abrasivität des Aufgabegutes zwischen 30 und 60 m/s gewählt werden.

In Backenbrechern müssen alle Produkte den Spalt passieren; daher werden unterschiedlich harte Komponenten des Aufgabegutes in etwa gleich stark zerkleinert (Zerkleinerung mit Formzwang). Bei Prallbrechern können sich dagegen Komponenten mit unterschiedlichem Brechverhalten deutlich in den groben oder feinen Kornklassen des Produktes anreichern (Zerkleinerung gemäß der inneren Struktur).

Bei der Prallzerkleinerung muß die Energie in Zerkleinerung umgesetzt werden, wobei der Reibanteil beim Eintreffen des Materials auf die Prallflächen möglichst gering gehalten werden muß. Denn je höher der

Bild 6.4: Schematische Darstellung eines Schlagwalzenbrechers



Reibanteil insbesondere bei abrasiven Material ist, desto größer ist der Verschleiß. Die Entwicklung geht daher zu Bauarten mit einfachen Austauschmöglichkeiten bzw. höheren Standzeiten der Schleißteile. Die Standzeiten der Schlagleisten bei einem Prallbrecher als zweite Brechstufe können bis zu 10.000 Mg betragen, als erste Brechstufe ca. 3.000 bis 5.000 Mg [6.7].

Schlagwalzenbrecher

Schlagwalzenbrecher (Bild 6.4) sind horizontal arbeitende Brecher. Das Material wird im Förderfluß gebrochen, wobei das Gut mittels eines Kratzkettenförderers (a) der Schlagwalze (b) zugeführt wird. Die Schlagwalze ist über dem Förderer angeordnet. Nach dem Brechvorgang wird das Gut gradlinig aus dem Arbeitsraum (c) heraustransportiert.

Es besteht die Möglichkeit, den Aufgabebereich des Kratzkettenförderers als Rollenrost auszubilden, so daß dieser Bereich gleichzeitg eine Vorabscheidung des Feinkorns bewirkt. Die Zerkleinerung großer Stücke auf dem Förderer erfolgt im Brechspalt zwischen Fördererboden und Schlagwalze überwiegend durch Schlag und Druck.

Ein Vorteil der Kombination von Schlagwalze und horizontaler Förderung ist die einfache Optimierung des Brechvorgangs. Die Fördergeschwindigkeit der Kratzkette kann in Abhängigkeit von der Belastung der Schlagwalze gesteuert werden [6.10].

Mittels des durchlaufenden Kratzkettenförderers wird das Brechgut aus dem Brechraum ausgetragen und auf das nachgeschaltete Förderband abgeworfen. Die optimale Drehzahl der Schlagwalze hängt von dem Aufgabegut, dem Zerkleinerungsverhältnis und der erforderlichen Körnungslinie ab. Die Drehzahl liegt bei ca. 500 min^{-1}. Um den Verschleiß an den Schlagelementen gering zu halten, sollte der Feinanteil des Aufgabegutes ca. 10 Vol.-% nicht überschreiten. Dieser Anteil kann sich in den Zwischenräumen des Kratzkettenförderers verteilen und kommt so nicht mit der Walze in Berührung.

Schlagwalzenbrecher werden für die Vorzerkleinerung eingesetzt. Die Endkörnungen liegen in einem Bereich bis 250 mm. Zur Variation der Korngrößen kann die Schlagwalze in der Durchlaufhöhe angehoben bzw. abgesenkt werden. Um einen einseitigen Ver-

Tabelle 6.3: Vergleich der unterschiedlichen Brechertypen [6.5]

Parameter	Prallbrecher	Backenbrecher	Schlagwalzenbrecher
Beanspruchung	Prall	Druck	Schlag, Prall
Zerkleinerungsverhältnis	1:20	1:6	1:7
Feuchte (in %)	< 8	< 5	< 15
Vor- und Nachteile	geringe Masse	große Masse	geringe Masse
	Beschickung von oben	Beschickung von oben, wenig störanfällig	ebenerdige Beschickung, geringe Bauhöhe
	gute Kubizität der Erdprodukte	bei geringem Hub kubisches Material herstellbar, Asphaltaufbereitung z.T. problematisch	keine verkaufsfähigen Endprodukte
	empfindlich gegen nicht zerkleinerbare Gegenstände (z.B. Stahl)	geringe Staubentwicklung und Schallpegel	keine Fundamente, leichte Umsetzbarkeit
	Verschleißkosten 0,10—1,50 DM/Mg	lange Standzeiten, Verschleißkosten 0,04—0,05 DM/Mg	Verschleißkosten 0,40—0,50 DM/Mg
	hohes Zerkleinerungsverhältnis, gut geeignet für eine Zerkleinerungsstufe	geringer Energiebedarf, kann auch einstufig betrieben werden, dann höherer Verschleiß und Energiebedarf	geringer spezifischer Energieverbrauch, nur für Vorzerkleinerung geeignet

schleiß der Werkzeuge im mittleren Bereich zu vermeiden, ist eine gleichmäßige Materialzuführung über den Kratzkettenförderer anzustreben [6.2].

Aufgrund der horizontalen Lagerung der Walze sowie der gleichbleibenden Förderrichtung des aufgegebenen Gutes ist der Schlagwalzenbrecher besonders für die Zerkleinerung von armiertem Beton geeignet. Freigeschlagene Armierungsstähle werden geradlinig aus dem Becher herausbefördert. Daher sind Schlagwalzenbrecher besonders für die Zerkleinerung von Betonelementen der Plattenbauweise geeignet.

Bei einer Blockierungsgefahr der Schlagwalze durch Eintritt zu großer bzw. nicht brechbarer Teile in den Brechraum wird die Transporteinrichtung des Förderers reversiert und das Störteil herausgefördert. Dadurch können zeit- und kostenaufwendige Maschinenstillstände vermieden und eine höhere Anlagenverfügbarkeit erreicht werden [6.10].

Die Tabelle 6.3 zeigt abschließend einen Vergleich der vorgestellten Brechertypen mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen.

In zweistufigen Anlagen werden vielfach Backenbrecher bzw. Schlagwalzenbrecher als Vorbrecher installiert, während Prallbrecher die Nachzerkleinerung übernehmen. In wenigen Anlagen werden auch Kegelbrecher eingesetzt, die die Herstellung eines sehr kubischen Korns ermöglichen. Dieses Korn ist insbesondere als Zuschlagstoff für Beton geeignet.

Um eine gut abgestufte Kornlinie ohne zu hohe Überkornanteile zu erhalten, sollten möglichst zwei Brecherstufen in eine Anlage installiert werden. Dabei sind jedoch die zusätzlichen Investitionskosten sowie die notwendige Energie zu kalkulieren. Andererseits sind die Verschleißkosten bezogen auf den Input geringer, und es ergibt sich eine insgesamt höhere Betriebssicherheit.

6.1.2.3 Klassierung

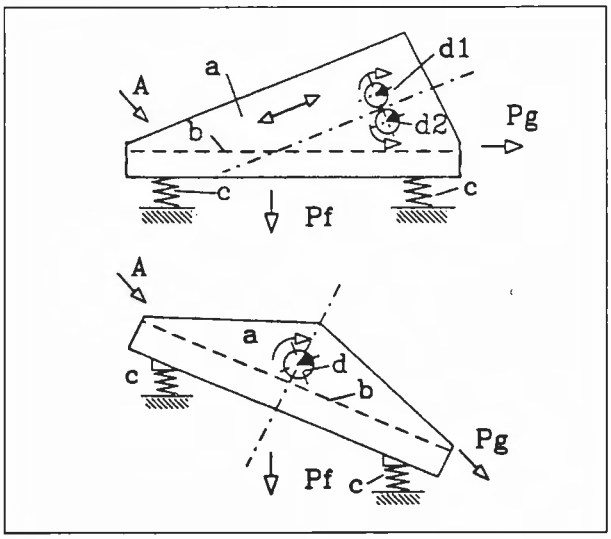
In Baustoffrecyling-Anlagen wird die Klassierung sowohl zur Vorabscheidung feinkörniger Bestandteile als auch zur weiteren Klassierung in verschiedene Korngrößenklassen eingesetzt.

Zur Vorabsiebung wird das Material von den Aufgabebunkern auf ein- bzw. mehrstufige Vorabscheider gegeben. Als Vorabscheider finden Stangenroste, Stangensizer bzw. Vibro-Stangensizer, Rollenroste, Schwerlastsiebmaschinen, Sternsiebe oder Disk-Scheider Verwendung.

Zur weiteren Klassierung des gebrochenen Gutes werden im allgemeinen Schwingsiebe eingesetzt. Dazu gehören Kreisschwing-Siebmaschinen und Linearschwing-Siebmaschinen (Bild 6.5).

Die Siebkästen (a), bestehend aus Wangen und Traversen, mit dem Siebbelag (b) sind i.a. auf Stahlfedern (c) gelagert. Die Schwingbewegung wird beim Kreisschwinger durch eine Unwucht (d), beim Linearschwinger durch zwei gegenläufige Unwuchten (d1, d2) bewirkt, die jeweils über Kardanwellen direkt durch Elektromotoren angetrieben werden. Die Siebbeläge können als Platten in entsprechenden Rahmen befestigt bzw. quer oder auch in Transportrichtung gespannt sein [6.9].

Bild 6.5: Schematische Darstellung von Linearschwinger (oben) und Kreisschwinger (unten), Pg = Grobprodukt, Pf = Feinprodukt [6.9]



6.1.2.4 Mechanische Sortierung

Das Ziel einer über das Zerkleinern und Sieben hinausgehenden Aufbereitungstechnik besteht in der Abtrennung wertstoffmindernder Stoffe. Zu den Fremd- und Störstoffen zählen unter anderen Verpackungsmaterialien, nicht witterungsbeständige Baustoffe, Leichtbaustoffe, Isoliermaterialien, Metalle etc. Diese müssen weitgehend aus dem Produktstrom entfernt werden, wenn die Gütekriterien für Qualitäts-Baustoffe erfüllt werden sollen. Als Verfahrenskonzepte zur maschinellen Sortierung stehen neben den stets eingesetzten Magnetscheidern Trocken- und Naßverfahren zur Verfügung.

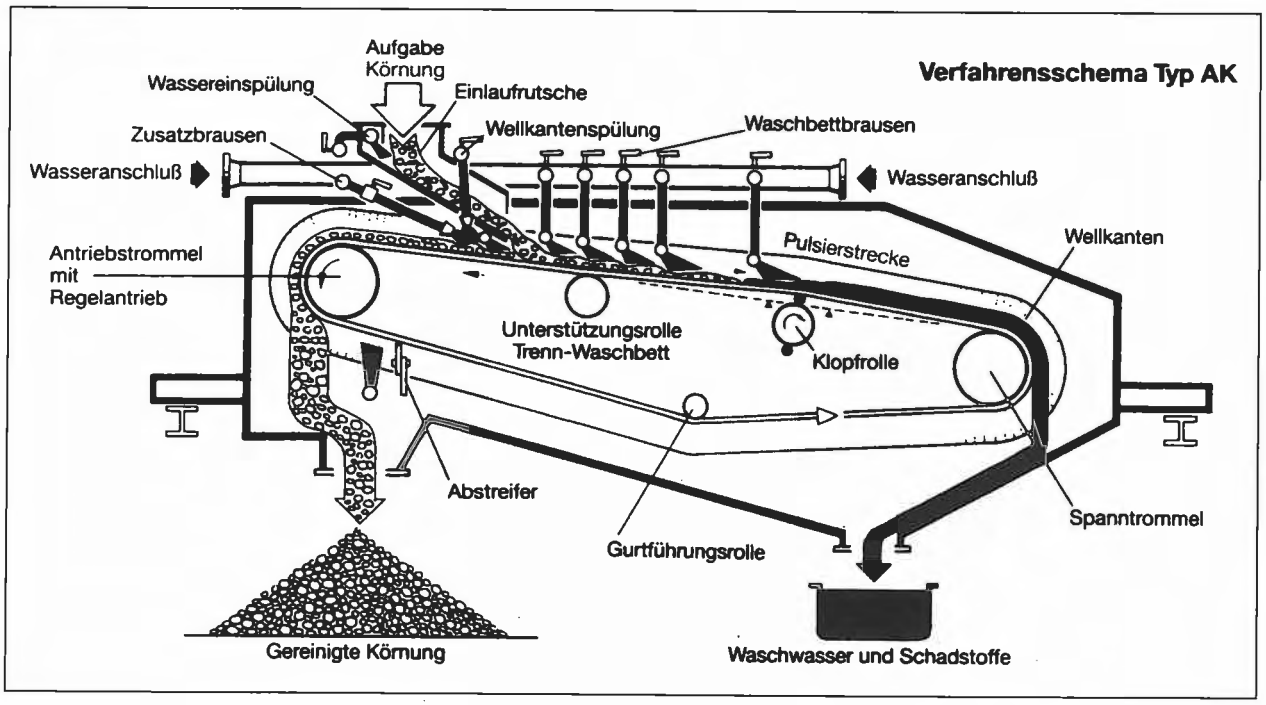
Die aufbereitete mineralische Fraktion weist im allgemeinen nach einer trockenen oder nassen Sortierstufe deutlich weniger als 1 Gew.-% Fremd- und Störstoffe bzw. keine nachweisbaren organischen Verunreinigungen auf. Eine Verbesserung der Produktqualität wird damit eindeutig erreicht [6.3, 6.6].

Naßreinigung

Bei den Naßreinigungsverfahren wird zur Abtrennung von unerwünschten Fremdstoffen das Dichte-Prinzip im Wasserbad ausgenutzt. Die jeweilige Sinkgeschwindigkeit der Partikel im Wasserbad ist dabei vom Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen abhängig. Der zu reinigende Baustoff wird im allgemeinen in Gegenstromrichtung durch ein Wasserbett geführt, wobei die spezifisch leichten Stoffe (Holz, Kunststoffe, Papier, Leichtbaustoffe etc.) aufschwimmen. Durch zusätzlich installierte Düsen, Mitnehmer etc. werden die störenden Leichtstoffe abgespült und ausgetragen, während Teilchen mit einer Dichte > 1 g/cm^2 (mineralische Fraktion, Glas, Keramik) absinken und als Produkt ausgetragen werden.

Nachfolgend werden vier unterschiedliche Verfahren zur Naßreinigung vorgestellt, die in Baustoff-Recyclinganlagen eingesetzt werden.

Bild 6.6: Verfahrensschema eines Aquamators [6.12]



Aquamator

Über eine verstellbare Aufgaberutsche wird die zu reinigende Körnung mit Wasser versetzt und in die Trenn-Waschbettstrecke aufgegeben. Die Zulaufrichtung ist entgegengesetzt der Bandlaufrichtung. Das Trenn-Waschbett wird aus einem Wellkantengurt sowie den darunter liegenden längs- und höhenverstellbaren Unterstützungsrollen gebildet (Bild 6.6).

Die leichten, aufschwimmenden Anteile werden mittels einzeln regulierbarer Brauserohre mit Flach- und Runddüsen aufgeschwemmt. Der Wasserdruck sollte mind. 3 bar betragen. Durch das Ausströmen des Waschwassers in Richtung der tieferliegenden Spanntrommel findet im Waschbett eine Dichtetrennung statt. Dies wird durch den Wasserstrahl der Düsen und die entgegengesetzte Reibungskraft des Gurtes begünstigt. Die am Ende des Waschbettes befindliche Pulsationsstrecke bewirkt, daß bereits abgesetzte, schwere Fremdstoffe wieder durch die Strömung des Waschwassers erfaßt und ausgeschieden werden können.

Der Austrag der gewaschenen Körnung erfolgt über die höherliegende, verstellbare Antriebstrommel, wobei eine Nachentwässerung (Entwässerungssieb) empfehlenswert ist. Das Waschwasser wird nach dem Aussieben der Fremdstoffe aufbereitet und im Kreislauf geführt.

Der Kreislaufwasserbedarf beträgt je nach Größe des Aquamators (10 bis 140 Mg/h) 40 bis 160 m^3/h. Das durch Verdunstung und Haftwasser dem Kreislauf entzogene Wasser (ca. 3 bis 5 %) wird durch Frischwasser ergänzt [6.12].

Für die Aufbereitung des Kreislaufwassers ist ein mehrstufiger Reinigungsprozeß erforderlich. Der Unterlauf des Baustoffentwässerungssiebs sowie das Waschwasser werden mit Druck in einen höherstehenden Hydrozyklon gefördert. Das Waschwasser gelangt dann zur Reinigungsstufe, während das Feinmaterial wahlweise der gewaschenen Körnung zugeschlagen oder getrennt gelagert wird.

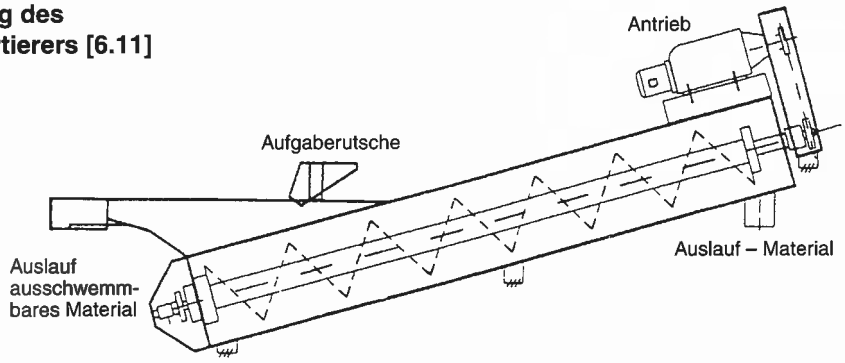
Schnecken-Aufstrom-Sortierer

Der Schnecken-Aufstrom-Sortierer (Bild 6.7) besteht hauptsächlich aus einem schräg ansteigenden Schnecken- oder Wassertrog, der darin laufenden Schneckenwelle und dem Antrieb (Getriebemotor). Durch die Bestückung der Schneckenwelle mit Schnecken und Schneckenspiralen wird eine intensive Durchmischung und Auflockerung des zu trennenden Materials gewährleistet. Mittels Aufstrom- und Wasserbeschleunigungsdüsen gelangen die Störstoffe an die Wasseroberfläche, von wo diese entgegen der Materialförderrichtung über ein variables Überstromblech ausgetragen werden. Das gereinigte mineralische Produkt wird durch die im letzten Drittel der Welle angebrachte Schneckenspirale herausbefördert und gleichzeitig entwässert. Das Wasser muß vergleichbar mit dem Aquamator aufbereitet werden [6.11].

Waschtrommel

Die Waschtrommel mit Hydroabscheidung besteht, wie in Bild 6.8 dargestellt, aus einer konischen Wasch- und Abscheidetrommel mit anschließender Austragskammer. Die Trommel ist in Längsrichtung gestuft und mit spiralförmig angeordneten Leitsegmenten versehen. Am gestuften Trommelmantel und an der Stirnseite der Austragskammer befinden sich Düsen, die den Wasch- und Aufschwimmprozeß begünstigen. Das aufgegebene Material wird durch die Abstufung des Trommelmantels bei einer Umdre-

Bild 6.7: Schematische Darstellung des Schnecken-Aufstrom-Sortierers [6.11]



hungsgeschwindigkeit von 3 min^{-1} intensiv gewaschen und durch die Leitsegmente zur Austragskammer gefördert. Dabei werden die schwimmfähigen Leicht- bzw. Fremdstoffe durch die ständige Wasserzuführung entgegen der Transportrichtung des schweren Gutes ausgeschwemmt und zu einem Entwässerungssieb transportiert. Die Austragskammer ist in mehrere Segmente unterteilt, deren Hubwände als Siebböden ausgeführt sind und das gewaschene Korngemisch entwässern und austragen [6.21].

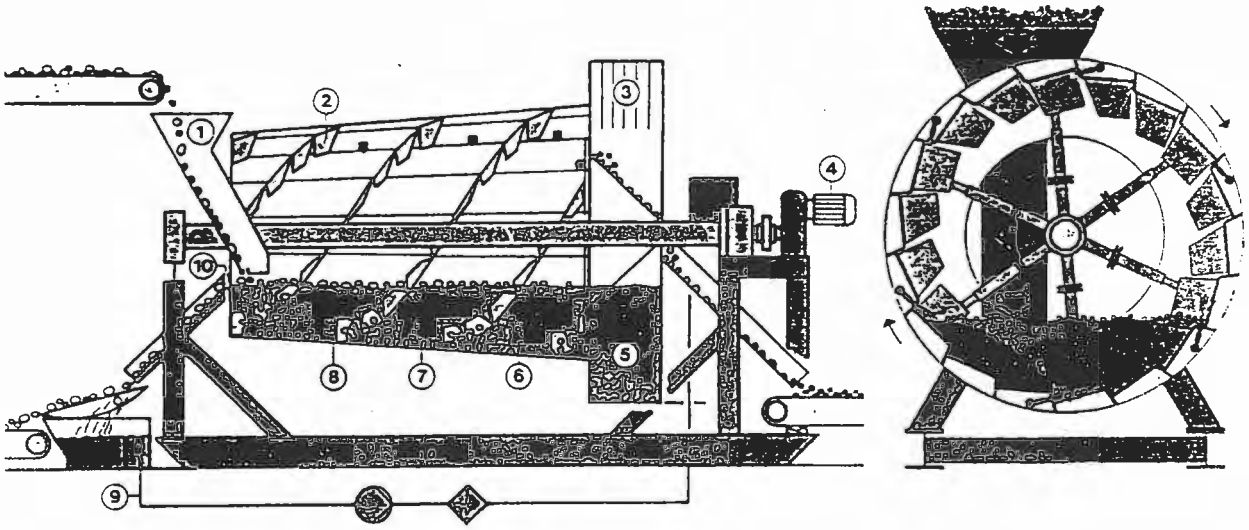
Der anfallende Schlamm kann je nach der Qualität des Inputs der gewaschenen Körnung zugeschlagen oder entsorgt werden. Das Waschwasser wird aufbereitet und im Kreislauf geführt.

Setzmaschinen

Bei der Sortierung in Setzmaschinen wird eine Materialschicht pulsierend von Wasser durchströmt (a). Durch den pulsierenden Aufstrom des Wassers wird die Materialschicht in einen aufgelockerten, wirbelschichtähnlichen Zustand versetzt. Die Wasserbewegung wird durch eine gesteuerte Druckluftzuführung mittels eines Gebläses (b) erzeugt. Dabei vollzieht sich eine Schichtung der zu reinigenden Körnung nach der Dichte, d.h. leichte Fremdstoffe gelangen an die Oberfläche. Der spezifisch schwerere Baustoff reichert sich im unteren Teil des Materialbettes an (Bild 6.9).

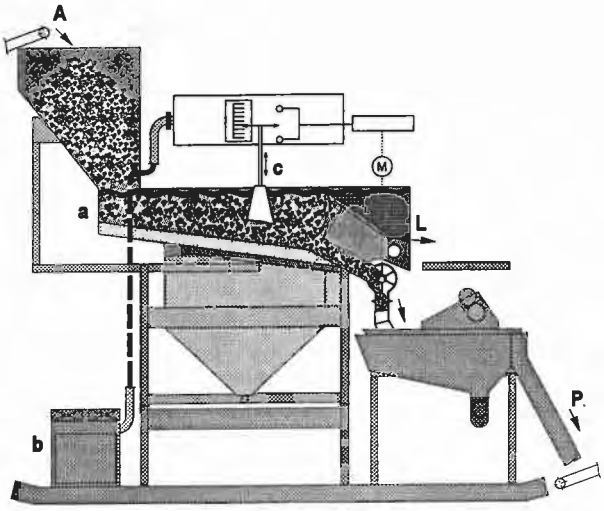
Die für eine saubere Schichtung erforderliche optimale Wasserbewegung ist in erster Linie von der stofflichen Zusammensetzung des Aufgabegutes abhängig. Weiterhin grundlegend ist das Austragen des Schwergutes aus dem Materialbett (P). Dabei erfolgt der Austrag des gereinigten Baustoffes aus einer möglichst großen Vorratsschicht innerhalb der Maschine. Zum Abtasten der Trennschicht dient ein Schwimmer (c), der das Verhalten des abzutrennenden Schwergutes exakt simuliert. Eine elektronische Verarbeitung der

Bild 6.8: Schematische Darstellung einer Waschtrommel [6.21]



1. unempfindlich gegen undosierte Beschickung
2. Leitsegmente
3. Entwässerungsroste
4. niedrige Antriebsleistung
5. hohe Austragsleistung
6. Trennmittelzugabe ohne Düsen
7. hohe Durchsatzleistung
8. schonende Materialbearbeitung bei kurzer Verweildauer, wenig Abtrieb und Schlammanfall, geringer Verschleiß
9. Trennmittel im richtigen Verhältnis zum Durchsatz
10. hoher Trennmittelstand am Überlauf mit gutem Austrag der Fremdstoffe

Bild 6.9: Schematische Darstellung einer Setzmaschine mit Zellenradaustrag



Schwimmersignale stellt eine verzögerungsfreie Arbeitsweise der Austragsregelung sicher. Auf diese Weise wird immer nur soviel gereinigter Baustoff aus der Maschine auf ein Entwässerungssieb ausgetragen, wie mit der Aufgabe in die Setzmaschine gelangt. Die Leichtstoffe (L) werden gleichfalls einem Entwässerungssieb zugeführt [6.8].

Einer Setzmaschine sind, vergleichbar den anderen Naßreinigungsverfahren, Wasseraufbereitungseinheiten nachgeschaltet.

Setzmaschinen werden auch zur Trennung von Beton-Ziegel-Gemischen und zur Behandlung von kontaminierten Böden eingesetzt.

Vor- und Nachteile der Naßreinigungsverfahren

Bei der nassen Aufbereitung wird ein Material gewonnen, das zu mehr als 99 Gew.-% frei von Störstoffen wie Holz, Plastik, Papier, Leichtbaustoffen etc. ist. Da u.a. auch anhaftende Lehm- und Schmutzreste abgespült werden, ist der gewonnene Baustoff als Tragschichtmaterial im Straßenbau oder als Zuschlagstoff für Beton einsetzbar. Der Wassergehalt des gewaschenen Materials liegt mit 9 bis 10 Gew.-% im optimalen Bereich.

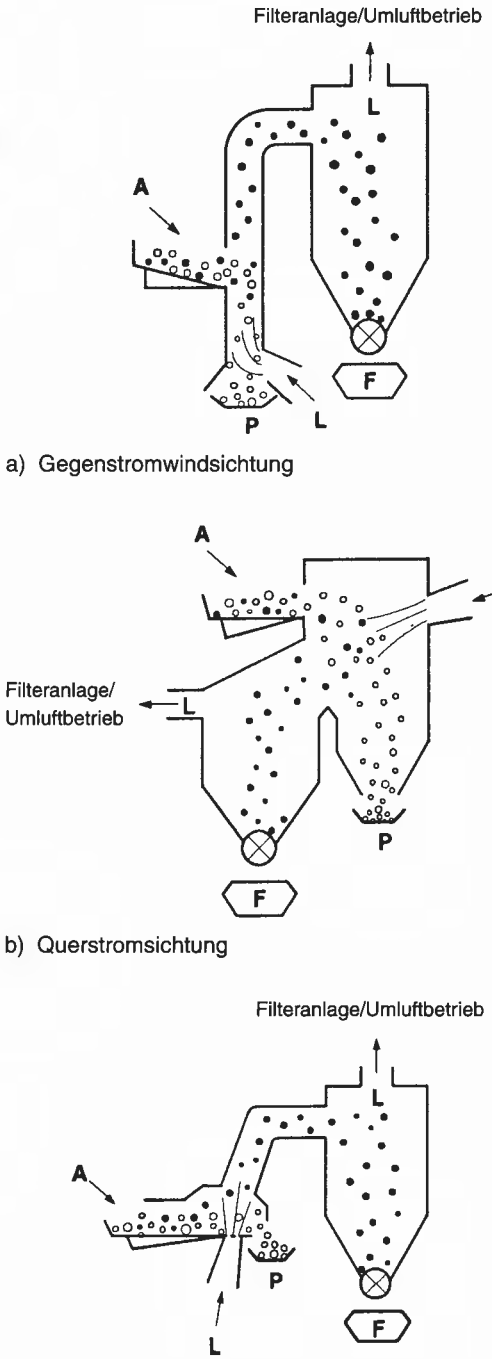
Als nachteilig zu beurteilen ist der kostenverursachende Wasserverbrauch. Weitere Kosten entstehen durch die Entsorgung des Schlamms aus der Kreislaufwasseraufbereitung, da sich in den anfallenden Schlämmen schädliche Bestandteile wie Chloride, Sulfate oder organische Verbindungen anreichern können. Als störend wird von den Anlagenbetreibern die z.T. extreme Schaumbildung, die Verstopfung der Düsen und die Anfälligkeit der Feststoffpumpen angesehen [6.3].

Trockenreinigung

Bei den Trockenreinigungsverfahren werden die nicht mineralischen Bestandteile nach dem Prinzip der Gleichfälligkeit im Luftstrom oder nach der Dichte abgeschieden. Kernstück der Verfahren zur Trockenreinigung ist eine Windsichtung. Durch die Regelung der Wind- bzw. Sauggeschwindigkeit kann die Sichtung entsprechend dem Einsatzgut optimal betrieben werden.

Das zu reinigende Material (A) wird über Schwingförderrinnen oder Gurtförderer in dünner Materialschicht in die Sichteinheit eingetragen. Dabei gibt es prinzipiell folgende Verfahrensvarianten (Bild 6.10):

Bild 6.10: Schematische Darstellung der Trockenreinigungsverfahren
A = Aufgabe; P = Produkt; F = Fremdstoff; L = Luftstrom,



a) Gegenstromwindsichtung

b) Querstromsichtung

c) Querstromwindsichtung mit mech. Unterstützung und Absaugung

Bild 6.11: Stationäre Aufbereitungsanlage mit Windsichtung im freien Fall der Fa. SBM [6.20]

- Sichtung im freien Fall in einem Sichterrohr im Gegenstrom ;
- Ausblasen der spezifisch leichteren Fremdstoffe in einer geschlossen Sichteinheit (Querstromsichtung);
- Absaugen der Fremdstoffe von einer Rinne mit Unterstützung einer Querströmung.

Bei der Variante (a) werden die Körnungen, die seitlich in das Sichterrohr eingetragen werden, zunächst quer zur Förderrichtung angeströmt. Im unteren Teil des Rohres erfolgt die Trennung im Gegenstrom.

Die Nachsichtung der Leichtstoffe findet im oberen Bereich des Sichtrohres im Gleichstrom statt. Die Fremdstoffe werden in nachgeschalteten Zyklonen abgeschieden und über Zellenradschleusen ausgeschleust. Der Luftstrom gelangt anschließend zu einem Gewebefilter und wird meist im Kreislauf geführt. In Bild 6.11 ist eine stationäre Aufbereitungsanlage mit einer Windsichtung im freien Fall gezeigt.

Bei der Ausblas-Variante (b) wird das Aufgabegut von der Vibrationsrinne geradlinig in die Sichteinheit gefördert. Die Fremdstoffe werden unterhalb des Abwurfes von der Luftströmung ausgeblasen, in eine separate Kammer geleitet und ausgeschieden. Das gereinigte Produkt fällt in ein zweite Kammer. Der Luftstrom wird über einen Zyklon und eine Filteranlage gereinigt und im Kreislauf geführt.

Die Absaugung der Fremdstoffe (c) aus dem Produktstrom erfolgt auf einer Vibrationsrinne o.ä. Dabei erfolgt am unteren Ende der Vibrorinne eine Absaugung, so daß der Aufschwimmeffekt der spezifisch leichteren Fremdstoffe ausgenutzt wird. Zur Unterstützung der Luftströmung erfolgt eine Querströmung durch das Materialbett. Dieser Einheit ist gleichfalls ein Zyklon und eine Filteranlage nachgeschaltet. Dieses Verfahrensprinzip wird vor allem bei der Sichtung von Baustellenabfällen eingesetzt.

Vor- und Nachteile der Trockenreinigungsverfahren

Eine effektive Windsichtung erfordert die vorherige Auftrennung des Gutes in eng begrenzte Korngrößenklassen (z.B. 8/16, 16/24, 24/32 mm). Die Feinfraktion 0/4–8 mm ist zuvor abzutrennen, da diese eine Überfrachtung der Filteranlagen verursachen würde. Bei zu hoher Eigenfeuchte des eingesetzten Materials nimmt die Durchsatzleistung und die Qualität der Trockenreinigung erheblich ab, gleichzeitig steigt der Anteil an unerwünschtem Haftkorn. Die vom Brecher abgehenden Transportbänder sollten daher nach Möglichkeit überdacht bzw. eingehaust sein.

Im Vergleich zur nassen Sichtung zeichnet sich die Trockensichtung durch einen erhöhten Kapitalbedarf für die Gerätetechnik sowie durch höhere Energiekosten, verursacht durch die Ventilatoren, aus. Die Umweltbelastungen einer Sichteranlage können als gering eingestuft werden, da die leichten Stoffe und Staubbestandteile über Zyklone und Tuchfilter abgeschieden werden. Vorteilhaft ist außerdem die Witterungsunabhängigkeit und der Nichtanfall von Schlämmen. Zur Verwendung im Straßenbau muß das Produkt vor dem Einbau angefeuchtet werden [6.3].

6.2 Beispiele von mobilen, semimobilen und stationären Aufbereitungsanlagen

6.2.1 Mobile Aufbereitungsanlagen

Mobile Aufbereitungsanlagen sind insbesondere für den Betrieb auf Abbruchbaustellen (z.B. Autobahnbau, Industriebauabbruch) und für Einzugsgebiete mit geringem Baustoffaufkommen pro Ablagerungsplatz (schneller Wechsel der Einsatzorte) geeignet. Die einzelnen Komponenten einer mobilen Aufbereitungsanlage (Absiebung, Zerkleinerung, Eisenseparation) sind auf einer oder zwei Transporteinheiten (Sattelauflieger, Anhänger) zusammengefaßt. Ein Peripherie-Gerät, meist ein Radlader, beschickt die Anlage je nach Ausführung ebenerdig oder über eine Rampe. Der Radlader wird auch für die Verladung der Endprodukte benötigt (Bild 6.12).

Bei mobilen wie auch semimobilen Anlagen ist zur Erhöhung der Produktqualität eine Möglichkeit zur händischen Sortierung von Störstoffen vor und/oder nach dem Brechereinlauf sinnvoll. Die Anlagen sind vornehmlich mit Prallbrechern ausgestattet. Es gibt aber auch Anbieter, die Backenbrecher in mobilen Anlagen installieren. Zur Gewährleistung der Mobilität sind derartige Anlagen mit Dieselgeneratoren ausgestattet. Die untere Grenze für einen wirtschaftlichen Betrieb liegt bei einer Gesamtverarbeitungsmenge von ca. 5.000 bis 6.000 Mg pro Standort. Der Standortwechsel dauert durchschnittlich 1 bis 2 Tage. In Bild 6.13 ist eine mobile Baustoff-Aufbereitungsanlage gezeigt.

Da diese Anlagen selten mit Bedüsungs- oder Absauganlagen ausgerüstet sind, ergeben sich in vielen Fällen Probleme bezüglich der Standortauswahl aufgrund der Schall- und Staubemissionen. Dies ist insbesondere für den Vorort-Einsatz auf Baustellen in der Nähe von Wohnsiedlungen zu beachten. Obwohl die Anlagen für ein Jahr genehmigungsfrei betrieben werden können, kann die zuständige Behörde Auflagen zum Schutz der Bevölkerung erlassen. Mobile Aufbereitungsanlagen können jedoch auch mit Bedüsungseinheiten zur Staubminderung ausgestattet werden. Die Vorteile und Nachteile von mobilen Anlagen lassen sich wie folgt zusammenfassen [6.3]:

- geringer Aufwand für die Platzvorbereitung;

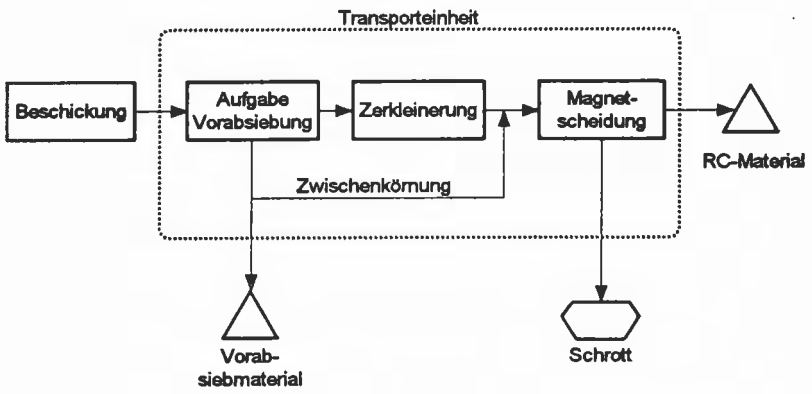


Bild 6.12: Schematischer Verfahrensablauf einer mobilen Baustoff-Aufbereitungsanlage

- vereinfachtes Genehmigungsverfahren erst nach 12 Monaten erforderlich (siehe Kap. 4);
- durch Vorort-Betrieb geringe Transportkosten für die aufzubereitenden Baustoffe sowie die Recycling-Baustoffe.
- jedoch hohe Betriebskosten bezogen auf den Transport und die Montage bei Einsatzortwechsel;
- keine Verwiegung und Annahmekontrolle des angelieferten Materials beim Baustellenbetrieb;
- eingeschränkte Produktpalette, da selten Produktsiebanlagen installiert sind;
- verminderte Produktqualität durch fehlende Sortier- und Klassieraggregate, insbesondere beim Betrieb auf Zwischenlagerplätzen mit gemischt gelagerten, gebrauchten mineralischen Baustoffen;
- Probleme mit Staub- und Schallemissionen, da selten Minderungsmaßnahmen installiert sind.

Eine Weiterentwicklung der mobilen Anlagenkonzeption auf Sattelaufliegern stellen die vollmobilen Recycling-Anlagen dar, die auf Raupenfahrwerken montiert sind. Diese können durch den Eigenantrieb im schreitenden Betrieb, z. B. bei der Autobahnsanierung, eingesetzt werden. Der Transport der Raupe kann auf branchenüblichen Tiefladern erfolgen. Bild 6.14 zeigt eine raupenmobile Aufbereitungseinheit.

6.2.2 Semimobile Aufbereitungsanlagen

Semimobile Anlagen bestehen aus mehreren transportfähigen Einheiten. Die Hauptaggregate (Vorabscheidesieb, Brecher und evt. Magnetscheidung) sind auf eine Stahlkonstruktion mit Kufen montiert. Für den Transport werden die einzelnen Einheiten demontiert und mittels Kran auf einen Tieflader gezogen bzw. verladen. Semimobile Anlagen sind häufig durch zusätzliche Produktsiebanlagen erweitert, die gleichfalls auf einer transportablen Einheit montiert oder mit einem Fahrwerk ausgestattet sind (Bild 6.15).

Da die semimobilen Einheiten teilweise auch stationär betrieben werden, sind diese je nach Bedarf für einen Inselbetrieb mit Dieselaggregat oder mit einem Anschluß an die Stromversorgung ausgestattet. Diese Verfahren werden teilweise auch mit Wasserbedüsungseinheiten zur Staubminderung angeboten. In Bild 6.16 ist eine semimobile Aufbereitungsanlage dargestellt.

Vor- und Nachteile der semimobilen Anlagen sind denen der mobilen Anlagen vergleichbar. Allerdings treten bei semimobilen aufgrund der Stahlkonstruktion im Gegensatz zum Fahrwerk niedrigere Investitionskosten auf. Andererseits muß bei einem Standortwechsel mit einer längeren Montagezeit (ca. 2 bis 3 Tage) gerechnet werden.

Bild 6.13: Mobile Aufbereitungsanlage der Fa. Böhringer, Oedheim [6.21]

Bild 6.14: Raupenmobile Anlage der Fa. Westfalia Becorit [6.23]

Durch die Möglichkeit der Installation von manuellen Lesestationen, Nachsiebeinheiten und Magnetscheidern können in semimobilen Anlagen höhere Produktqualitäten erreicht werden. Dabei erhöhen sich jedoch die Montagezeiten für den Auf- und Abbau noch zusätzlich.

6.2.3 Stationäre Aufbereitungsanlagen

Stationäre Anlagen sind sowohl von der Anlagentechnik, als auch von der gesamten Peripherie nicht mit den mobilen Verfahren vergleichbar. Vor der Planung und der Errichtung einer solchen Anlage sollte ein umfassendes Verfahrenskonzept unter Beachtung folgender Gesichtspunkte erstellt werden:

- Standortauswahl:
  Der Anlagenstandort muß im Gewerbe-, Industriegebiet oder Außenbereich liegen. Dabei sind die Nähe zum Materialaufkommen im Umkreis von ca. 20 km aufgrund der Transportkosten, etwaige ansässige Primär- und Sekundärbaustoffproduzenten sowie der zukünftige Absatzmarkt zu berücksichtigen.
- Infrastruktur:
  Da die Anlieferung sowie Abholung der Baustoffe überwiegend per LKW erfolgt, sollte der Standort eine entsprechende Verkehrsinfrastruktur aufweisen. Eine Anlieferung per Bahn und Schiff sollte zur Verringerung des Verkehrsaufkommens in Betracht gezogen werden.
- Platzbefestigung:
  Zur Verringerung der Staubemissionen auf dem Gelände durch den LKW-Verkehr sowie zur Fassung des Regenwassers ist eine Platzbefestigung und Entwässerung erforderlich. Je nach Lage des Standortes, z. B. in einem Wasserschutzgebiet, kann seitens der Wasserbehörde eine Abdichtung des Anlieferungs- und/oder Lagerbereiches der gebrauchten Baustoffe gefordert werden.
- Annahmebereich mit Waage, Registrierung, Kontrolle:
  Der Eingangsbereich mit der Verwiegung, Registrierung und Kontrolle der angelieferten Materialien stellt eine wichtige Barriere bei der Produktion von Qualitäts-Baustoffen dar. Die besondere Bedeutung der Eingangskontrolle wird ausführlich im Kapitel 8.2 dargestellt.
- Sicherstellungbereich:
  Bei Verdacht auf Kontaminationen oder unzulässige Materialzusammensetzungen der Anlieferungen sollte nach einer Schnellanalytik die Möglichkeit bestehen, das Material auf einen speziell abgedichteten Sicherstellungsplatz zu entladen und für weitere Untersuchungen vorzuhalten.
- Inputlagerung:
  Die unterschiedlichen gebrauchten Baustoffe werden materialspezifisch nach z. B. Beton, Ziegel etc. auf dem Gelände zwischengelagert.
- Vorsortierung und -zerkleinerung:
  Eine Vorsortierung größerer Störstoffe sowie die Vorzerkleinerung großer Baustoffteile erhöht die Betriebssicherheit.
- Aggregateauswahl:
  Die Auswahl der Aggregate erfolgt nach den technisch-ökonomischen Kriterien, Größe des Standortes, Erfahrungen und Wünschen des Betreibers. Die spätere Produktqualität hängt entsprechend von den eingesetzten Aggregaten ab.
- Produktlagerung und Verladung:
  Die Lagerung der Produkte kann bei weitläufigem Gelände auf Halde oder in einer Siloanlage erfolgen. Der Vorteil der Silierung liegt in der bedarfsge-

Bild 6.15: Schematischer Verfahrensablauf einer semimobilen Baustoff-Aufbereitungsanlage

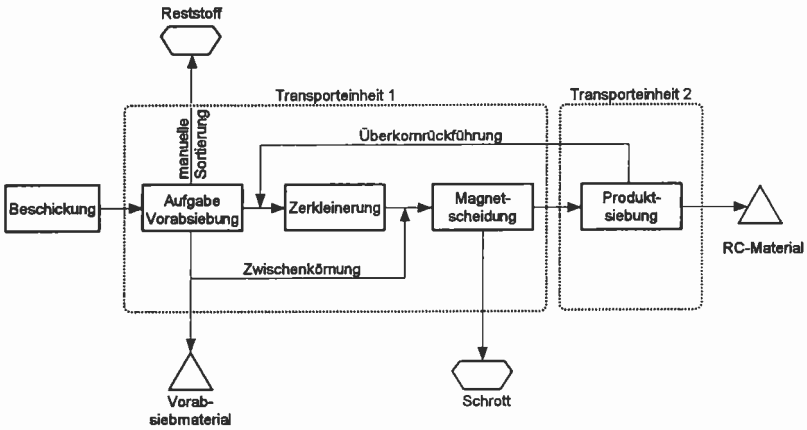
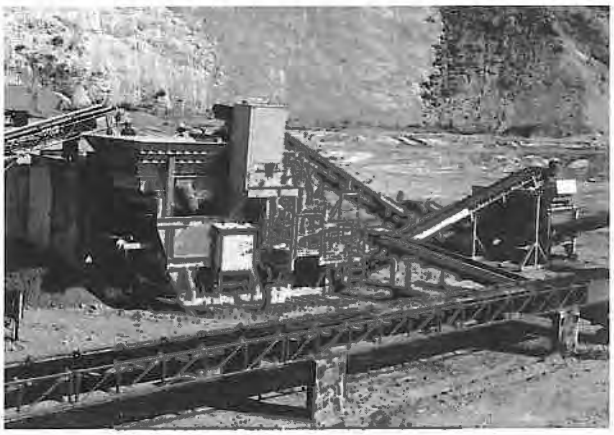


Bild 6.16: Semimobile Aufbereitungsanlage der Fa. INSTA-Recycling-Systeme GmbH [6.22]



rechten und automatischen Dosierung sowie dem geringen Platzbedarf. Als nachteilig sind die immensen Investitionskosten gegenüber einer Freilagerung zu nennen.

- Reifenwaschanlage:
  Um Verunreinigungen der öffentlichen Straßen zu vermeiden, ist die Installation einer Reifenwaschanlage im Ausgangsbereich erforderlich oder kann zur Auflage gemacht werden.
- Sozialräume:
  Für das Betriebspersonal sind ausreichend Aufenthalts- und Waschräume vorzusehen.
- Image und Vermarktung:
  Eine wirtschaftliche Aufbereitung von Qualitätsbaustoffen ist nur dann möglich, wenn diese in Konkurrenz zu den jeweiligen Primärbaustoffen treten. Zu einer stationären Anlage mit hohem Anlagenniveau gehört auch die Imagepflege, Entwicklung eines Produktnamens und die Erstellung eines Vermarktungskonzeptes (siehe Kap. 10).

Als Minimalfläche für eine stationäre Anlage werden ca. 10.000 m^2 genannt. Diese teilen sich wie folgt auf [6.3]:

Anlage	1.500 m^2
Input-Lager	4.000–5.000 m^2
Output-Lager	1.500–2.000 m^2
Fahrfläche	1.500–2.000 m^2

Die Input-Lagerfläche reicht für ca. 6.000 bis 8.000 m^3. Dies entspricht der durchschnittlichen Monatskapazität für eine Anlage mit einer Jahreskapazität von 100.000 Mg/a. Zu der Peripherie einer stationären Anlage gehören weiterhin eine Einfriedung, evt. Lärmschutzwälle sowie die Versorgungsleitungen für Be- und Entwässerung, evt. Stromversorgung. Stationäre Anlagen werden oft auch mittels Dieselgeneratoren mit elektrischem Strom versorgt. Außerdem müssen die erforderlichen Arbeitsgeräte wie Radlader und Bagger zur Verfügung stehen [6.3].

In Bild 6.17 ist der Verfahrensablauf einer zweistufigen Aufbereitungsanlage dargestellt, wobei sich die einzelnen Anlagenteile in Funktionsbereiche unterteilen lassen.

Als Vorteile der stationären Anlagenkonzeption können – neben den bereits erwähnten – folgende genannt werden:

- Erhöhung der Produktvielfalt durch großzügiger angelegte Siebstationen;
- Verminderung der Schall- und Staubemissionen durch Installation von Filteranlagen, Einhausungen, Lärmschutzwällen sowie durch Befestigung und Bewässerung der Halden und Wege;
- geringere Betriebskosten, bessere Lagerung und einfachere Terminplanung bezogen auf den Durchsatz aufgrund höherer Verfügbarkeit und besserer Ausnutzung der Anlage;
- wirtschaftliche Herstellung, Bevorratung und Vertrieb der Sekundärbaustoffe.

Diesen Vorteilen stehen als Nachteile gegenüber:

- der nicht immer gesicherte Absatz der Produkte innerhalb des Einzugsgebietes,
- das notwendige Genehmigungsverfahren sowie
- die hohen Investitionskosten insbesondere für die Grundstückserschließung und -befestigung sowie für die zusätzlichen Aggregate wie einem zweitem Brecher, Reinigungsverfahren und Silierung.

6.2.4 Aktuelle Beispiele für stationäre Baustoff-Aufbereitungsanlagen

6.2.4.1 Beton- und Baustoffwerke-Recycling-Mittelelbe GmbH & Co., Magdeburg

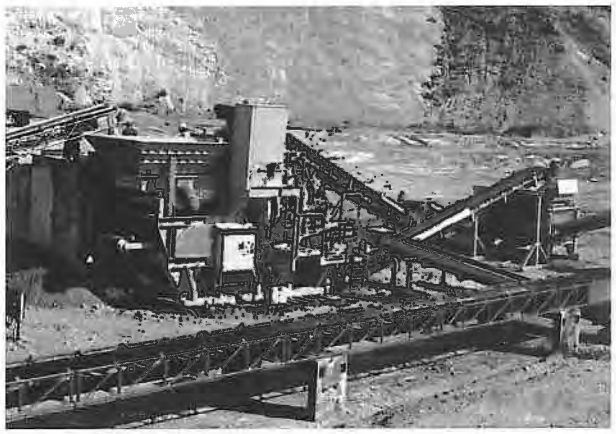
Die BBW-Recycling GmbH & Co. betreibt in Magdeburg auf einer Grundfläche von ca. 30.000 m^2 eine Baustoff-Aufbereitungsanlage. Die Anlage wurde innerhalb von 6 Monaten gebaut und im September 1992 in Betrieb genommen. Das Gelände, das an den Grundstücksgrenzen begrünt ist, weist folgende Bereiche auf (Bild 6.18):

- Eingangsbereich mit Registrierung, Verwiegung und Kontrolle,
- getrennte Zwischenlagerfläche für ca. 10.000 Mg unterschiedlicher Baustoffqualitäten,
- Anlagenbereich mit Vorsortierung sowie bedarfsgerechter Produktlagerung.

Die Anlage ist für eine Aufbereitungskapazität von max. 250 Mg/h bzw. 2.000 Mg/d ausgelegt. Zur Zeit wird diese mit einem Durchsatz von ca. 150 Mg/h bzw. 1.000 Mg/d im Einschichtbetrieb gefahren. Die Anlage ist für den Winterbetrieb bis -5 °C ausgelegt. Für den einschichtigen Betrieb sind acht Mitarbeiter erforderlich. Aus den angelieferten gebrauchten Baustoffen mit ca. 8–10 Gew.-% Verunreinigungen werden güteüberwachte RC-Baustoffe hergestellt. Der Verfahrensablauf (Bild 6.19) läßt sich wie folgt beschreiben:

Vor der Aufgabe des getrennt gelagerten Inputs wird eine grobe Vorsortierung sowie eine Vorzerkleinerung großer Teile mit einer Fallbirne oder einer Beißzange durchgeführt. Anschließend erfolgt die Materialaufgabe per Radlader in einen Aufgabebunker mit ca. 15 m^3 Fassungsvermögen. Der Bunker wird mittels eines Plattenbandes (25° Steigung) entleert. Das Plattenband transportiert das Material zur Vorabsiebung mit drei Roststufen zur Abtrennung der Fraktion 0/120 mm.

Bild 6.16: Semimobile Aufbereitungsanlage der Fa. INSTA-Recycling-Systeme GmbH [6.22]



rechten und automatischen Dosierung sowie dem geringen Platzbedarf. Als nachteilig sind die immensen Investitionskosten gegenüber einer Freilagerung zu nennen.

- Reifenwaschanlage:
  Um Verunreinigungen der öffentlichen Straßen zu vermeiden, ist die Installation einer Reifenwaschanlage im Ausgangsbereich erforderlich oder kann zur Auflage gemacht werden.
- Sozialräume:
  Für das Betriebspersonal sind ausreichend Aufenthalts- und Waschräume vorzusehen.
- Image und Vermarktung:
  Eine wirtschaftliche Aufbereitung von Qualitätsbaustoffen ist nur dann möglich, wenn diese in Konkurrenz zu den jeweiligen Primärbaustoffen treten. Zu einer stationären Anlage mit hohem Anlagenniveau gehört auch die Imagepflege, Entwicklung eines Produktnamens und die Erstellung eines Vermarktungskonzeptes (siehe Kap. 10).

Als Minimalfläche für eine stationäre Anlage werden ca. 10.000 m^2 genannt. Diese teilen sich wie folgt auf [6.3]:

Anlage	1.500 m^2
Input-Lager	4.000–5.000 m^2
Output-Lager	1.500–2.000 m^2
Fahrfläche	1.500–2.000 m^2

Die Input-Lagerfläche reicht für ca. 6.000 bis 8.000 m^3. Dies entspricht der durchschnittlichen Monatskapazität für eine Anlage mit einer Jahreskapazität von 100.000 Mg/a. Zu der Peripherie einer stationären Anlage gehören weiterhin eine Einfriedung, evt. Lärmschutzwälle sowie die Versorgungsleitungen für Be- und Entwässerung, evt. Stromversorgung. Stationäre Anlagen werden oft auch mittels Dieselgeneratoren mit elektrischem Strom versorgt. Außerdem müssen die erforderlichen Arbeitsgeräte wie Radlader und Bagger zur Verfügung stehen [6.3].

In Bild 6.17 ist der Verfahrensablauf einer zweistufigen Aufbereitungsanlage dargestellt, wobei sich die einzelnen Anlagenteile in Funktionsbereiche unterteilen lassen.

Als Vorteile der stationären Anlagenkonzeption können – neben den bereits erwähnten – folgende genannt werden:

- Erhöhung der Produktvielfalt durch großzügiger angelegte Siebstationen;
- Verminderung der Schall- und Staubemissionen durch Installation von Filteranlagen, Einhausungen, Lärmschutzwällen sowie durch Befestigung und Bewässerung der Halden und Wege;
- geringere Betriebskosten, bessere Lagerung und einfachere Terminplanung bezogen auf den Durchsatz aufgrund höherer Verfügbarkeit und besserer Ausnutzung der Anlage;
- wirtschaftliche Herstellung, Bevorratung und Vertrieb der Sekundärbaustoffe.

Diesen Vorteilen stehen als Nachteile gegenüber:

- der nicht immer gesicherte Absatz der Produkte innerhalb des Einzugsgebietes,
- das notwendige Genehmigungsverfahren sowie
- die hohen Investitionskosten insbesondere für die Grundstückserschließung und -befestigung sowie für die zusätzlichen Aggregate wie einem zweitem Brecher, Reinigungsverfahren und Silierung.

6.2.4 Aktuelle Beispiele für stationäre Baustoff-Aufbereitungsanlagen

6.2.4.1 Beton- und Baustoffwerke-Recycling-Mittelelbe GmbH & Co., Magdeburg

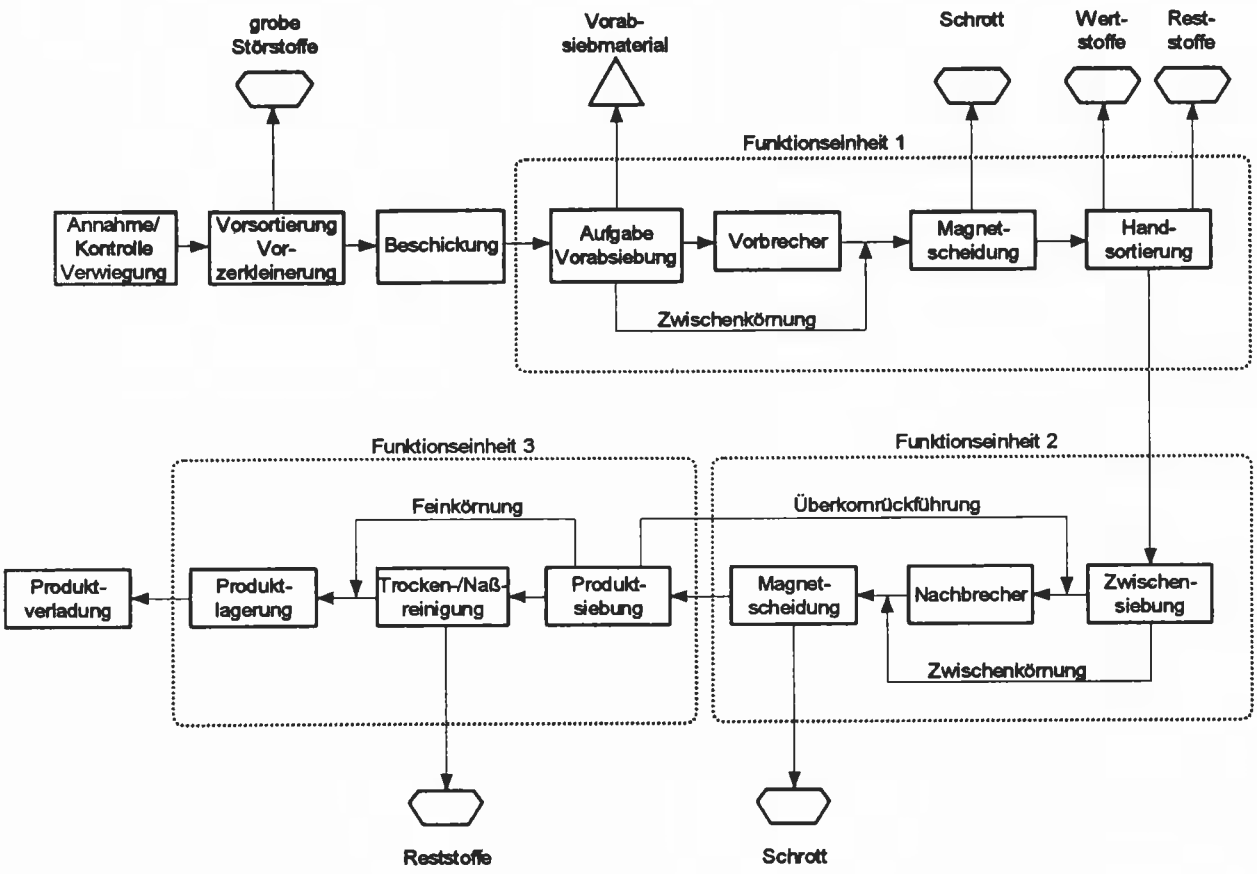
Die BBW-Recycling GmbH & Co. betreibt in Magdeburg auf einer Grundfläche von ca. 30.000 m^2 eine Baustoff-Aufbereitungsanlage. Die Anlage wurde innerhalb von 6 Monaten gebaut und im September 1992 in Betrieb genommen. Das Gelände, das an den Grundstücksgrenzen begrünt ist, weist folgende Bereiche auf (Bild 6.18):

- Eingangsbereich mit Registrierung, Verwiegung und Kontrolle,
- getrennte Zwischenlagerfläche für ca. 10.000 Mg unterschiedlicher Baustoffqualitäten,
- Anlagenbereich mit Vorsortierung sowie bedarfsgerechter Produktlagerung.

Die Anlage ist für eine Aufbereitungskapazität von max. 250 Mg/h bzw. 2.000 Mg/d ausgelegt. Zur Zeit wird diese mit einem Durchsatz von ca. 150 Mg/h bzw. 1.000 Mg/d im Einschichtbetrieb gefahren. Die Anlage ist für den Winterbetrieb bis -5 °C ausgelegt. Für den einschichtigen Betrieb sind acht Mitarbeiter erforderlich. Aus den angelieferten gebrauchten Baustoffen mit ca. 8–10 Gew.-% Verunreinigungen werden güteüberwachte RC-Baustoffe hergestellt. Der Verfahrensablauf (Bild 6.19) läßt sich wie folgt beschreiben:

Vor der Aufgabe des getrennt gelagerten Inputs wird eine grobe Vorsortierung sowie eine Vorzerkleinerung großer Teile mit einer Fallbirne oder einer Beißzange durchgeführt. Anschließend erfolgt die Materialaufgabe per Radlader in einen Aufgabebunker mit ca. 15 m^3 Fassungsvermögen. Der Bunker wird mittels eines Plattenbandes (25° Steigung) entleert. Das Plattenband transportiert das Material zur Vorabsiebung mit drei Roststufen zur Abtrennung der Fraktion 0/120 mm.

Bild 6.17: Schematischer Verfahrensablauf einer stationären Baustoff-Aufbereitungsanlage



Das Vorabsiebmaterial 0/120 mm wird nachfolgend auf einer Doppeldeckersiebmaschine in die Körnung 0/12 und 12/120 mm getrennt. Die Fraktion 12/120 mm wird über einen Förderer mit dem Hauptmaterialstrom aus dem Backenbrecher vereinigt, während das Vorabsiebmaterial 0/12 mm aufgehaldet (ca. 750 m^3 Volumen) wird.

Das Überkorn 120/x mm gelangt in den Einlauf des Einschwingen-Backenbrechers (Maulweite 1.200 × 900 mm). Die Spaltweite des Backenbrechers ist variabel zwischen 100 und 180 mm einstellbar. Zusätzlich ist der Vorbrecher mit einem hydraulischen Baggerausleger mit Drehsäule und Hydraulikhammer ausgerüstet, um bei Verstopfungen diese im Brechereinlauf oder auf dem Siebrost zu beheben. Das zerkleinerte Material wird aus dem Brechraum nach unten auf eine Vibrationsrinne ausgetragen.

Nachfolgend wird diese Körnung vorbei am ersten Magnetscheider zur Zwischensiebstation (Dreideckersiebmaschine) transportiert. Der Siebdurchgang

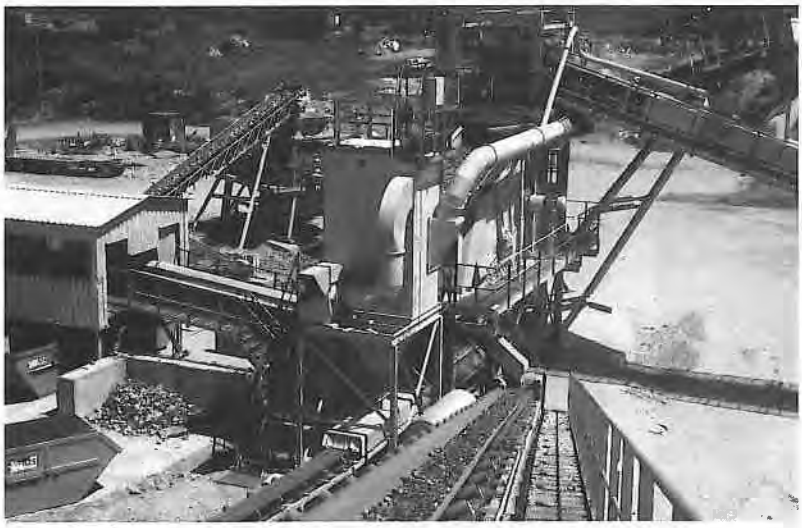
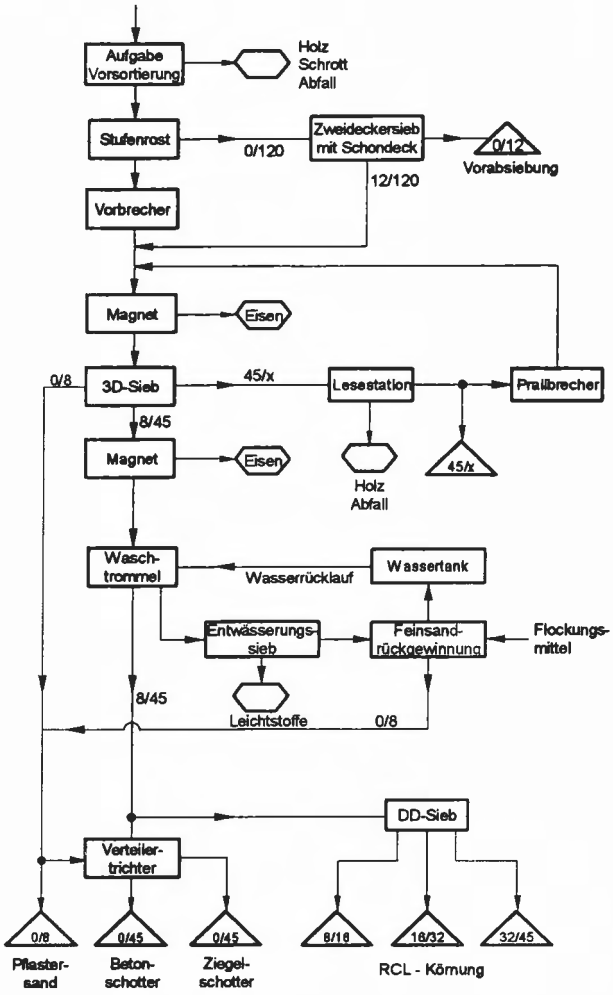


Bild 6.18: Stationäre Baustoff-Aufbereitungsanlage der Fa. BBW-Recycling GmbH & Co., Magdeburg

Bild 6.19: Verfahrensablauf der Aufbereitungsanlage der Fa. BBW-Recycling GmbH & Co., Magdeburg



0/8 mm gelangt über einen Verteilertrichter zum Haldenförderer und wird als Pflastersand verkauft. Der Siebüberlauf 45/x mm wird zum Heraussortieren von Holz, Kunststoffen, Papier u.a. der Lesestation zugeführt. Diese Körnung wird nach der Lesestation entweder aufgehaldet oder über einen Vibrationsaufgeber dem Nachbrecher (Prallbrecher) zugeführt. Das nachgebrochene Gut wird über eine Vibrationsrinne abgezogen und erneut der Dreideckersiebmaschine aufgegeben. Von der Siebmaschine gelangt das Material zum zweiten Magnetscheider sowie zu einer Waschtrommel.

In der Trommel wird das Brechgut 8/45 mm gewaschen und mittels Hydrosortierung von Fremdstoffen befreit. Das aus der Waschtrommel ausgetragene, gewaschene Korngemisch gelangt über eine Auslaufrutsche auf einen reversierbaren Gurtförderer. Das Material kann so alternativ zum Verteilertrichter oder zur Produktsiebanlage transportiert werden. Der Weg über das Verteilersilo wird gewählt, wenn die Fraktion 8/45 mm mit der Körnung 0/8 mm vereinigt und RCL Schotter 0/45 mm aus Beton oder Ziegeln hergestellt werden soll. Der alternative Weg führt zur Produktsiebanlage, einem Doppeldeckersieb. Hier erfolgt eine Klassierung in die Produktkörnungen 8/16, 16/32 und 32/45 mm. Diese Körnungen werden jeweils getrennt auf Halde (je ca. 300 m^3) gelagert.

Das aus der Waschtrommel im Gegenstrom abfließende Waschwasser trägt die aufgeschwemmten Leichtstoffe aus. Diese werden in einer Entwässerungsrinne von dem Wasser-Feinsand-Gemisch getrennt. Die Leichtstoffe werden in einen Container ausgetragen, während das Wasser-Sand-Gemisch nach der Zugabe von Flockungsmittel in einer Feinsandrückgewinnung getrennt wird. Zur Kreislaufführung wird das Waschwasser dann über Wassertanks mit einem Wasserdruck von 4 bar erneut der Trommel zugeleitet.

Die auf der Grundlage der Schwerkraftsedimentation arbeitende Feinsandrückgewinnungsmaschine ist für einen Suspensionsdurchsatz von 105 m^3/h und einen Feststoffaustrag von 15 m^3/h ausgestattet. Die Umwälzpumpe ist für eine Leistung von 90 m^3/h ausgelegt, wobei diese zur Zeit mit ca. 30 m^3/h betrieben wird.
Die Feinsande werden mit einem Kratzkettenförderer aus der Feinsandrückgewinnung ausgetragen und einem reversierbaren Gurtförderer übergeben, der die Sande entweder einem Container oder der Körnung 0/8 mm zuleitet.

Zur Minimierung von Stäuben und Lärm werden ausgewählte Materialübergabestellen wie z.B. am Prallbecher sowie an bestimmten Förderern entstaubt. Weitere Übergabestellen und Siebmaschinen sind mit Gummi ausgekleidet und verschiedene Trennflächen der Siebmaschinen mit Gummisiebböden bestückt. Die Gummiauskleidung an den Übergabestellen verringert gleichzeitig den Verschleiß.

Die Energieversorgung der Anlage wird von drei baugleichen, in Containern eingebauten Dieselelektro-Generatoren mit einer Leistung von 3 × 400 kVA gewährleistet. Zwei der Generatoren sind für den Normalbetrieb erforderlich. Die elektrischen Steuer- und Schalteinrichtungen sind ebenfalls in einem Container untergebracht.

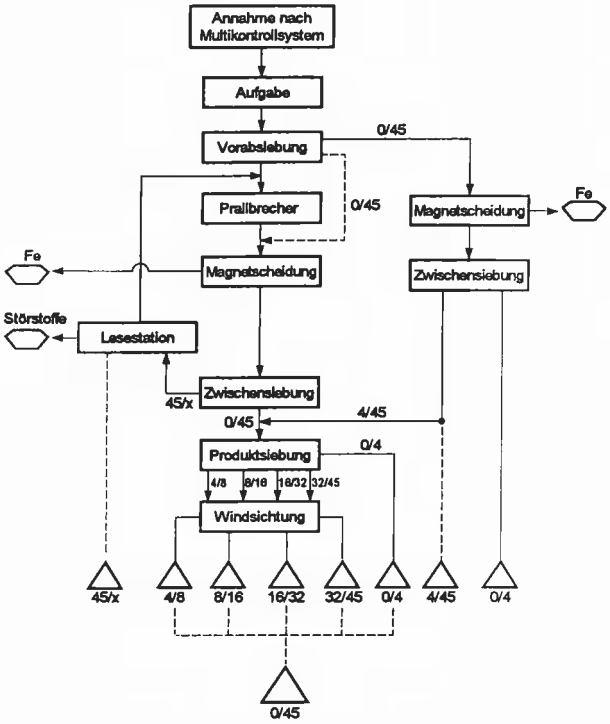
Dem Anlagenfahrer steht ein übersichtlicher, schallgedämpfter Leitstand mit einem Anlagenfließbild, einer Durchsatz- und Leistungsanzeige zur Verfügung. Er hat an seinem Bedienstand oberhalb des Backenbrechers die Möglichkeit, vom Plattenband bzw. der Vorsiebmaschine größere Fremdstoffe manuell auszulesen und in Container abzuwerfen.

Der Abtransport der verkaufsfähigen Recycling-Produkte erfolgt ausschließlich mit LKW. Vor Verlassen des Betriebes werden die Lastwagen auf einer Brückenwaage verwogen und registriert.

6.2.4.2 remex – Gesellschaft für Baustoffaufbereitung, Dresden

Bei der Aufbereitungsanlage der Fa. remex – Gesellschaft für Baustoffaufbereitung in Dresden handelt sich um eine stationäre Anlage. Zum Gesamtkomplex gehören eine Baustellenabfall-Sortieranlage und eine Baustoff-Recyclinganlage. In der Anlage werden Bauschutt, Baustellenabfälle, Straßenaufbruch und Bodenaushub verarbeitet.

Bild 6.20: Verfahrensfließbild der Baustoff-Aufbereitungsanlage der Fa. remex, Dresden [6.14]



Baustoff-Aufbereitungsanlage

Auf dem Gelände einer ehemaligen Chemischen und Fliesenfabrik in Niedersedlitz wurde nach einer Bauzeit von drei Monaten die Aufbereitungsanlage für Bauschutt im Januar 1994 in Betrieb genommen. In dieser Anlage wird Bauschutt und Straßenaufbruch getrennt nach den Einzelfraktionen gemischter Bauschutt, Ziegel und Beton aufbereitet.

Die Anlage mit der Kapazität von bis zu 250 Mg/h kann aufgrund der komplexen Steuerung von 4 Mitarbeitern betrieben werden. Die Annahme des Bauschutts erfolgt unter strenger Kontrolle nach dem Multikontrollsystem. Die Annahme von kontaminiertem Bauschutt wird ausgeschlossen. Zur Herstellung entsprechender Stoffgruppen wird das Inputlager getrennt nach Beton, Ziegelschutt und Straßenaufbruch betrieben. In Bild 6.20 ist das Verfahrensfließbild und in Bild 6.21 die Gesamtansicht der Recyclinganlage dargestellt.

Die Vorabsiebung der Körnung 45/x mm erfolgt mit einer Schwerlastsiebmaschine. Die Fraktion 0/45 mm gelangt zu einem Überbandmagnetscheider und anschließend zu einer Spannwellsiebmaschine. Das Feinkorn 0/4 mm wird aufgehaldet, während die Fraktion 4/45 mm der gebrochenen Körnung zugeschlagen wird. Das Überkorn 45/x gelangt zum Prallbrecher, der mit einer speziell großen Einlauföffnung von 1.200 × 1.200 mm ausgestattet ist. In dem Prallbrecher können bis 1.000 mm große Betonplatten zerkleinert werden.

Das gebrochene Material wird mittels Magnetscheider von Eisen befreit und zwischengesiebt. Das Überkorn 45/x wird vor der Rückführung zum Brecher oder der Aufhaldung in einer Lesestation von Hand auf Störstoffe sortiert. Die Körnung 0/45 mm wird der Produktsiebstation zugeführt. Hier erfolgt eine Trennung in die Korngrößenklassen 0/4, 4/8, 8/16, 16/32 und 32/45 mm. Während die Feinfraktion 0/4 mm direkt aufgehaldet wird, gelangen die anderen Körnungen zu einer Sichteranlage. Es handelt sich dabei um eine vierstufige Gegenstrom-Windsichter-Anlage zur Abtrennung von Leichtstoffen. Die gereinigten Körnungen werden getrennt aufgehaldet.

Es können folgende Kornfraktionen hergestellt werden: 0/45 mm Schotter, 0/5 mm Sand, 5/8 mm Splitt, 8/16 mm Splitt, 16/32 mm Schotter und 32/45 mm Schotter sowie Gemische aus diesen. Dabei wird unterschieden in die Materialarten Beton, Ziegel und Straßenaufbruch.

Sortieranlage für Baustellenabfälle

Die seit Ende Juli betriebene Sortieranlage ist die Ergänzung zur Recyclinganlage, da die Baustellenabfälle in der Sortieranlage getrennt und die dabei anfallenden mineralischen Baustoffe direkt der Recyclinganlage zugeführt werden können.

Die Baustellenabfälle werden in einer 30 × 60 × 12 m großen Halle angenommen und mittels Bagger vorsortiert (Bild 6.22 und 6.23). Um die Handsortierung zu minimieren wird durch spezielle Siebtechnik (Rollenrost, Spannwellensiebmaschine) der Feinanteil bis ca. 100 mm abgesiebt und in Windsichtern (ohne Abluftanfall) von Leichtstoffen getrennt.

Die Handsortierung erfolgt in einer zwangsbelüfteten Sortierkabine mit gerichteter Luftströmung. Dort werden alle Fremdbestandteile ausgelesen und separat über Schleusen in Container geworfen. In der Sortierstation können bis zu zwölf Sortierarbeitsplätze besetzt werden. Die Abscheidung von Eisen erfolgt mit Überbandmagneten.

Zur Vermeidung und Verringerung von Staub- und Lärmemissionen wurden insbesondere folgende Maßnahmen realisiert:

- bepflanzter Lärmschutzwall (durchschnittlich 9 m hoch);
- Einhausung der lärmerzeugenden Anlagen;

Bild 6.21: Gesamtansicht der Baustoff-Recyclinganlage der Fa. remex Dresden [6.14]

- Staubunterdrückung der Staubquellen (Brecher und Förderer);
- Abdeckung der Förderbänder, die Schüttgüter mit Fein-Anteilen transportieren;
- Asphaltierung der Lager und Fahrstrecken;
- Einbau einer Reifenwaschanlage;
- Minimierung des Staubaustrags aus Windsichtung auf 20 mg/Nm^3 und Reduzierung des Abluftanteils durch völligen oder teilweisen Umluftbetrieb der Sichter;
- Rückgewinnung und Verwendung von Oberflächenwasser;
- Einleitung von Dachentwässerung ins Grundwasser;
- Neubau einer Zufahrtsbrücke ins Betriebsgelände.

Beide Anlagen befinden sich unmittelbar nebeneinander, so daß die Stoffströme im Inputbereich aber auch in der Entsorgung bzw. Weiterverarbeitung durch einen minimalen Transportaufwand gehandhabt werden können, und der Straßenverkehr nicht zusätzlich belastet wird.

6.3 Verfahren zur Aufbereitung von Baustellenabfällen

Ziel der Aufbereitung von Baustellenabfällen ist vornehmlich die Sortierung der verwertbaren und nicht verwertbaren Fraktionen. Dabei wird der Stoffstrom in

Bild 6.22: Verfahrensfließbild der Baustellenabfall-Sortieranlage der Fa. remex, Dresden [6.14]

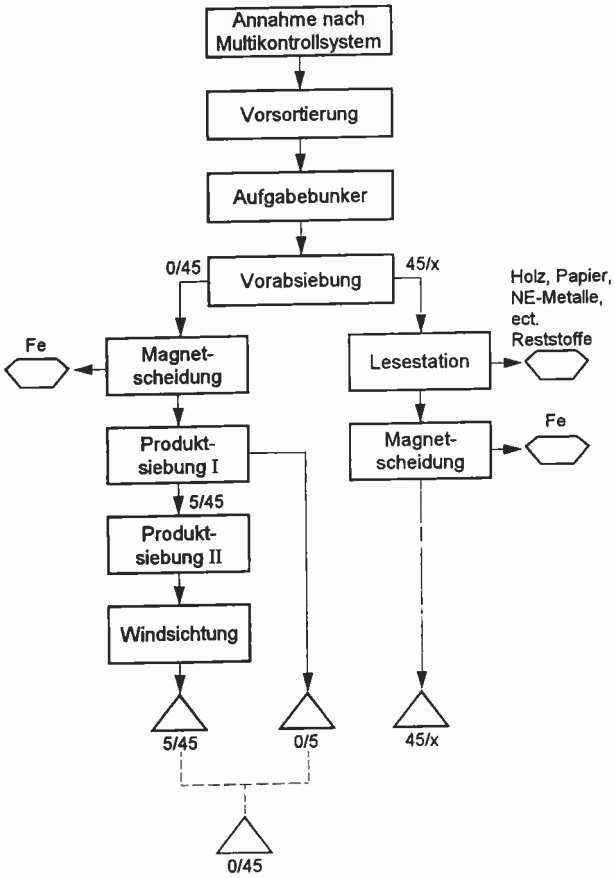


Bild 6.23: Gesamtansicht der Sortieranlage für Baustellenabfälle der Fa. remex, Dresden [6.14]

Wertstofffraktionen, mineralische Fraktionen, nicht verwertbare Reststoffe bzw. Sonderabfälle getrennt. Die aussortierten Wertstoffe wie unbehandeltes Holz, Pappen, Kunststoffe sowie die groben mineralischen Fraktionen werden weiteren Sortier- bzw. Baustoff-Recyclinganlagen zugeführt.

Da die Baustellenabfälle entgegen den Forderungen der Zielfestlegungen der Bundesregierung und der Baurestabfallverordnung relevante Inertstoffanteile beinhalten, ist die Klassierung in eine Leicht- und Schwerfraktion Grundvoraussetzung für die weitergehende Sortierung. Die angewandten Sortierverfahren nutzen hierbei die unterschiedlichen Dichten, das Rollverhalten sowie die magnetischen Eigenschaften der zu trennenden Materialien. Zur Gewinnung sortenreiner Wertstoffe wie Pappen, Papier, Kunststoffe und Holz sind derzeit nur manuelle Verfahren geeignet. Zur Sortierung von Baustellenabfällen werden unterschiedlichste Verfahren und spezielle Aggregate angeboten. Im folgenden werden einige Systeme beispielhaft dargestellt:

6.3.1 Einsatz von Siebtrommeln

Bei rotierenden Trommelsieben ist der Siebbelag auf einem entsprechenden Gestell als Mantelfläche eines Zylinders mit schwach geneigter Achse angeordnet. Das Aufgabegut wird an der oberen Stirnseite in die rotierende Trommel eingeführt. Das Feingut tritt durch den Siebbelag in darunter liegende Container oder auf Förderbänder aus. Das Grobgut wird von der Trommelkante an der unteren Stirnseite abgeworfen [6.9].

Die für die Sortierung von Baustellenabfällen eingesetzen Siebtrommeln verfügen über Einbauten zum Fördern, Umwälzen und Sieben des Aufgabegutes. Durch unterschiedlich gestaltete Mitnehmer werden schwere Teile intensiv umgewälzt und leichtere (Papier, Kunststoff) aus dem Materialbett herausgehoben (Bild 6.24). Der Siebwirkungsgrad kann durch Änderung des Neigungswinkels beeinflußt werden. Am Trommelanfang können Siebroste mit unterschiedlichen Lochungen installiert werden. Im Regelfall ist die Siebtrommel mit innen- und außenliegenden Reinigungsbürsten versehen. Zur Reduzierung von Lärm-

Bild 6.24: Blick in eine Siebtrommel

und Staubemissionen ist die gesamte Trommel gekapselt. Als nachteilig muß daher der erschwerte bzw. aufwendige Zugang in das Trommelinnere bei Wartungs- und Reparaturarbeiten angesehen werden.

Eine mögliche Einbindung einer Siebtrommel in eine Sortierstrecke für Baustellenabfälle wurde in Berlin-Reinickendorf umgesetzt (Bild 6.25). Die Funktion der Trommel besteht in der Absiebung von Feinfraktionen, die je nach Inputzusammensetzung größtenteils inert sind. Der Überlauf der Siebmaschine gelangt auf das Handsortierband zur Wert- und Störstoffentnahme. Nach einer Magnetscheidung wird das Gut (größtenteils grobe inerte Bauschuttfraktion) von der Leichtfraktion (Papierfetzen, Kunststoffteile) mittels Windsichtung getrennt [6.24].

Der grobe Bauschutt und die inerten Fraktionen der Siebschnitte werden je nach Qualität entweder einer Baustoff-Aufbereitungsanlage oder einer Entsorgung zugeführt.

Die aussortierten Wertstoffe (Papier, Kartonagen, Kunststoffe) werden zu Ballen verpreßt. Die Reststoffe aus der Handsortierstation und die Leichtstoffe des Windsichters werden verpreßt und entsorgt.

6.3.2 Einsatz eines GK-Sortierers

Der GK-Sortierer ist als geschlossene Schwingrinne aufgebaut, die über eine Exzenterwelle angetrieben wird. Ein Gegenschwingrahmen eliminiert die dynamischen Kräfte. Der Sortierer ist mit zwei Ebenen mit anschließender Lufttrennung ausgestattet. Im GK-Sortierer sind kaskadenartig angeordnete Fingerleisten zur Auftrennung der Grobfraktion (15/150 mm) integriert. Das Material wird durch die Vibrationen vorwärtsbewegt, wobei eine Trennung in Leichtes und Schweres erfolgt. Dadurch wird die nachfolgende Windsichtung unterstützt.

Die erste Windsichtung, bei der die Luft senkrecht durch den Materialteppich geleitet wird (A), wirbelt das leichte Material auf (Bild 6.26). Unmittelbar da-

Bild 6.25: Verfahrensfließbild der Baustellenabfall-Sortieranlage der Fa. ALBA, Berlin [6.24]

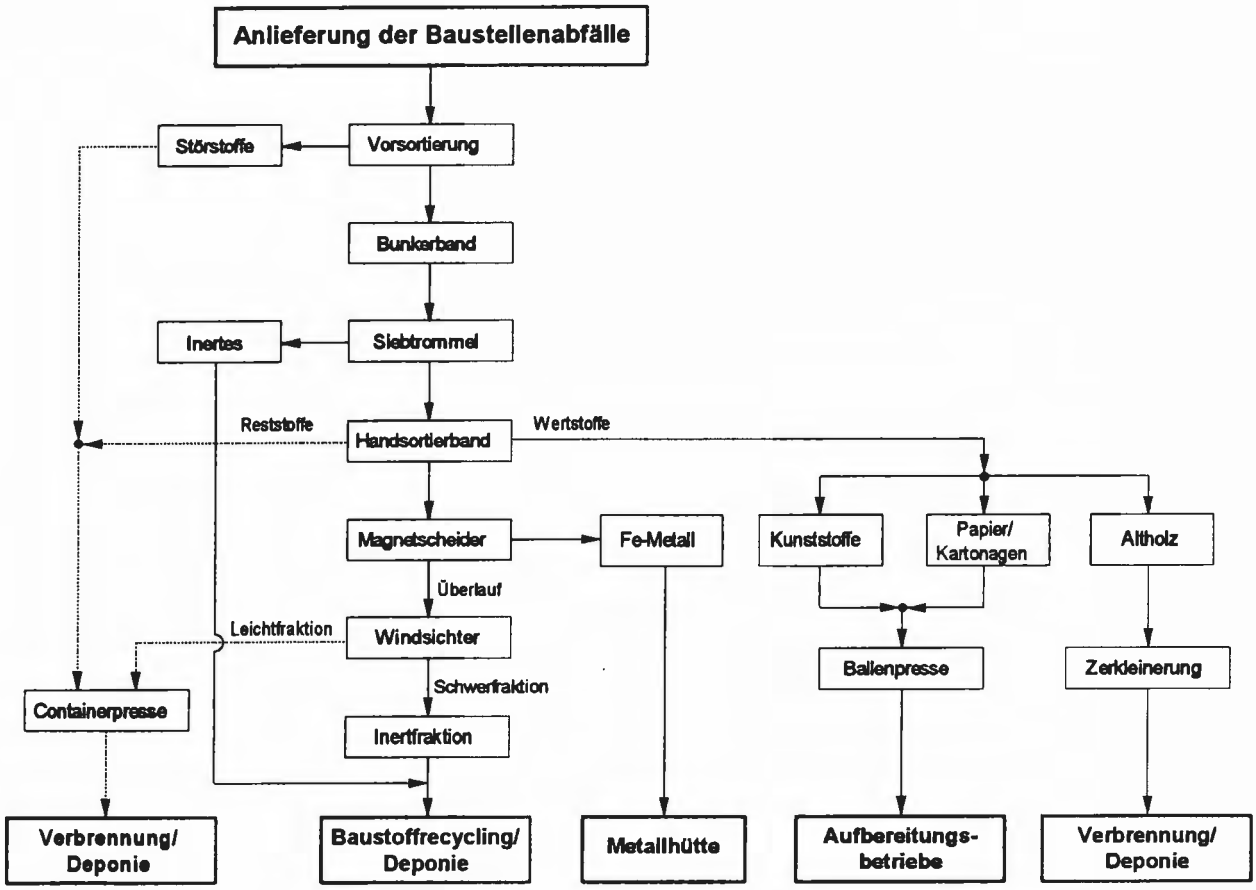
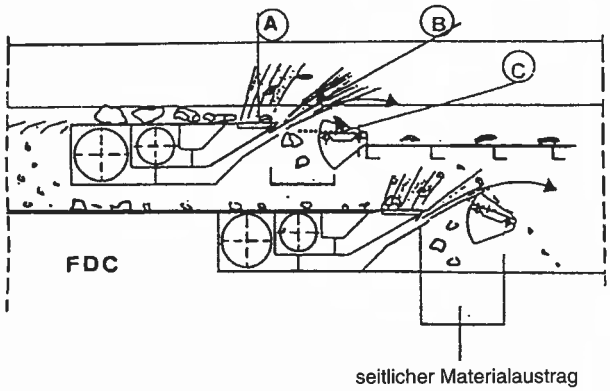


Bild 6.26: Prinzip der Windsichtung beim GK-Sortierer [6.15]

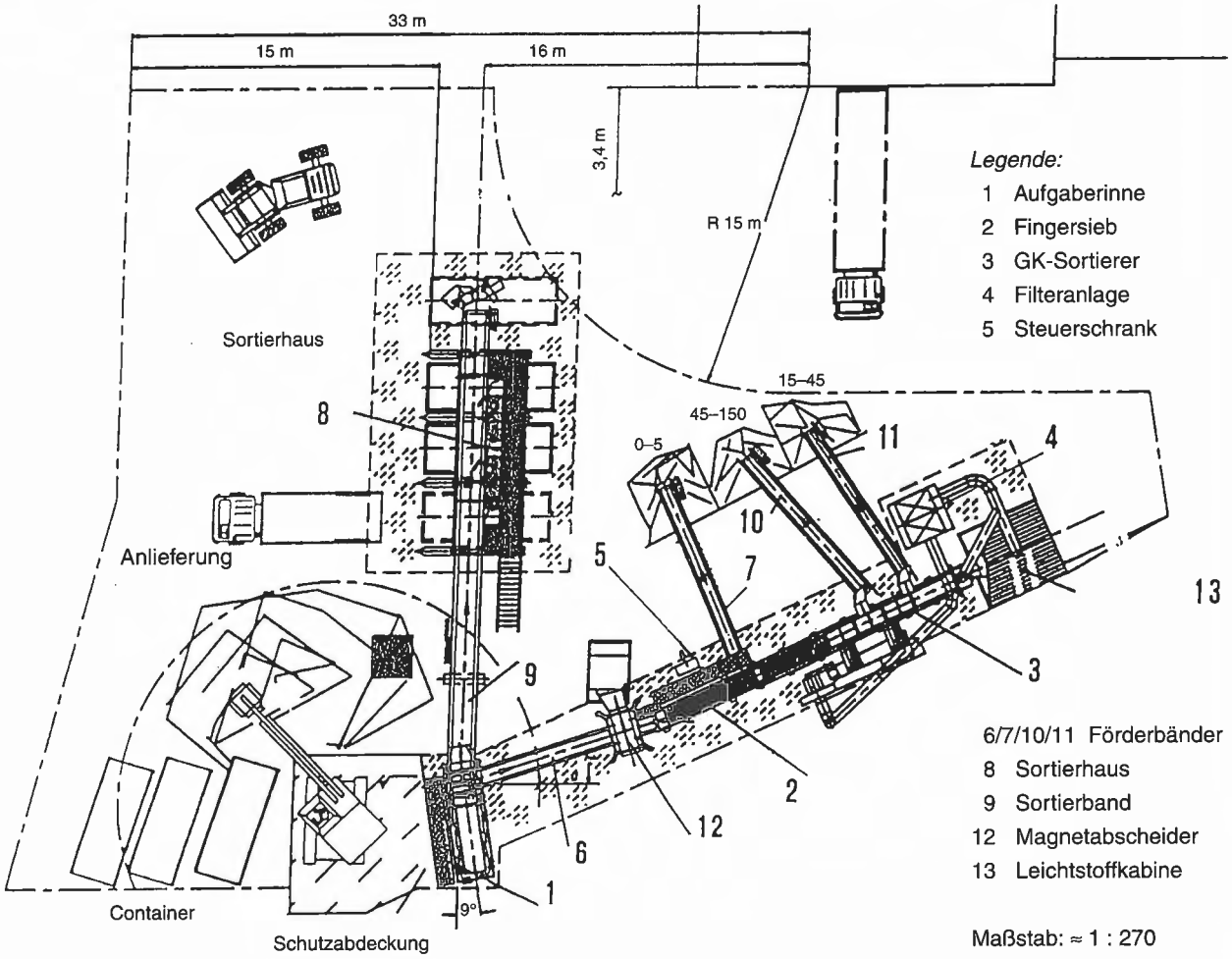


nach wird das aufgewirbelte Material vom zweiten, in Förderrichtung geneigten zweiten Luftstrom (B) erfaßt und vorwärts über die Öffnung für Schwerstoffe geblasen. Schwere Teile, die nicht vom Luftstrom erfaßt werden, fallen durch die Öffnung auf das untere Deck. Nicht eindeutig trennbares Material fällt auf eine einstellbare Klappe (C) und wird durch Vibration getrennt. Auf dem unteren Deck erfolgt der gleiche Prozeß, jedoch mit geringerem Luftdruck, da hier das Feinkorn 15/45 mm sortiert wird.

In der Sortieranlage werden die angelieferten Baustellenabfälle von einen Greifbagger vorsortiert und auf eine Vibrorinne gegeben. Durch die vibrierende Vorwärtsbewegung wird das Material auseinandergezogen und lose über einen Vorabscheider geführt. Der Vorabscheider trennt das Material in das Grobkorn für die manuelle Sortierung (> 150 mm) und eine Körnung 0/150 mm für die automatische Sortierung. Ein Aufstellungsplan ist beispielhaft in Bild 6.27 dargestellt [6.15].

Die Grobfraktion wird in der Sortierstation manuell nach Metallen, Holz, Papier, Kartonagen und Reststoffen sortiert. Der Siebdurchlauf des Vorabscheiders wird nach Passieren eines Überbandmagnetscheiders zum GK-Vibro-Fingersieb gefördert. Das Fingersieb besteht aus kaskadenartig angeordneten Fingerleisten mit konisch ausgebildeten Fingern. Durch Vibration wird das Material vorwärts bewegt. Die Feinkornfraktion 0/15 mm wird abgeschieden, während das Überkorn 15/150 mm dem GK-Sortierer zugeführt wird. Hier erfolgt eine Trennung zwischen schweren und leichten sowie brennbaren und nicht brennbaren Teilen.

Bild 6.27: Verfahrensbeispiel einer Baustellenabfall-Sortieranlage nach dem System Fa. FDC [6.15]



Der Materialstrom wird auf einem oberen Deck in die Körnung 45/150 mm und auf einem unteren Deck in die Körnung 15/45 mm aufgeteilt. Da das Material durch die Vibrationen „vorwärts fließt", erfolgt gleichzeitig eine Trennung in eine leichte, aufschwimmende und eine schwere, sich absetzende Fraktion. Diese führt zu einer Unterstützung der nachfolgenden Windsichtung. Die schweren Teile werden seitlich aus der Maschine weggeführt. Die Leichtstoffe setzen sich im hinteren Teil ab und werden zum Ende des Aggregats gefördert.

6.3.3 Einsatz eines Vibro-Windsichters

Der Vibro-Windsichter besteht aus zwei kaskadenförmig angeordneten profilierten Schwingrinnen mit senkrechter Luftausblasung und zusätzlicher Düse im Nasenprofil. Die Schwingrinnen sind auf einer schwingfesten Stahlkonstruktion mit unterhalb des Förderbodens liegenden Unwuchtantrieben montiert. Der Vibro-Windsichter (Bild 6.28) trennt den Stoffstrom in schwere (Inertes) und leichte Bestandteile (Holz, Plastik, Folien, Isoliermaterial, Papier etc.).

Der Materialfluß erfolgt durch kaskadenartig untereinander angeordnete Schwingförderrinnen. Die obere Schwingrinne enthält ein Kunststoffsiebdeck, das aus dem Sortiergut die Fraktion < 50 mm für die untere Rinne abteilt. Die Ausführung dieser internen Siebstrecke soll ein Zusetzen der Sieblochung bzw. ein Verkleben mit bindigem Material verhindern.

Durch die Vibrationsförderung ergibt sich ein „Aufschwimmeffekt" der leichten Bestandteile und ein Absinken der schweren Teile. Unterstützt wird diese Schichtung durch die senkrecht zur Förderrichtung aus dem Rinnenboden ausgeblasene Luft.

Beide Schwingrinnen enden mit einer Luftdüse jeweils vor einem Schwergutschacht. Die schweren, inerten Bestandteile fallen durch den schräg von unten blasenden Luftstrom der Sichterdüsen in den Schwergutschacht mit anschließender Austragsschurre. Die mit hoher Geschwindigkeit austretenden Luftströme erfassen die Leichtstoffe und blasen diese über die Schwergutschächte auf die mit verstellbaren Schwingen versehenen Endstücke der Vibrorinnen. Von dort werden die Leichtstoffe auf das Austragsförderband gegeben. Das Förderband dient mit der großräumigen Kapselung als Beruhigungsstrecke für die Luft.

Die Baustellenabfall-Sortieranlage in Gotha ist für eine Leistung von ca. 50.000 bis 60.000 Mg/a ausgelegt. In der Anlage der Gotha Recycling GmbH sind 28 Mitarbeiter beschäftigt (Bild 6.29). Das vom Greifbagger vorsortierte Material wird in einen Aufgabebunker mit 1.800 mm Höhe aufgegeben. Ein Steigband sorgt für einen dosierten Materialtransport zu einem anschließenden Vibro-Stabrost. Der 3-stufige Vibro-Stabrost entzerrt das Material und trennt dieses in die Korngrößen 0/10 mm Feinkorn, das aufgehaldet wird sowie die Korngrößen 10/150 mm und > 150 mm [6.17].

Die Körnung 10/150 mm wird nach dem Passieren einer Magnetscheidung dem speziell entwickelten Vibro-Windsichter zugeführt. Die Fraktion > 150 mm gelangt direkt in eine Handsortierstation. Diese Station verfügt zusätzlich über ein Kontroll- und Nachleseband für die Fraktion 10/150 mm aus dem Vibro-Windsichter. Die Leichtstoffe werden anschließend in einen Container ausgetragen. Am Austragsband für die Schwerstoffe ist ein Nachsortierarbeitsplatz für nicht inerte Stoffe (Metalle, Holz etc.) vorgesehen.

6.3.4 Einsatz eines Bechersiebes

Ein Bechersieb ist eine nach oben offene Siebtrommel, die im Bereich der wirksamen Siebfläche in Form einer Welle ausgebildet ist. Das abzutrennende Feingut fällt in rechteckige Kassetten und wird am höchsten Punkt der Maschine über eine Rutsche ausgetragen. Das Grobgut rutscht in Neigungsrichtung des

Bild 6.28: Prinzip der Materialtrennung beim Vibro-Windsichter [6.16]

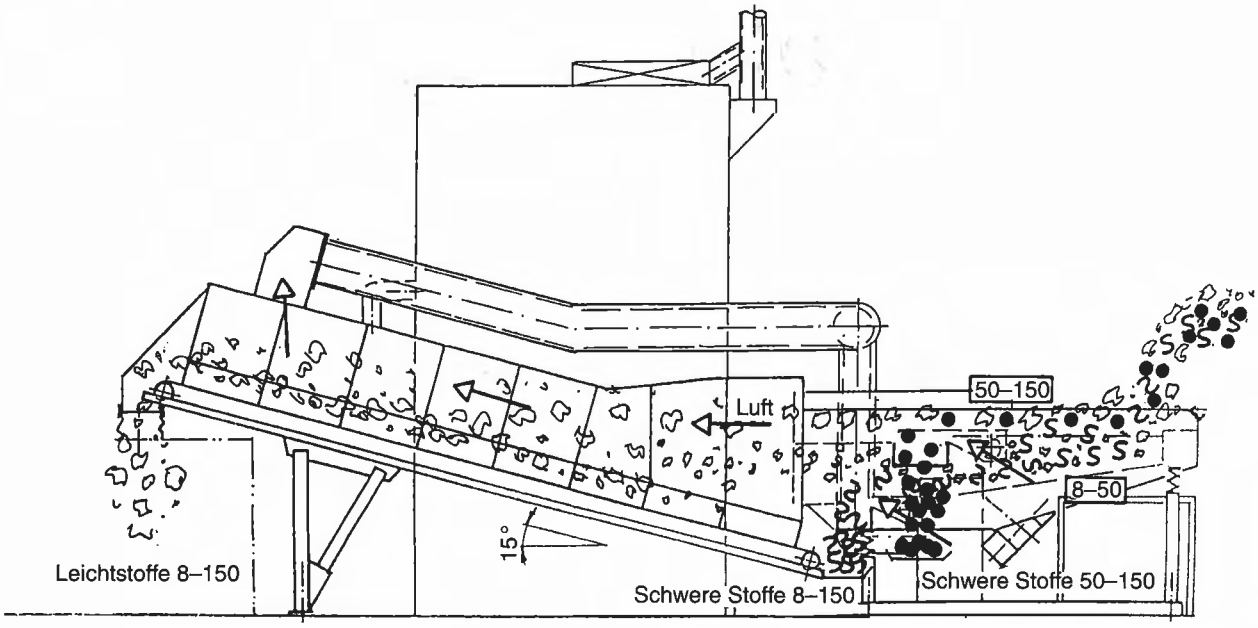
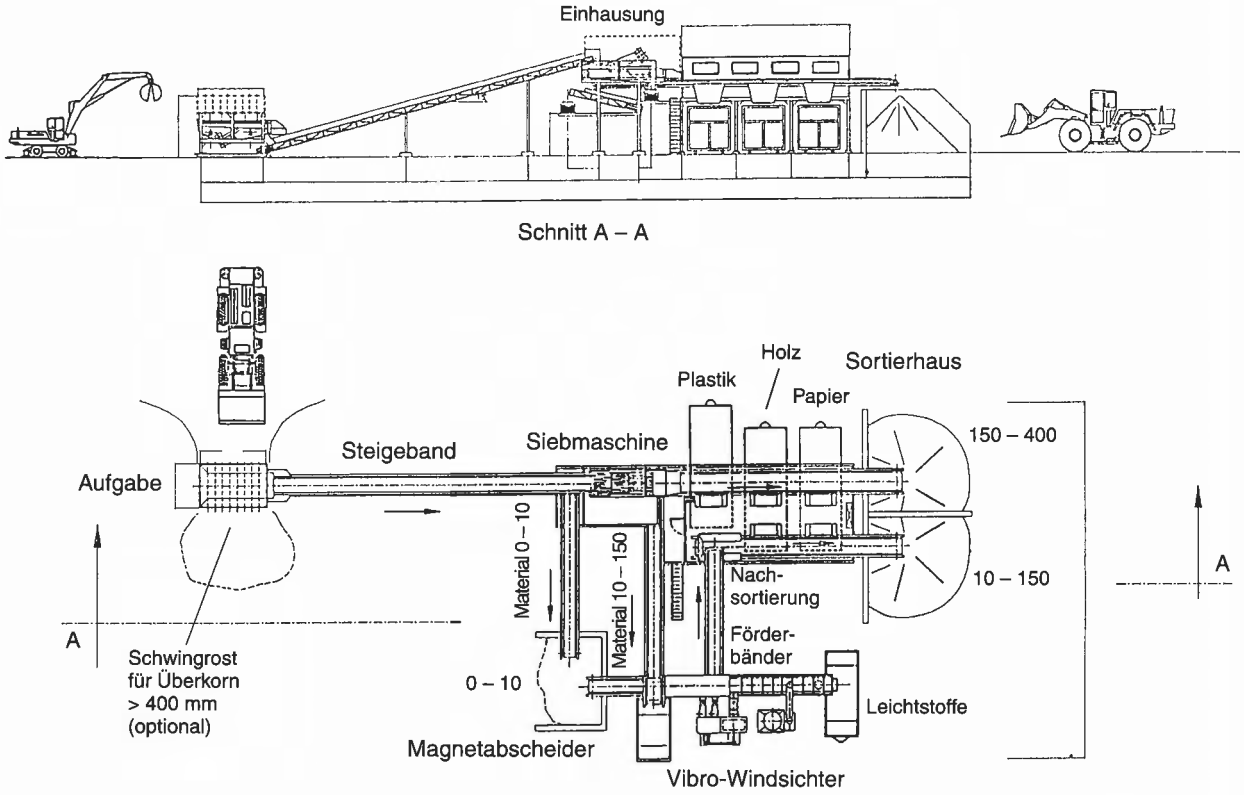


Bild 6.29: Aufstellungsplan der Baustellenabfall-Sortieranlage System Fa. KAMA in Gotha [6.17]



Aggregats und wird dabei teilweise seitlich mit den Stahlgliedern nach oben auf dem Wellenrücken gefördert. Aufgrund der Schwerkraft rutscht das Grobgut wieder in das Wellental und wird über eine Schurre ausgetragen. In Bild 6.30 ist ein Bechersieb für die Sortierung von Gewerbemüll dargestellt.

In der Sortieranlage der Fa. Meyer in Birr (CH) erfolgt eine Aufbereitung von Bauschutt, Baustellenabfällen und Gewerbemüll. Mit einem Hydraulikbagger wird das Materialgemisch dosiert auf einen Bunkerförderer aufgegeben und gleichzeitig Störstoffe vorsortiert. Der Bunkerförderer transportiert das Gut zum Bechersieb. Die Durchsatzleistung der Anlage wird durch die stufenlos wählbare Transportgeschwindigkeit des Bunkerförderers bestimmt. In Bild 6.31 ist das Maschinenfließbild der Baustellenabfall-Sortieranlage dargestellt [6.19].

Im Bechersieb erfolgt eine Trennung des Materialgemisches in die zwei Fraktionen Feingut < 400 mm und Grobgut > 400 mm. Das Grobgut gelangt über den Auslauf des Bechersiebes zur Sortierstation. In der Sortierkabine erfolgt eine manuelle Positivsortierung der Wertstoffe. Die Reststoffe werden in einen Container ausgetragen.

Das Feingut wird in zwei hintereinander angeordneten Siebmaschinen in die Fraktionen < 10 mm, 10/35 mm, 10/40 mm und 40/60 mm aufgeteilt. Während das Feinkorn < 10 mm ausgetragen wird, gelangen die anderen Fraktionen in eine dreistufige Sichteranlage. Die gereinigte mineralische Fraktion wird als Endprodukt ausgetragen. Der Siebüberlauf 60/400 mm wird auf eine Schrägsortiermaschine gegeben. Die Schrägsortiermaschine trennt die flächigen, leichten Materialien, unterstützt durch eine Luftströmung, von den rollenden, schweren Bestandteilen. Die durch einen Überbandmagnetscheider von Eisen befreite, rollende, schwere Fraktion wird einem Prallbrecher zugeführt. Das zerkleinerte Material gelangt zurück zur ersten Siebmaschine und durchläuft erneut die einzelnen Behandlungsstufen. Die leichten, flächigen Bestandteile gelangen in die Reststofffraktion.

Bild 6.30: Bechersieb in einer Sortieranlage für Gewerbemüll, System Fa. Bezner, Ravensburg [6.19]

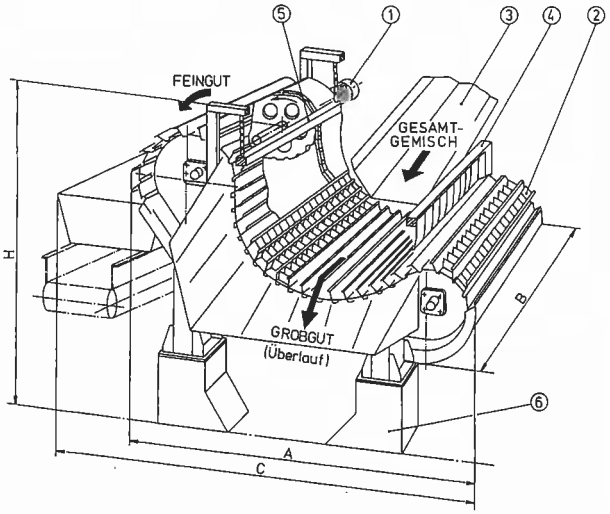
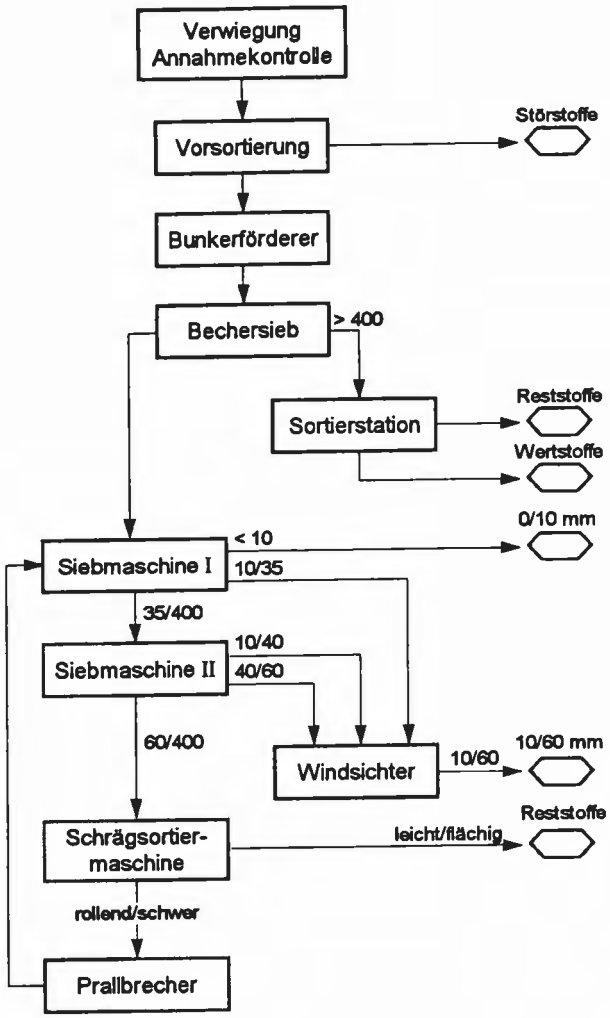


Bild 6.31: Maschinenfließbild der Sortieranlage Fa. Meyer, Birr [6.19]

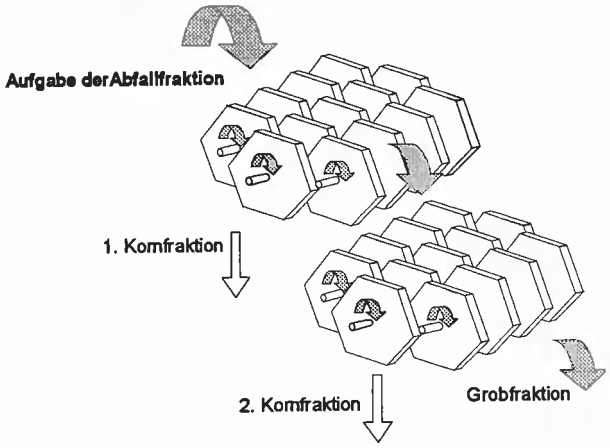


6.3.5 *Einsatz eines Disk-Scheiders*

Ein Diskscheider ist ein Kaskaden-Klassiergerät, bestehend aus einem Klassierrost mit mehreren stufenförmig angeordneten Teilsiebböden, die aus einer Vielzahl von zueinander abstandsgleichen und parallel verlaufenden Wellen mit sechseckigen Förderscheiben zusammengesetzt sind (Bild 6.32). Diese Förderscheiben greifen jeweils in die Lücke von zwei benachbarten Scheibenkörpern. Die gegenseitigen Abstände bestimmen die Größe der Sieböffnungen eines jeden Teilsiebbodens [6.18].

Die vorsortierten Baustellenabfälle werden über einen Aufgabeförderer dem ersten Teilsiebboden zugeführt und beim Siebvorgang durch die Anordnung der Förderscheiben auf den Wellen sowie durch eine in Förderrichtung eines jeden Teilsiebbodens ansteigende Drehzahl der Wellen beschleunigt und auseinandergezogen. Die abgerundeten Wellen zwischen den Förderscheiben und den gewölbten Eckenbereichen verhindern ein Festhaken des Gutes. Das Überkorn wird anschließend einer Handsortierstation und Zerkleinerung zugeführt, während die abgesiebten Teilfraktionen aufgehaldet werden. Bild 6.33 zeigt einen Blick in einen Disk-Scheider.

Bild 6.32: Schematische Darstellung eines Diskscheiders System Fa. GAZ [6.3]



6.3.6 *Aktuelles Beispiel für eine Kombinationsanlage zur Aufbereitung von Bauschutt und Baustellenabfällen*

Der Anlagenkomplex der Fa. remex-Recycling-Park Stuttgart GmbH & Co KG besteht aus vier verschiedenen Sortier- und Aufbereitungsanlagen und wird in einem alten Travertin-Steinbruch in Stuttgart betrieben. Für die Anlagenteile werden die unter Denkmalschutz stehenden Verarbeitungs- und Verladegebäude des Travertin-Werkes benutzt.

Der Standort ist als Industriegebiet in Stuttgart - Bad

Bild 6.33: Blick in einen Disk-Scheider System Fa. GAZ

Cannstatt ausgewiesen. Das Grundstück verfügt über einen eigenen, funktionsfähigen Gleisanschluß. Aufgrund von Verträgen mit der Stadt Stuttgart dürfen in den Anlagen lediglich Wertstoffe bzw. gebrauchte Baustoffe aus dem Stadtgebiet Stuttgart aufbereitet werden.

Der Aufbereitungsstandort verfügt über folgende Sortier- und Aufbereitungsanlagen:

- Sortieranlage für DSD-Wertstoff aus Haushaltungen;
- Sortieranlage für Wertstoffe aus dem Gewerbeabfall;
- Sortier- und Aufbereitungsanlage für Baustellenabfälle und Bauschutt;
- Aufbereitungsanlage für vorsortierten Bauschutt und Straßenaufbruch.

Sortier- und Aufbereitungsanlage für Baustellenabfälle und gemischten Bauschutt;

Die Baustellenabfälle werden in der ehemaligen Verladehalle des Travertin-Werkes abgekippt und von einem Greifbagger vorsortiert. Die Baustellenabfälle und der Bauschutt werden über einen Aufgabetrichter und Gurtförderer einem Diskscheider zugeführt. Hier erfolgt eine Trennung in den Siebdurchgang 0/8 mm, der aufgehaldet wird, eine Zwischenkörnung 8/32 mm und einen Siebüberlauf, der getrennt in die Sortierstation gelangt. Im Mai 1993 wurde zur weiteren Korngrößenklassierung ein Vibrationssieb installiert. In Bild 6.34 ist das Verfahrensfließbild der Baustoff-Aufbereitungsanlagen dargestellt.

In der Sortierstation werden die Baustellenabfälle und der Bauschutt manuell in die Fraktionen Schrott mit Anhaftungen, Gips, Holz, Asphalt und sonstige Reststoffe sortiert. Die mineralischen Fraktionen werden außerhalb der Sortierbühne einem Prallbrecher zugeführt. Dem Brecher ist ein Überbandmagnetscheider nachgeschaltet. Anschließend gelangt das Material zu einem Vibrationssieb zur Trennung in die Korngrößenklasse 0/8, 8/32 und > 32 mm. Das Überkorn wird mittels Gurtförderer zurück in die Sortierstation geführt und erneut manuell von Verunreinigungen befreit. Außerhalb der Sortierbühne wird die Fraktion > 32 mm mit der mineralischen Fraktion vereinigt und erneut dem Prallbrecher aufgegeben (Bild 6.35).

Die Korngrößenklasse 8/32 mm wird in einem Windsichter im freien Fall von Anhaftungen und Verunreinigungen gereinigt und zusammen mit der Fraktion 0/8 mm aufgehaldet. Es besteht auch die Möglichkeit, die Fraktion 8/32 mm getrennt aufzuhalden.

Der Durchsatz der Sortier- und Aufbereitungsanlage liegt bei ca. 120 bis 150 Mg/h bei einem täglichen Betrieb von ca. 11 Stunden. Dies ergibt einen Jahresdurchsatz von ca. 300.000 bis 350.000 Mg/a. Die Anlage wurde am 1. Oktober 1992 in Betrieb genommen. Das Tragschichtmaterial 0/32 mm entspricht den Anforderungen der Ral RG 501/1 der Bauklasse 1.

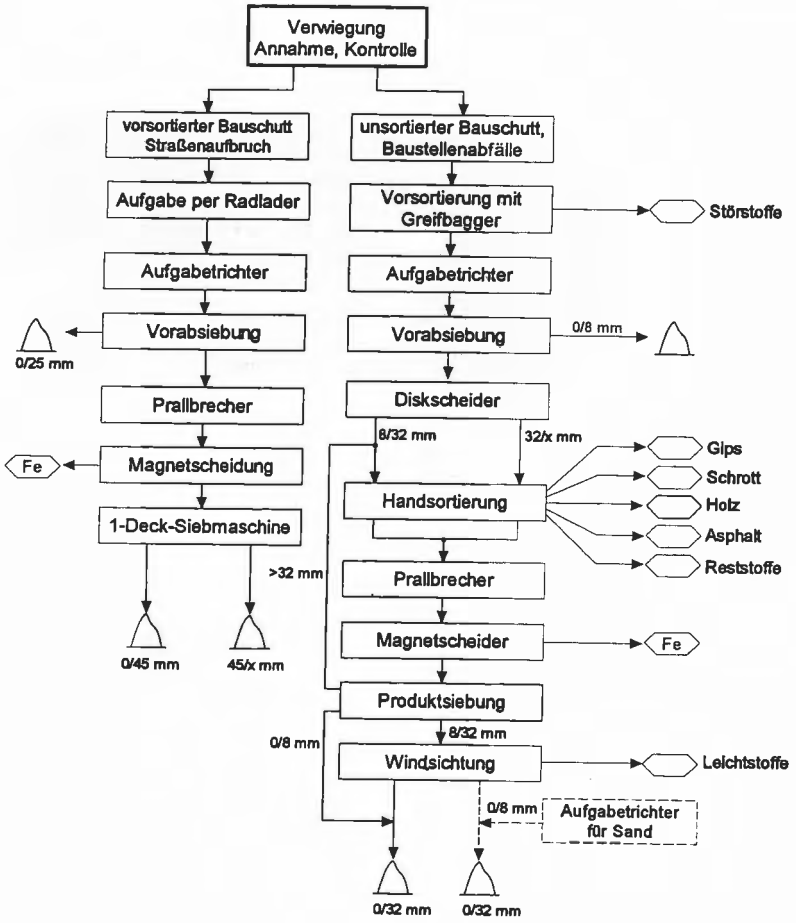


Bild 6.34: Verfahrensfließbild der Sortier- und Aufbereitungsanlage für Baustellenabfälle, Bauschutt und Straßenaufbruch der Fa. remex, Stuttgart

Bild 6.35: Ansicht der Sortier- und Aufbereitungsanlage für Baustellenabfälle, Bauschutt und Straßenaufbruch der Fa. remex, Stuttgart

Aufbereitungsanlage für vorsortierten Bauschutt und Straßenaufbruch

Bei der Aufbereitungsanlage für vorsortierten, nicht verunreinigten Bauschutt und Straßenaufbruch handelt es sich um eine ältere, einstufige Brecheranlage, bestehend aus Aufgabetrichter mit Vorabsiebung (0/25 mm), Prallbrecher, Magnetscheidung, Korngrössenklassierung mittels Vibrationssieb (0/45, > 45 mm) und eine getrennte Aufhaldung. Es erfolgt keine manuelle Sortierung von Verunreinigungen bzw. keine maschinelle Sortierung. Die Fraktion 0/45 mm ist als ungebundene Tragschicht im Wegebau einsetzbar.

6.4 Literatur

[6.1] *Bandmann, M.:* Arbeitsschutz bei Sanierung und Baustoff-Recycling. 4. Internationales Baustoff-Recycling-Forum Mai 1993, Mayrhofen

[6.2] *Engelmann, R.; Poppy, W.:* Verschleißminderung an Brechern im Baustoff-Recycling. Baustoffrecycling + Deponietechnik 3 (1993) S. 13–16, Stein-Verlag Baden-Baden

[6.3] *Gewiese, A.; Gladitz-Funk, I.; Schenk, B.:* Recycling von Baureststoffen. Kontakt & Studium, Bd. 390, INTECUS, TAE, expert Verlag 1994

[6.4] *Hagelauer, W.-D-; Wolff, G.:* Technische Verwertung von Bodenaushub. Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) Luft, Boden, Abfall, Heft 24 (1994)

[6.5] *Hanisch, J.; Jäckel, H.G.; Eibs, M.:* Zu aufbereitungstechnischen Aspekten des Baustoffrecyclings. Aufbereitungs-Technik 1 (1991), Verlag für Aufbereitung, Wiesbaden

[6.6] *Höcker, R.:* Interview. Baustoff-Recycling (1), 1986, Stein-Verlag, Baden-Baden

[6.7] *Huwald, E.:* Die Lösung von Verschleißproblemen bei der Prallmahlung harter Stoffe, Aufbereitungs-Technik 10 (1988) Verlag für Aufbereitung, Wiesbaden

[6.8] *Jungmann, A.; Neumann, Th.:* alljig-Setzmaschinen zur Abtrennung schädlicher Bestandteile aus Kies, Sand und Recycling-Material. Aufbereitungs-Technik 1 (1991), S. 18–25, Verlag für Aufbereitung, Wiesbaden

[6.9] *Kellerwessel, H.:* Aufbereitung disperser Feststoffe: mineralische Rohstoffe, Sekundärrohstoffe, Abfälle. VDI-Verlag 1991, Düsseldorf

[6.10] *Maurer, H.:* Der Schlagwalzenbrecher – Die Vorbrecheralternative im Steinbruch und im Großtagebau, Aufbereitungs-Technik 1 (1989), Verlag für Aufbereitung, Wiesbaden

[6.11] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. IBAG M+F, Neustadt/Weinstraße

[6.12] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. GfA Gesellschaft für Aufbereitungsmaschinen mbH + Co.KG, Ketsch

[6.13] *N. N.:* Firmendruckschrift Fa. Kronenberger Recycling-Technik GmbH, Perl-Butzbach

[6.14] *N. N.:* Firmeninformation der Fa. remex -Gesellschaft für Baustoffaufbereitung Dresden mbH, Baustoffaufbereitungszentrum Dresden-Ost

[6.15] *N. N.:* Firmendruckschrift FDC Engineering AG, Hinwil, Schweiz

[6.16] *N. N.:* Firmendruckschrift KAMA Entsorgung + Recycling GmbH, Senden

[6.17] *N. N.:* Über Eckernförde, Grafing und Senden nach Gotha. Baustoffrecycling + Deponietechnik 5 (1994) S. 12-14, Stein-Verlag Baden-Baden

[6.18] *N. N.:* Diskscheider, ein neues Kaskaden-Klassiergerät für siebschwierige Güter, Aufbereitungs-Technik 12 (1990) Verlag für Aufbereitung, Wiesbaden

[6.19] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. Bezner Maschinenfabrik GmbH & Co. Kg, Ravensburg

[6.20] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. SBM Wageneder GmbH, Laakirchen

[6.21] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. Böhringer GmbH Maschinenfabrik, Oedheim

[6.22] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. INSTA-Recycling-Systeme GmbH, Brandenburg

[6.23] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. Westfalia Becorit Industrietechnik GmbH, Lünen

[6.24] *Rickert, H.:* Betriebserfahrungen mit einer Sortieranlage für Baustellenabfälle. INTECUS (Hrsg.) Recycling von Baureststoffen, Seminar der Technischen Akademie Esslingen, Januar 1994

[6.25] *Sander, H.:* Eröffnungsrede zur 2. Regionaltagung Berlin/Brandenburg des Verbandes Deutscher Baustoff-Recycling-Unternehmen e. V., Juli 1994, Berlin

[6.26] *Schubert, H.:* Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Band 1, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975

7. Erfassung, Bewertung und Behandlung von Altstandorten und kontaminierten Bauwerken

Bis Mitte 1992 sind in der Bundesrepublik 135.000 Altlastenverdachtsflächen erfaßt worden, davon 55.000 in den neuen Bundesländern und 80.000 in den alten Bundesländern. Schätzungen gehen jedoch von einer Gesamtanzahl von 140.000 bis 200.000 Verdachtsflächen aus.

Insbesondere in den neuen Bundesländern muß von einer Vielzahl an Altlasten mit unterschiedlichstem Gefährdungspotential ausgegangen werden. Der erste Arbeitsschritt zur Aufgabenbewältigung besteht in der flächendeckenden Erkundung und Bewertung aller Altlastenverdachtsflächen. Dies dient als Grundlage zur Einrichtung und Führung der landesspezifischen Altlastenkataster.

Durch die verstärkte Bautätigkeit in den neuen Bundesländern ist – sowohl für Abrißmaßnahmen als auch vor der Errichtung von Neubauten, z. B. auf alten Industrie- und Militärgeländen – häufig eine rasche Bewertung der Einzelstandorte notwendig. Dafür ist die Kenntnis der Historie des Standortes unabdingbar, um unnötig erhöhte Kosten im Rahmen der Altlastenerkundung zu vermeiden. Das Sanierungsziel wird dann einerseits durch das Ausmaß der Gefährdung der Schutzgüter und andererseits durch die zukünftige Nutzung geprägt.

Die gründliche Erfassung und Bewertung von Altstandorten hinsichtlich der Art, Höhe und Verteilung von Kontaminationen ermöglicht die optimale Ausnutzung aller Verfahren, die im Zusammenhang mit kontrolliertem Rückbau, Abbruch und Wiederverwertung anwendbar sind.

7.1 Erfassung von kontaminierten Standorten

Kontaminierte Standorte lassen sich im wesentlichen untergliedern in

- stillgelegte oder noch betriebene Ablagerungen,
- belastete Gelände stillgelegter oder noch betriebener industrieller Anlagen,
- Bereiche von Schadstoffanreicherungen (Kriegseinwirkung, Unfälle, etc.).

Die Notwendigkeit zur Erfassung und Bewertung von kontaminierten Standorten bzw. Flächen (Verdachtsflächen) ergibt sich aus folgenden Gründen [7.14]:

1. Abwehr einer akuten bzw. potentiellen Gefährdung für das Schutzgut „menschliche Gesundheit". Sowohl durch Eindringen von Schadstoffen in die Nahrungsmittelkette als auch durch direkte Aufnahme, Inhalation und Kontakt bzw. durch Verschmutzung von Grund- und/oder Oberflächenwasser kann eine solche Gefährdung erfolgen.
2. Zuführung brachliegender, „gebrauchter" Gelände für eine weitere Nutzung. So kann der Verbrauch intakter Landschaft reduziert und das Qualitätsniveau der Umwelt erhöht werden.

Die Lokalisierung von Verdachtsflächen erfolgt heute neben zufälligen Entdeckungen (Klagen aus der Bevölkerung, Ausschachtungsarbeiten im Zuge von Baumaßnahmen) durch Routineüberwachungen der Behörden sowie durch systematische Erfassungsmethoden.

Von den aufsichtsführenden Behörden und den Fachbehörden der Länder, Kreise und Kommunen wurden Modelle entwickelt. Zur Einführung dient das in Bild 7.1 (s. S. 65) dargestellte Fließschema, das die wesentlichen Aspekte bei der Herangehensweise erläutert.

7.1.1 Rechtliche Voraussetzungen für die Erfassung von kontaminierten Standorten

Im Gegensatz zum Schutz des Wassers und der Luft vor Verunreinigungen gibt es für den Boden bislang nur den Entwurf eines Bodenschutzgesetzes. Rechtsgrundlagen für das Eingreifen der Öffentlichkeit zur Abwehr von Gefahren durch Bodenverunreinigungen lassen sich bisher nur indirekt aus folgenden gesetzlichen Regelungen ableiten:

- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG),
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG),
- Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG),
- Chemikaliengesetz (ChemG),
- Bundesberggesetz (BBergG),

Zusätzlich gelten entsprechende Ländergesetze. Da gemäß dem Verbot der Rückwirkung diese Gesetze erst mit ihrem Inkrafttreten zur Anwendung kommen, können Verursacher von Umweltdelikten, die vor dem Verabschiedungszeitpunkt begangen wurden, nicht erfaßt bzw. nicht haftbar gemacht werden. So ist die erste Fassung des AbfG am 11. 6. 1972 und des WHG am 1. 3. 1960 verabschiedet worden.

Bereits bestehende Verwaltungsvorschriften oder Verordnungen (wie z. B. TA Abfall) sind ebenfalls als Hilfsmittel zur Erfassung und Bewertung kontaminierter Standorte heranzuziehen.

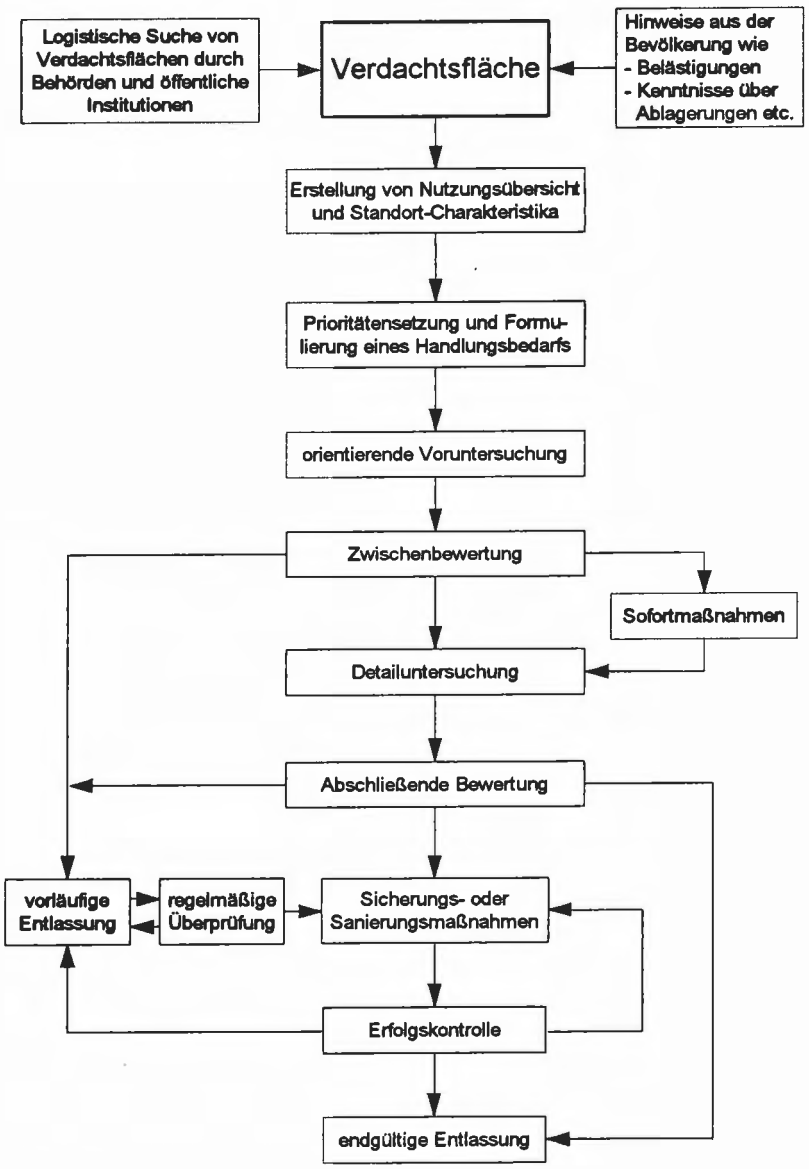
Für die Erstellung von Gefährdungsabschätzungen ist der Schutz der Allgemeinheit maßgeblich. Rechtsgrundlage ist das jeweilige allgemeine Sicherheits- und Ordnungsgesetz. Die Kosten für die Erfassung und Bewertung kontaminierter Standorte trägt im Falle der behördlich durchgeführten Ermittlungen die Ordnungsbehörde, da den „Verantwortlichen" nicht die Kosten behördlicher Ermittlungen auferlegt werden dürfen.

7.1.2 Vorerkundung

Die Vorerkundung von Kontaminationsflächen erfolgt beprobungslos. Damit wird das Ziel verfolgt, kostengünstig und in kurzer Zeit eine Aussage über das Gefährdungspotential eines Standorts zu gewinnen. Dies ermöglicht eine Einstufung entsprechend der Handlungspriorität.

Die wesentlichen Schritte umfassen die Auswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen sowie bei ge-

Bild 7.1: Übliche Vorgehensweise bei der Erkundung von Altlasten [7.10]



ringer Aussagefähigkeit eigene Recherchen nach weiteren Unterlagen.

7.1.2.1 Historische Recherche

Im Rahmen der historischen Recherche werden die vorhandenen Unterlagen hinsichtlich der Nutzungsgeschichte, der Besitzverhältnisse und Rechtsform ausgewertet. Eine Recherche nach relevanten Gutachten gehört ebenfalls dazu.

Diese Informationen geben Hinweise auf frühere Nutzungen und sich daraus ergebende potentielle Kontaminationen. Dies ist auch für unklare Haftungsfragen des derzeitigen Nutzers von Bedeutung.

7.1.2.2 Darstellung der Untergrund- bzw. Grundwassersituation

Ein wesentlicher Aspekt bei der Beschreibung eines kontaminierten Standortes ist die Darstellung der geologischen und hydrogeologischen Situation. Hierfür stehen im wesentlichen Karten und evtl. Schichtenverzeichnisse von in der unmittelbaren Umgebung niedergebrachten Sondierungen zur Verfügung. Bei der Interpretation der entsprechenden Karten erfolgt die Ermittlung

- der verschiedenen Grundwasser (GW) -Leiter,
- der Abstand der Geländeoberkante zur obersten GW-Oberfläche,
- die generelle GW-Fließrichtung und
- die Beschaffenheit des Untergrundes.

7.1.2.3 Luftbildauswertung

Auf alten Industriestandorten hat sich die Auswertung von Luftbildern als äußerst hilfreich bei der Lokalisierung von Verdachtsflächen bzw. der Identifizierung ehemaliger Betriebsteile erwiesen.

Diese Luftbilder stammen von Befliegungen, die seit den 20er Jahren auf dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik früher unregelmäßig und heute in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden.

Bei der Auswertung wird das Verfahren der sogenann-

Bild 7.2: Flugplatz Brandenburg-Briest, Befliegung März 1945, Maßstab ca. 1:25.000 [7.12]

Bild 7.3: Flugplatz Brandenburg-Briest, Befliegung Juni 1953, Maßstab ca. 1:25.000 [7.12]

Bild 7.4: Flugplatz Brandenburg-Briest, Befliegung August 1991. Maßstab ca. 1:22.000 [7.12]

ten „Multitemporalen Luftbildauswertung" angewandt. Hierbei werden Luftbildserien von ein und demselben Standort aus verschiedenen Zeitabschnitten ausgewertet. In Bild 7.2 bis 7.4 sind beispielhaft die Luftbilder des Flugplatzes Brandenburg-Briest von 1945 bis 1991 dargestellt. Hier sind beispielhaft die Bombentrichter aus dem 2. Welkrieg zu sehen, die im Laufe der Jahre verfüllt wurden [7.12].

Ein Stereoskop ermöglicht dabei eine räumliche Darstellung des Bildinhaltes sowie eine bessere Auflösung und Identifizierung bestimmter Objekte. Insbesondere verfüllte Bombentrichter sowie durch Kriegseinwirkungen und Demontage verschwundene Betriebsteile können mit dieser Methode wieder verfügbar gemacht werden.

7.1.2.4 Standortbegehung

Nachfolgend wird eine Ortsbesichtigung der Kontaminationsfläche durchgeführt. Durch die Auswertung folgender Gesichtspunkte können die aus Unterlagen gewonnenen Erkenntnisse bestätigt oder relativiert werden:

- Ausmaße,
- oberflächige Untergrundbeschaffenheit,
- Umgebungsverhältnisse,
- Abfallzusammensetzung bzw. verwendete schadstoffhaltige Stoffe oder Stoffgruppen,
- Lage und Beschaffenheit von Gebäuden.

7.1.2.5 Erstbewertung

Mit Hilfe der durch die Vorerkundung gewonnenen Daten kann eine erste Einschätzung des Gefährdungspotentials eines kontaminierten Standortes durchgeführt werden. Dies ist sowohl für die Bearbeitung einer Vielzahl erfaßter Standorte im Rahmen einer flächendeckenden Erfassung von Altlasten als auch für die Bewertung eines Einzelstandortes eine kostengünstige und zeitsparende Möglichkeit. Dadurch können die nachfolgenden Schritte effektiver geplant und durchgeführt werden.

Die Erstbewertung liefert Ergebnisse, die den zuständigen Behörden oder anderen Verantwortlichen Entscheidungshilfen geben, mit denen folgende Vorauswahl bzw. Einstufung der Standorte getroffen werden kann:

- Entlassung der Verdachtsfläche aus dem weiteren Untersuchungsprogramm bei unbegründetem Kontaminationsverdacht,
- Verbleiben der Verdachtsfläche unter Beobachtung, bis neue Verdachtsmomente auftauchen;
- Durchführung weiterer Untersuchungen mit dem Ziel, das absolute Gefährdungspotential annähernd zu ermitteln und ggf. Sanierungsanordnungen zu treffen.

7.1.3 Weitergehende Erkundung mit Hilfe unterschiedlicher Erkundungsmethoden und Probenahme

7.1.3.1 Festlegung eines Erkundungsprogramms

Die im Ergebnis der Vorerkundung stehenden Empfehlungen dienen als Grundlage für die Erarbeitung eines Maßnahmenplanes zur weitergehenden Erkundung. Im einzelnen sieht dieser Plan folgende Punkte vor:

- Ausarbeitung des geologischen und hydrogeologischen sowie analytischen Erkundungskonzeptes,
- Ausweisung von Art und Umfang der notwendigen Sondierungen oder Bohrungen, Analysen sowie weitere Untersuchungsmaßnahmen.

Im wesentlichen ist für die Gefährdung des Schutzgutes „menschliches Leben" der Grundwasserpfad maßgebend. Bei der Erarbeitung des Erkundungskonzeptes muß deshalb dem Grundwasserpfad eine hohe Bedeutung beigemessen werden.

An Verfahren zur Untergrunderschließung stehen eine Vielzahl von Sondier- und Bohrmethoden zur Verfügung. In Bild 7.5 sind die wesentlichen zusammengefaßt.

7.1.3.2 Grundwassererkundung

Die Erstellung von Grundwassermeßstellen ist zur Erkundung einer Verdachtsfläche unerläßlich. Diese ermöglichen Erkenntnisse über das Vorhandensein von Schadstoffen im GW-Strom. Durch Vergleich mit unbelasteten Grundwasserproben läßt sich ein Zusammenhang zwischen Kontaminationsquelle und GW-Beeinträchtigung nachweisen oder ausschließen.

Zu diesem Zweck werden üblicherweise drei GW-Meßstellen errichtet,

- eine Meßstelle im GW-Anstrombereich des Standortes, um unbelastetes Referenzwasser zu erhalten,
- zwei Meßstellen im GW-Abstrombereich des Standortes, lateral zueinander versetzt, um eventuell in das Grundwasser übergegangene Schadstoffe erfassen zu können.

Zur Erkundung des Bodens wird bei der Erstellung von GW-Meßstellen von dem im Trockenbohrverfahren gewonnenen Boden je laufenden Meter eine Bodenprobe entnommen.

Je nach Anlage der Meßstellen können GW-Proben aus einem oder mehreren Horizonten unabhängig voneinander entnommen werden. Bei entsprechendem Durchmesser lassen sich die Brunnen auch zur Entnahme von Grundwasser im Rahmen von Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen verwenden.

7.1.3.3 Bodenerkundung

Eine direkte Bodenerkundung wird erforderlich, falls die horizontale und vertikale Erstreckung eines Kontaminationsherdes erfaßt werden muß. Dies kann für die Wahl eines Sanierungsverfahrens bzw. für die zukünftige Nutzung der Fläche von Bedeutung sein.

Im Unterschied zum relativ zeit- und kostenintensiven Erstellen einer GW-Meßstelle können Bodensondierungen mit geringerem Aufwand durchgeführt werden. Es wird mit kleinerem Durchmesser sondiert, außerdem müssen die Bohrungen nicht erhalten bleiben. Für größere Flächen werden die Sondierungen in Form eines Rasters angelegt, um mit einem Minimum an Aufwand die gesamte Fläche zu erfassen. Tabelle 7.1 gibt eine Übersicht über die Mindestanzahl an Sondierungen bzw. Probenahmestellen je Hektar.

Bild 7.5: Übersicht über Sondier- und Bohrverfahren zur Altlasterkundung [7.10]

Anwendung \ Bohrverfahren			Drehbohren						Schlagbohren							sonstige Verfahren	
			mit Spülung						Freifallbohren								
				inverse Spülstromrichtung						Gestänge-freifall							
			direkte Spülstromrichtung (Druckspülbohren)	Saugen	Strahlsaugen	Luftheben	Counterflush	Trockendrehbohren	Seilfreifall	ohne Spülung	mit Spülung, direkte oder inverse Stromrichtung	Hammerbohren	Rammkernbohren	Schlauchkernbohren	Drehschlagbohren	Einspülen	Einrammen
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Lockergestein	Aufschluß-bohrungen	a	×○	× 100	× 250	×		×○ 50	×		●		×	× 60	×		
Lockergestein	Meßstellen-bohrungen	b	×	× 100	× 250	×		×○ 50	×		●		●	● 60	●	× 20	× 20
Lockergestein	Versuchs-brunnen-bohrungen	c	×	× 100	× 250	×		×○ 50	×		●				×	● 20	● 20
Lockergestein	Brunnen-bohrungen	d	●	× 100	× 250	×		× 50	×		●				×	● 20	● 20
Festgestein	Aufschluß-bohrungen	e	×⊙ L	× 100	× 250	×	●⊙	●	×		●	×			×		
Festgestein	Meßstellen-bohrungen	f	× L	× 100	× 250	×		●	×		●	×			×		
Festgestein	Versuchs-brunnen-bohrungen	g	× L	× 100	× 250	×		●	×	×	●	×			×		
Festgestein	Brunnen-bohrungen	h	×	× 100	× 250	×		●	×	×	●	×			×		

× zweckmäßig

30 für Bohrungen bis 30m Tiefe

○ Kernen möglich

Hilfsverrohrung in der Regel erforderlich

● wird seltener oder in Sonderfällen angewendet

L Druckluft als Spülmedium bevorzugt

⊙ Kernen nur in bindigen Schichten möglich

7.1.3.4 Oberflächenwassererkundung

Die Oberflächenwassererkundung ist bei unmittelbarer Nähe der kontaminierten Fläche zu einem Oberflächengewässer erforderlich.

7.1.3.5 Boden- bzw. Raumlufterkundung

Abhängig von der Schadstoffpalette im Kontaminationsherd kann eine Untersuchung der Bodenluft erforderlich werden. Dies gilt insbesondere bei leichtflüchtigen Substanzen. Bei schwerflüchtigen Bestandteilen kann es zu einer Anreicherung kommen. Diese Möglichkeit ist besonders bei großflächigen Abdeckungen wie kontaminierten Betonfundamenten von Bedeutung [7.14].

7.1.3.6 Bodenproben

Bei der Entnahme von Bodenproben bestimmt die beabsichtigte Entnahmetiefe die Vorgehensweise. Bei oberflächennahem Schürfen kann die Arbeit mit einem Probenstecher oder einer Sondierstange erfolgen. Dies gilt für gewachsenen Boden wie für stichfeste Schlämme. Je nach Homogenität sollten 1 bis 10 kg Material entnommen werden.

Bei tieferen Sondierungen werden Rammkernsonden oder Spiralbohrer verwendet, wobei je laufenden Meter Mischproben genommen werden. Bei der Auswahl des Probenahmegerätes ist auf die physikochemischen Eigenschaften der Schadstoffe Rücksicht zu nehmen. So kann es bei leichtflüchtigen chlorierten

Tabelle 7.1: Untersuchungsmatrix für eine Untergrunduntersuchung [7.10]

Fläche [ha]	Sondierungen Anzahl			Probenanzahl		Analysenzahl Boden		GW
	0–0,5 m	0,5–2 m	Brunnen	0–0,5 m	0,5–2 m	0–0,5 m	0,5–2 m	
0,2	12	3	1	12	9	2	1	1
1	20	6	2	20	18	3	2	2
2	30	9	3	30	27	4	3	3
p	10+10p	3+3p	1+1p	10+10p	9+9p	2+1p	1+1p	1+1p

oder fluorierten Kohlenwasserstoffen durch mechanisch erzeugte Wärme zu einer Veränderung der Schadstoffbelastung kommen [7.14].

7.1.3.7 Wasserproben

Wasserproben aus offenen Wasserflächen werden in der Regel mit Pumpen oder Schöpfgeräten entnommen und möglichst in Braunglasflaschen gefüllt.

GW-Proben werden aus den zuvor erstellten Meßstellen ebenfalls mittels Schöpfgerät oder Pumpe entnommen. Je nach vorhandenen Schadstoffparametern kann eine Probenahme aus unterschiedlichen Teufenbereichen des GW-Leiters erforderlich sein. Entsprechend aufwendig muß eine Verfilterung des Brunnens gestaltet werden, um eine Entnahme aus verschiedenen Bereichen zu ermöglichen.

Für eine exakte Beurteilung der GW-Beschaffenheit muß die GW-Probe mittels einer Pumpe entnommen werden. Dabei wird ein konstanter Förderstrom erzeugt, der aufrechterhalten wird, bis sich konstante Bedingungen (Leitfähigkeit, pH-Wert, Temperatur) einstellen. In entsprechenden Pumpprotokollen werden die Parameter der GW-Probe festgehalten.

7.1.3.8 Gasproben

Bodenluftprobenahmen erfolgen bei Standorten ohne Entgasung über Sonden, die nach einer Schlitzsondierung in den Boden gedrückt werden. Das Bodengas wird über die ca. 2 m langen Sonden an der Spitze mittels einer Pumpe abgesaugt [7.14].

7.1.4 Analytik

Bei der sich an die Probenahme möglichst umgehend anschließenden Analytik sind mehrere Fälle zu unterscheiden [7.7]:

- Das zu untersuchende Spektrum ist hinreichend bekannt. Es erfolgt eine Analyse auf Einzelparameter.
- Zum Standort liegen nur unspezifische Hinweise vor. Es erfolgt eine Analyse auf diejenigen Schadstoffparameter, die für ähnliche Standorte, z. B. Industriestandorte, typisch sind. Es empfiehlt sich ein mehrstufiges Analytikprogramm erst auf Summenparameter, um dann bei positivem Ergebnis gezielt Einzelparameter zu ermitteln.

Sofern von den Behörden kein spezielles Untersuchungsschema vorgeschrieben wird, können mit Hilfe eines Rasters sowohl Sondieransatzpunkte als auch Probenahmepunkte ermittelt werden. Damit lassen sich die Vorbereitung und Durchführung der Erkundungsarbeiten für feste, flüssige und gasförmige Substanzen systematisieren. Je nach Aggregatzustand kommen unterschiedliche Analyseschemata zur Anwendung.

Die Analysenergebnisse dienen der gutachterlichen Interpretation und können über hohe Folgekosten für Sicherung oder Sanierung entscheiden. Die Qualität des ausführenden Labors ist deshalb von ausschlaggebender Bedeutung. Gewährleistet wird diese durch bei der Bundesanstalt für Materialprüfung akkreditierte Labore, die ihre Befähigung durch die regelmäßige Teilnahme an Ringversuchen belegen müssen.

7.2 Bewertung von kontaminierten Standorten

Die in den vorhergehenden Stufen erlangten Erkenntnisse müssen durch die Bewertung in Handlungsempfehlungen für den weiteren Umgang mit dem kontaminierten Standort umgesetzt werden. Hierzu können zwei Vorgehensweisen unterschieden werden:

1. Behördliche Erfassung und Bewertung von Altlastenverdachtsflächen unter der Maßgabe der Gefahrenabwehr für die öffentliche Sicherheit:
   Wesentlicher Aspekt ist hier die große Zahl der Standorte, die bearbeitet werden. Hierfür ist ein standardisiertes Verfahren erforderlich, um einheitliche Daten zu jedem Standort zu erhalten. Erst dann ist die Einteilung der jeweiligen Standorte entsprechend der ermittelten Handlungspriorität möglich. Die Einzelfallbewertung dient anschließend zur weiteren Gefährdungsabschätzung für die dringlichsten Standorte und zur effizienten Vergabe öffentlicher Mittel.
2. Einzelfalluntersuchung eines Standortes im Rahmen einer zukünftigen Nutzung:
   Für den privaten Auftraggeber steht die geplante Nutzung im Vordergrund. Unabhängig von einer

Weitergabe der erfaßten Daten an die zuständigen Überwachungsbehörden wird prinzipiell eine Einzelfallbewertung durchgeführt.

Für die Bewertung der Daten eines kontaminierten Standortes gibt es unabhängig von einer vergleichenden Bewertung oder einer Einzelfallbewertung Maßstäbe, die für jeden Handlungsfall gleichermaßen angelegt werden können. In den von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) herausgegebenen Informationsschriften sind Handlungshilfen enthalten, die Entscheidungen zur weiteren Behandlung von kontaminierten Standorten ermöglichen.

Außerdem wurden für die öffentliche Hand Modelle erarbeitet, die Möglichkeiten zur Datenerfassung und -auswertung bieten und in Zusammenhang mit dem Fachwissen von Spezialisten eine Abschätzung des Gefährdungspotentials eines kontaminierten Standorts ermöglichen.

7.2.1 Darstellung von Erfassungs- und Bewertungsmodellen

Die grundlegenden Charakteristika dieser Erfassungs- und Bewertungsmodelle sind ähnlich, unterschiedlich sind allein die Herangehensweise bzw. die Komplexität. Als Beispiel für ein Erfassungs- und Bewertungsmodell wird im folgenden das Informationssystem Altlasten (ISAL) vorgestellt, das in den Bundesländern Brandenburg und Nordrhein-Westfalen, auf die jeweiligen Gegebenheiten abgestimmt, Anwendung findet.

Dieses System arbeitet in der Erfassungsphase mit einem komplexen Erfassungsbogen, der als Stammbeleg bezeichnet in folgende Fragebereiche unterteilt ist [7.9]:

- Hauptkriterium (HK) 1: Allgemeine Daten;
  Informationen zur räumlichen Zuordnung, rechtliche Fragestellungen, geographische Angaben, Beschreibung des Standortes;
- HK 2: Stoffgruppen
  Beschreibung verwendeter bzw. aufgefundener Stoffe und Stoffgruppen, Darstellung von Unfällen oder sonstigen Geschehnissen mit diesen Stoffen oder Stoffgruppen;
- HK 3: Nutzung
  Beschreibung der derzeitigen und geplanten Nutzungen des Standortes und der Umgebung sowie Darstellung des Stands der Planung;
- HK 4: Ausbreitungen
  Darstellung der vier Ausbreitungspfade Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser und Luft.

Dieser Stammbeleg dient als Grundlage für ein Datenverarbeitungssystem, in dem die Daten in Form einer Datenbank eingegeben werden können.

Diese Datenbank kann auf verschiedene Weise ausgewertet werden. Zum einen besteht die Möglichkeit einer quantitativen Datenauswertung, bei der die Gesamtzahl erfaßter Standorte auf die Zahl derjenigen reduziert werden kann, auf die bestimmte Bedingungen zutreffen.

Zum anderen besteht die Möglichkeit einer qualitativen Auswertung. Im Rahmen einer vergleichenden Bewertung für die Gesamtzahl der Standorte wird eine Rangliste erstellt, in der die einzelnen Standorte gemäß dem relativen Gefährdungspotential zueinander eine bestimmte Position erhalten. Mit dieser Rangliste werden Entscheidungshilfen für das weitere Vorgehen gegeben.

Zur Feststellung des relativen Gefährdungspotentials werden in einer Bewertungsmatrix bestimmte Pflichtfelder mit Punkten entsprechend dem Inhalt versehen. Diese Punkte werden zu jedem Pflichtfeld auf Schutzgüter verteilt, die die eigentlichen Kriterien für die Bewertung darstellen. Die Schutzgüter sind in Bild 7.6 dargestellt.

Bild 7.6: Rangfolge der Schutzgüter [7.7]

Rangreihenfolge der wichtigsten Schutzgüter
Leben und Gesundheit von Menschen durch unmittelbare Einwirkung (SG 1)
Trinkwassergewinnung oder Heilquellen (SG 2)
Bodennutzung bei Grundstücken mit Wohnbebauung oder in Kleingärten (SG 3)
Im Gebietsentwicklungsplan ausgewiesene Bereiche zum Schutz der Gewässer (SG 4)
Landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung (SG 5)
Sonstige Schutzgüter (SG 6)

In der Aufsummierung der zu jedem Schutzgut gehörenden, zur besseren Vergleichbarkeit gewichteten, Punktzahlen ergibt sich ein Bewertungsprofil aus den Summen für jedes Schutzgut (Bild 7.7).

Anhand dieser Bewertungsprofile können die Standorte einer Prioritätenliste zugeordnet werden, wobei die an erster Stelle stehenden relativ zu den übrigen das höchste Gefährdungspotential beinhalten. Eine direkte Aussage über die absolute Gefährdung ist nicht möglich. Die somit primär zu bearbeitenden Standorte müssen einer Einzelfallbewertung unterzogen werden.

7.2.2 Schutz- und Vorsorgewerte

Von den Kontaminationsherden gelangen die jeweiligen Schadstoffe über die Pfade Boden, Wasser und Luft zu einem Schutzgut, z.B. dem Menschen. Um eine Aussage über die Gefährlichkeit einer Schadstoffausbreitung machen zu können, müßten Erkenntnisse vorhanden sein über

- die Wirkungsmenge der Schadstoffe, d.h. die auf das Schutzgut einwirkende Menge pro Zeiteinheit und Einheit Schutzgut und
- die maximal zulässige Stoffmenge im Medium, d.h.

Bild 7.7: Gefährdungspotential einer Verdachtsfläche

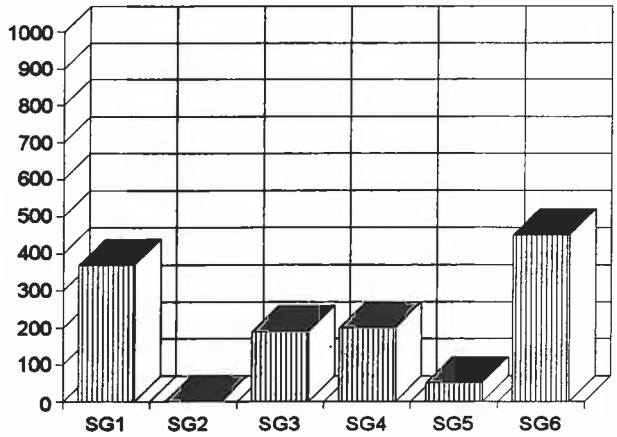


Tabelle 7.2: Vergleich der Grenzwerte für einige Schadstoffe in verschiedenen Listen

Schadstoff	Berliner Liste [mg/kg TS]	Holländische Liste [mg/kg TS]	Eikmann-Kloke-Liste [mg/kg Boden]
Cr gesamt	100–800	100–800 (800)	50–800
Cd	1,5–20	0,8–12 (20)	1–20
PCB gesamt	1–5	0,02–1 (19)	0,2–1,5

die Konzentration des Stoffes in Luft, Wasser oder Boden.

Daraus läßt sich die Maximalkonzentration ermitteln, bei der das Schutzgut gerade noch nicht geschädigt wird. Wegen der Komplexität des Sachverhalts, z. B. der Vielfalt der Schutzgüter besteht wenig Aussicht, daß in absehbarer Zeit Werte über maximal zulässige Stoffmengen in den unterschiedlichen Medien verfügbar sein werden [7.14].

In jüngster Zeit wird versucht, diesem Problem durch das Einsetzen von Schutz- bzw. Vorsorgewerten zu begegnen. Diese Werte enthalten Gesichtspunkte medizinischer und ökologischer Risikobewertung, technischer Machbarkeit und Verfügbarkeit volkswirtschaftlicher Ressourcen. Vorsorgewerte sind in der Regel niedriger als Schutzwerte und sind nach dem in der Gesetzgebung vorherrschenden Grundsatz der Vorsorge bei Sanierungsvorhaben zu beachten.

Die wesentlichen Festlegungen von Zahlenwerten bieten bislang die [7.14]:

- „Holländische Liste" seit ca. 1983,
- Klärschlammverordnung (AbfKlärV), 25. 6. 1982,
- Trinkwasserverordnung (TrinkwV), 22. 5. 1986,
- Richtlinie der LAGA-AG „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von Reststoffen/Abfällen", März 1994,
- „Eikmann-Kloke-Liste",
- sowie regionale, vor allem Länderlisten, wie zum Beispiel die „Berliner Liste" oder die „Brandenburgische Liste", in der Eingreifwerte für Sanierungs- oder Sicherungsvorhaben für Boden und Wasser sowie Einbauwerte für Boden und Einleitwerte für Wasser festgeschrieben sind.

In der „Berliner Liste" werden Eingreifwerte und Sanierungsziele für Boden und Grundwasser festgelegt. Die Werte variieren in Abhängigkeit von den Geländekategorien Ia, Ib, II und III (Wasserschutzgebiet, Flächen mit sensiblen Nutzungen, Urstromtal und Hochflächen) [7.11].

Die „Holländische Liste" gibt ebenfalls Interventions- und Zielwerte für Boden und Grundwasser vor; die Anhebung der Interventionswerte ist seit 1993 in der Diskussion (s. Tabelle 7.2, Angaben in Klammern) [7.11].

Ein anderer Ansatz wird in der „Eikmann-Kloke-Liste" verfolgt: Die angegebenen Sanierungsziel- und Interventionswerte orientieren sich an der künftigen Nutzung der Gelände. Es wird nach den Kategorien Multifunktionale Nutzungsmöglichkeit, Kinderspielplätze, Haus-/Kleingärten, Sport-/Bolzplätze, Park-/Freizeitanlagen und Industrie-/Gewerbeflächen unterschieden [7.11].

In der Tabelle 7.2 werden beispielhaft einige Schadstoffgrenzwerte angegeben. Ein direkter Vergleich der Grenzwerte ist schwierig, da bereits bei der Analyse verschiedene Methoden verwendet werden.

7.3 Definition von Sanierungszielen

Bei der Begutachtung eines kontaminierten Standortes sind neben den ermittelten Schadstoffkonzentrationen im Zusammenhang mit den jeweils gültigen Richt- oder Grenzwerten (Schutz- oder Vorsorgewerte) die Nutzungskonzeptionen für die betrachtete Fläche wichtig.

Abhängig vom technologisch Machbaren und ökonomisch und ökologisch Sinnvollen wird sich nur ein Sanierungszielwert erreichen lassen, der nahe am Vorsorgewert liegen sollte. Lassen die verfügbaren Sanierungsverfahren oder die Kosten keinen Sanierungszielwert zu, der dem angestrebten Nutzungskonzept entspricht, so muß dieses geändert werden.

Werte, deren Ziel die Versetzung des Bodens in seinen „Urzustand" ist, sind für Altlasten nur mit dem Sanierungsziel „uneingeschränkte Bodennutzung" verwendbar.

7.4 Beispiel aus der Praxis

Ein Beispiel zur sinnvollen und am aktuellen Bedarf orientierten Wiederverwendung von unkontaminiertem Erdaushub und untergeordnet auch von Bauschutt wurde 1994 im Land Brandenburg realisiert.

Dort hat die INTECUS GmbH Potsdam im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz (MUNR) im Land Brandenburg ein Pilotprojekt durchgeführt, das

die Abdeckung von kleinen Deponiestandorten mit geringem Gefährdungspotential mit in der Umgebung ohnehin anfallendem Erdaushub aus Baumaßnahmen zum Inhalt hatte. Hier konnten mit Hilfe von Erdaushub Primärbaustoffe substituiert werden [7.5].

Durch vertragliche Vereinbarungen mit einigen Bau- und Transportunternehmen wird für die im Pilotprojekt ausgewählten Gemeinden die kostenfreie Sicherung und Rekultivierung ihrer Altdeponien Realität. Gleichzeitig erfolgt eine Entlastung der knappen Entsorgungskapazitäten für gebrauchte Baustoffe.

Im Rahmen des Pilotprojekts wurde die ingenieurtechnische Begleitung (Vertragsberatung, Konzepterstellung, Abstimmung mit den zuständigen Behörden, Qualitätskontrolle des Materials) durch Fördermittel des MUNR finanziert. Im Nachlauf dieser beispielgebenden Umsetzung sind eine Vielzahl weiterer Projekte in die Realisierungsphase eingetreten, ohne daß Fördermittel in Anspruch genommen werden müssen.

Diese Möglichkeit des Einsatzes von nicht kontaminierten gebrauchten Mineralstoffen ist nur für einen Teilbereich der erfaßten Altstandorte praktikabel.

7.5 Spezielle Abbruch- und Aufbereitungstechniken für kontaminierte Bauwerke

Die Kontaminationen in Bauwerken können verschiedene Ursachen haben. Grundsätzlich muß unterschieden werden, ob schadstoffhaltige Werkstoffe verbaut wurden (z.B. Asbest, Teerpappe) oder ob die Kontaminationen auf nutzungsspezifischen Prozessen beruhen. An Industriestandorten finden sich oft branchenspezifische Schadstoffe (Bild 7.8), die entweder durch Leckagen und Havarien (Schmier- und Hilfsmittel) oder prozeßbedingt (Schlacken und Aschen) eingetragen wurden [7.6].

Bei Altstandorten können sich die kontaminierten Bereiche durch unterschiedliche Nutzungsperioden teilweise überlagern, so daß oftmals Reaktionsprodukte und komplexe Schadstoffstrukturen zu behandeln sind. Im Rahmen der Gebäudeanalyse kommt daher der gutachterlichen und analytischen Begleitung für die Aufdeckung und Eingrenzung kontaminierter Bereiche besondere Bedeutung zu [7.6].

7.5.1 Abbruch- und Rückbauverfahren für kontaminierte Bauwerke

In Ergänzung zu den in Kap. 5.3.4 beschriebenen Abbruchverfahren des Abgreifens und Abtragens müssen bei kontaminierten Bauwerken besondere Anforderungen beachtet werden. Die Erfassung und der Ausbau kontaminierter Baustoffe stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Verwertbarkeit der nichtkontaminierten Baustoffe dar. Oberstes Gebot ist deshalb die Verhinderung einer weiteren Ausbreitung der Kontaminationen, d.h. strenge Trennung von stark, gering bzw. nicht kontaminierten Bauschuttmassen.

Unabhängig vom Schadstoff können die Kontaminationen in drei Klassen unterteilt werden:

- staubförmige Schadstoffe,
- gasförmige bzw. leichtflüchtige Schadstoffsubstanzen und
- aus dem Bauwerksteil nicht austretende bzw. an der Oberfläche haftende Schadstoffe.

Entsprechend diesen Klassen müssen die Verfahren zum Abbruch, zur Verwertung bzw. Entsorgung der kontaminierten Bauteile ausgesucht und Maßnahmen für den Arbeitsschutz und zur Verhinderung der Ausbreitung der Kontaminationen getroffen werden.

7.5.1.1 Rückbau staubförmiger Baustoffe

Typische staubförmige Schadstoffe können z.B. schwermetallhaltige, organisch belastete Stäube sowie Asbeststäube sein.

Mengenmäßig und nach der Häufigkeit des Auftretens spielen Asbeststäube und asbesthaltige Baustoffe eine dominierende Rolle. In den alten Bundesländern

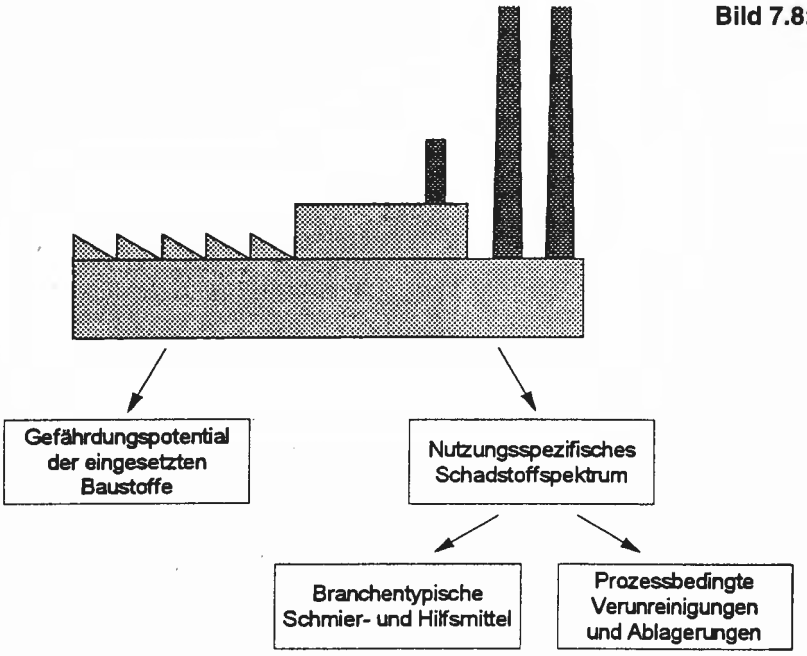


Bild 7.8: Schadstoffpotentiale von Industriestandorten [7.5]

Bild 7.9: Rückbau staubender Baustoffe [7.8]

wurde Asbest seit Ende der 40er bis in die 70er Jahre vorwiegend als Spritzasbest zur Isolierung und zum Brandschutz verwendet. In der ehemaligen DDR fand Asbest vor allem in Form von Asbestzement von Anfang der 60er bis Ende der 80er Jahre Anwendung.

Bei der Entfernung der unterschiedlich stark gebundenen Asbestprodukte aus einem Gebäude muß so gearbeitet werden, daß das Freiwerden der gefährlichen Asbestfasern möglichst vermieden wird. Dies kann bei großflächigen Kontaminationen z. B. durch Kapselung und Einhausung des Arbeitsbereiches realisiert werden. Dabei muß der kontaminierte Bereich vollständig erfaßt und vom übrigen unbelasteten Bereich abgeschlossen sein.

Bei lokalen Anfallstellen von Asbest erweist es sich als günstig, Absaugtechniken (Industriestaubsauger) mit einer Filtration der Luft zu verwenden. Diese Technologie kann beispielsweise bei der Demontage von asbesthaltigen Dichtungen an Heißwasserrohren verwendet werden.

Die Vorschriften für den sachgemäßen Umgang mit Asbest sind in den „Technischen Regeln für Gefahrstoffe" (TRGS 519) festgelegt. Die Demontage, der Transport, die Lagerung sowie Deponierung von asbesthaltigen Produkten ist ausschließlich durch autorisiertes Fachpersonal durchzuführen.

Vor Beginn der Arbeiten müssen unbedingt folgende Vorkehrungen getroffen werden (Bild 7.9):

- Verwendung von Schutzanzügen aus staub- und luftdichtem Material;
- Atemschutzmasken mit Partikelfiltern, ggf. Sauerstoffgeräte für eine außenluft-unabhängige Atmung;
- arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung und -überwachung vor, während und nach dem gesamten Arbeitszeitraum.

Nach Beendigung der Dekontaminierungsarbeiten muß die gebrauchte Arbeitskleidung gemeinsam mit dem kontaminierten Material entsorgt werden. Für größere Sanierungsmaßnahmen werden sogenannte Schwarz-Weiß-Bereiche eingerichtet. Die Umkleideräume und Arbeitsbereiche liegen dabei im Schwarz-Bereich, der nur über spezielle Luftschleusen erreichbar ist.

7.5.1.2 Erfassung gasförmiger bzw. leicht flüchtiger Schadstoffe

Bei dieser Klasse von Kontaminationen sind insbesondere leichtsiedende Kohlenwasserstoffe (Aliphaten, Aromaten) mit und ohne Heteroatome von Bedeutung. Dazu gehören auch Benzine, Aceton, BTEX-Aromaten, Chlormethane und niedrigmolekulare Alkohole.

Durch das Aufbrechen der Bauwerksoberfläche kann es zur Emission dieser Schadstoffe in die Luft kommen. Dadurch kann eine diffuse Durchdringung des gesamten Bauwerks erfolgen. Um dies zu verhindern, müssen diese Arbeitsbereiche ähnlich der Asbeststaubbeseitigung luftdicht abgeschlossen und abgesaugt werden.

Die dargestellten Sicherheitsvorkehrungen und -vorschriften gelten auch für die Beseitigung gasförmiger Schadstoffe.

7.5.1.3 Erfassung von oberflächenanhaftenden, nicht aus Bauwerksteilen austretenden Kontaminationen

Zu dieser Kontaminationsklasse zählen z. B. Baustoffe, die durch schwerflüchtige organische oder schwermetall- bzw. salzhaltige Lösungen infiltriert wurden (z. B. Salz- und Schlackekrusten, Aufdampfungen etc.).

Hier muß vor allem die Staubentwicklung, die beim Abfräsen von Verkrustungen entstehen kann, minimiert werden. Auf eine Einhausung kann u. U. verzichtet werden, wenn die Staubausbreitung durch Absaugungen verhindert wird. Keinesfalls darf eine Ausbreitung der Kontaminationen auf unbelastete oder weniger kontaminierte Materialien erfolgen. Prinzipiell können dabei Arbeitsgeräte und Maschinen eingesetzt werden, die das separate und sorgfältige Entfernen kontaminierter Bauteile ermöglichen:

- hydraulisch oder pneumatisch angetriebene Schlaghämmer für die Handarbeit, mit denen sich schonend und selektiv, jedoch personal- und kostenintensiv abreißen läßt,
- Seil- oder Hydraulikbagger, die flexibel mit verschiedenen Werkzeugen (Teleskopabbruchstiel, Abbruchkopf und -zange, Hydraulikhammer und schere, Greifer- und Tieflöffeleinrichtung) ausgerüstet werden können.

Der Einsatz der jeweiligen Geräte und Maschinen hängt dabei von den speziellen Randbedingungen der Baustelle ab, wie:

- Art und Umfang der Kontaminationen,
- Gefährdungsgrad,
- Größe des Abbruchprojektes,
- Platzverhältnisse vor Ort,
- technischer Ausstattungsgrad und Erfahrungen des abreißenden Unternehmens.

7.5.2 Transport und Lagerung kontaminierter Baustoffe

Der Transport der kontaminierten Baustoffe, die zu den besonders überwachungsbedürftigen Bauabfällen gehören, ist über die Vorschriften für Gefahrguttransporte geregelt. Der Auftraggeber hat dafür Sorge zu tragen, daß die kontaminierten Baustoffe ausschließlich von fachkundigen Transporteuren mit folgenden Voraussetzungen befördert werden [7.4]:

- Besitz einer gültigen Transportgenehmigung sowie vorschriftsmäßiger Container,
- rechtzeitige Besorgung (3 Tage vorher) von Anlieferungsterminen der entsprechenden Entsorgungseinrichtung und
- ordnungsgemäße Verpackung der jeweiligen kontaminierten Baustoffe.

Hinsichtlich der Verpackung gibt es z. B. für asbesthaltige Abfälle besondere Vorschriften, die in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 519) geregelt sind. So müssen Asbestabfälle grundsätzlich in reißfesten und staubsicheren Plastiksäcken ("big bags") verpackt werden, die mit der jeweiligen Auftragsnummer wasserunlöslich zu beschriften sind.

Für die Anlieferung von Asbestzementplatten haben sich sogenannte „Plattensäcke" bewährt. Spritzasbest und Asbeststäube müssen vor dem Transport entweder zementverfestigt oder mit anderen Bindemitteln behandelt und zusätzlich in "big bags" verpackt werden.

Die "big bags" werden mit einer Entladevorrichtung aus den Containern entnommen und in den vorgesehenen Ablagerungsbereich der Deponie verbracht, wo diese anschließend gemäß TA Siedlungsabfall mit Boden abgedeckt werden [7.2].

Gemäß Abfall- und Reststoff-Überwachungs-Verordnung besteht für bestimmte Abfälle eine Nachweispflicht über die Zulässigkeit der vorgesehenen Entsorgung. Dieser Entsorgungsnachweis setzt sich aus der Erklärung des Abfallerzeugers, der Annahmeerklärung des Entsorgers sowie der Entsorgungsbestätigung der zuständigen Behörde zusammen. Für besonders überwachungsbedürftige Bauabfälle ist die Nachweisführung über Begleitscheine festgelegt [7.1].

Für die Lagerung ist neben der Vermeidung von Staubemissionen der Schutz des Untergrundes wichtig. In Abhängigkeit von der Schadstoffkonzentration gelten besondere Bestimmungen für die Zwischenlagerung, so daß z. B. Basisabdichtungen mit Kunststoffplanen sowie Einhausungen zum Fernhalten von Niederschlagswasser errichtet werden müssen [7.4].

7.5.3 Aufbereitungstechniken für kontaminierte Baustoffe

Die Aufbereitung kontaminierter Baustoffe ist im Vergleich zur Aufbereitung kontaminierter Böden ein relativ neues Arbeitsfeld. Es liegen wenig Erfahrungen insbesondere auf dem Gebiet der technischen Umsetzung und Anwendung vor.

Die Verfahren, die für kontaminierte Böden entwickelt wurden, sind prinzipiell auch für kontaminierte Baustoffe anwendbar. Voraussetzung ist, daß die Baustoffe so weit zerkleinert und aufgeschlossen werden, daß die Schadstoffe für eine Abreicherung verfügbar sind. Dies setzt einen hohen technischen und finanziellen Aufwand voraus, da diese Prozesse ohne Schadstoffemissionen an die Umwelt ablaufen müssen. Im Anschluß an die Zerkleinerung stehen folgende in der Praxis erprobte wesentliche Reinigungsverfahren zur Verfügung [7.4]:

- Bodenwaschverfahren,
- thermische Reinigungsverfahren,
- mikrobiologische Verfahren.

7.5.3.1 Bodenwaschverfahren

Die Abtrennung der Schadstoffe von Boden- oder Bauschuttpartikeln kann entweder durch physikalische oder durch chemische Verfahren erfolgen.

Bei physikalischen Verfahren wird kinetische Energie entweder durch hochgespanntes Wasser, Vibrationssiebe oder durch Wasserdampf auf das Korn übertragen, wodurch die Haftung des Schadstoffs am Baustoff gelöst wird.

Bei chemischen Verfahren werden die Schadstoffe durch Löse- oder Extraktionsprozesse von der festen in eine flüssige Phase überführt. Die Schadstoffe gelangen hier ähnlich den physikalischen Verfahren in das Waschwasser, das in einem nachgeschalteten Aufbereitungsprozeß gereinigt wird (Bild 7.10).

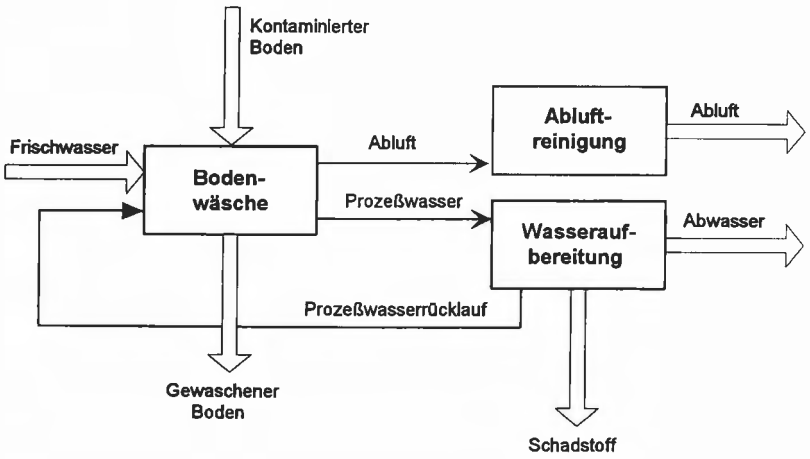
Eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Reinigungsverfahrens ist die entsprechende Korngrößenverteilung des Ausgangsmaterials. Der Feinkornanteil darf nicht zu hoch sein, um eine Verschlammung des Waschwassers zu vermeiden. Andererseits darf die Körnung auch nicht zu groß sein, damit eine ausreichend große Oberfläche für die Austausch- und Löseprozesse zur Verfügung steht.

Waschverfahren sind zur Reinigung sowohl für organisch als auch für anorganisch verunreinigte Baustoffe geeignet, solange die Verunreinigung oberflächlich vorliegt. Die Reinigung von Gleisschotter wird z. B. im großtechnischen Maßstab über Waschverfahren realisiert. Diese Verfahren sind nicht für Baustoffe geeignet, die von Schadstoffen durchdrungen sind [7.13].

7.5.3.2 Thermische Reinigungsverfahren

Durch thermische Reinigungsverfahren lassen sich organische Schadstoffe beseitigen. Diese werden in die Grundbausteine (CO_2, H_2O, Stickoxide, Halogenwasserstoffe) zerlegt. Voraussetzung dafür ist eine vollständige Verbrennung der Organika. Der prinzipielle Verfahrensablauf einer thermischen Reinigung wird in Bild 7.11 verdeutlicht.

Bild 7.10: Verfahrensablauf beim Bodenwaschen [7.10]

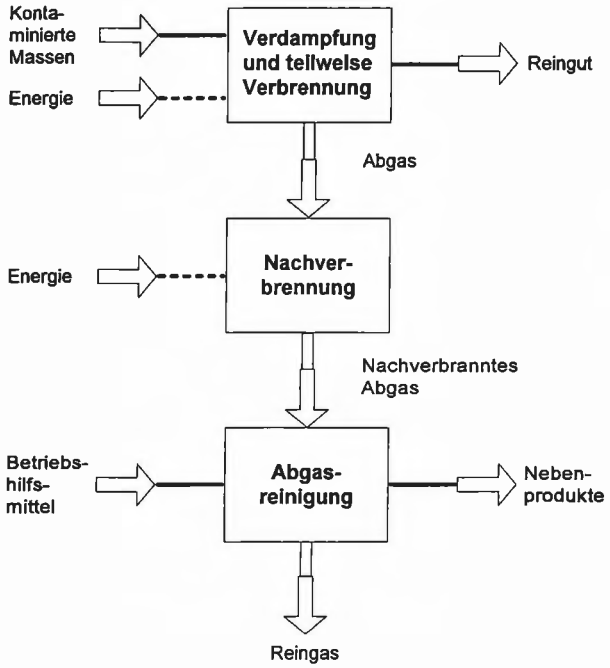


Die wesentlichen Elemente bestehen aus einer Vortrocknung, einem Verbrennungsofen (Drehrohrofen), einer Nachbrennkammer für die Rauchgase und einer Abgasreinigung. Das Verfahren ist sehr energieaufwendig und für die Entfernung von Schwermetallen ungeeignet. Diese werden allerdings immobilisiert [7.4].

7.5.3.3 Mikrobiologische Reinigungsverfahren

Mikrobiologische Reinigungsverfahren sind für den Abbau organischer Verunreinigungen geeignet. Der Schadstoffabbau erfolgt über Mikroorganismen, die entweder speziell für die jeweiligen Schadstoffe gezüchtet werden oder bereits im Material vorhanden sind und die Gefahrstoffe als Nahrung aufnehmen. Dabei werden die Schadstoffe in die Grundbausteine Kohlendioxid und Wasser zerlegt.

Bild 7.11: Aufbau einer thermischen Reinigungsanlage [7.3]



Die Abbaubarkeit hängt dabei wesentlich von der Beschaffenheit der Baustoffe und der Art der Schadstoffe ab. Besonders geeignet ist dieses Verfahren für den Abbau aromatischer Kohlenwasserstoffe (Bild 7.12) [7.4].

7.5.3.4 Spezielle Aufbereitungsverfahren

Für die Aufbereitung von kontaminierten Baustoffen können die gleichen Aggregate und Anlagen verwendet werden wie für nicht kontaminierte. Bei der Verfahrensauswahl sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- ökologische und wasserwirtschaftliche Bestimmungen,
- hydro- und geologische Gegebenheiten,
- Art und Ausmaß der Kontamination,
- bautechnische Aspekte,
- technische Möglichkeiten,
- Garantie des Sanierungsziels,
- Verfügbarkeit und Zeitbedarf des Sanierungsverfahrens,
- Nutzungsplanung und Kostenminimierung.

Für den Betrieb müssen besondere Vorkehrungen getroffen sowie Bestimmungen beachtet werden, die in den RAL-Güte- und Prüfbestimmungen für die Aufbereitung von kontaminierten Böden und Bauteilen (RAL RG 501/2) aufgeführt sind [7.10].

Für Erhaltungs- und Instandhaltungsmaßnahmen für kontaminierte Bauwerke können folgende Verfahren zur Anwendung kommen:

- Heißwasserstrahlen,
- Nieder-, Hoch- und Höchstdruckwasserstrahlen,
- Trockenstrahlen mit festen Strahlmitteln,
- Feuchtstrahlen mit festen Strahlmitteln,
- Flammenstrahlung mit anschließender Nachbehandlung,
- Fräsen und
- Stemmen.

Diese Behandlungsverfahren sind nur bei oberflächlichen Kontaminationen erfolgversprechend. Bei der Verfahrensauswahl spielt die Art und Beschaffenheit der zu bearbeitenden Flächen, die Eindringtiefe und die Konzentration der Gefahrstoffe eine Rolle.

Der Vorteil dieser Verfahren ist, daß die Bausubstanz

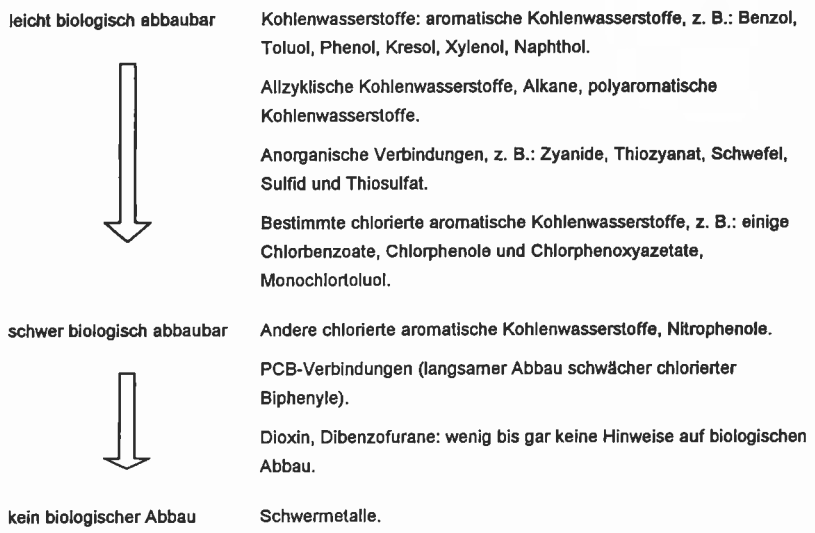


Bild 7.12: Biologische Abbaubarkeit von verschiedenen Stoffen [7.4]

erhalten werden kann. Als nachteilig erweist sich, daß feste oder flüssige Strahlmittelrückstände entstehen, die die Schadstoffe enthalten und entsorgt werden müssen [7.13].

7.6 Literatur

[7.1] *Bredenbals, B., Willkomm, W.:* Kontaminierte Bauteile im Hochbau – Vermeidung, Erkennung, Behandlung, Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (Hrsg.) Bonn, RKW-Verlag Köln, 1991

[7.2] *Butenschön, F., Fuhrhop, J.P.:* Ablagerung von asbesthaltigen Abfällen nach TA Siedlungsabfall, 6. Asbestkongreß 1994, UTECH Berlin Tagungsband, S. 109–110

[7.3] *Dungs, H.:* Mobile Anlage – schwimmend – zur thermischen Reinigung kontaminierter Schüttgüter, in *K.J. Thome-Kozmiensky* (Hrsg.), Altlasten 2, EF-Verlag, Berlin 1988

[7.4] *Gewiese, A., Gladitz-Funk, I., Schenk, B.:* Recycling von Baureststoffen, Kontakt & Studium, Band 390, INTECUS, TAE, expert-Verlag, 1994

[7.5] INTECUS GmbH Potsdam: Pilotprojekt – Schließung ungeordneter Abfallablagerungen unter Einsatz von Baureststoffen im Umland von Berlin, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung Brandenburg, unveröffentlicht, Nov. 1994

[7.6] *Kolb, W., Rohou, P.:* Möglichkeiten und Grenzen des selektiven Rückbaus von Industriebrachen am Beispiel der ehemaligen Halberger Hütte in Ludwigshafen, Vortrag zum AWS in Berlin 1993

[7.7] *N. N.:* Handbuch für Altlastensanierung, LAGA Informationsschrift Altlasten, 1990

[7.8] *N. N.:* Informationen der Bauunternehmung Bergfort, Essen

[7.9] *N. N.:* ISAL-Erfassungssystem, Landesumweltamt Brandenburg Potsdam 1992;

[7.10] *N. N.:* Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen RAL-RG 501/2, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V., Bonn Juni 1994

[7.11] *Rosenkranz, Einsele, Harreß:* Bodenschutz, Lose Blattsammlung, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1988

[7.12] uve: Luftbildaufnahmen vom Standort Flugplatz Brandenburg-Briest, Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung des Landesvermessungsamtes Brandenburg

[7.13] *Wagner, S.:* Abbruch- und Aufbereitungsverfahren für kontaminierte Baureststoffe, Vortrag zum Lehrgang der TA Esslingen „Recycling von Baureststoffen" 1993 in Dresden

[7.14] *Weber, H.-H., et al.* (Hrsg.): Altlasten –Erkennen, Bewerten, Sanieren. Springer Verlag, Berlin 1990

8. Qualitätsanforderungen an Recycling-Baustoffe

8.1 Technische Beurteilung

8.1.1 Aufbereitung von nicht kontaminierten Baustoffen

Qualitativ hochwertige Recycling-Baustoffe, die nicht an minderwertiger Stelle wie Hinterfüllungen oder Lärmschutzwällen eingesetzt werden sollen, unterliegen wie konventionelle Baustoffe einer Qualitätsprüfung. Die Anforderungen an Recycling-Baustoffe sollten dabei die Möglichkeit einer mehrmaligen Wiederverwertung einschließen [8.4].

Hinsichtlich der Prüfungen und Anforderungen für RC-Baustoffe haben die Erfahrungen der letzten Jahre die Notwendigkeit von Anpassungen gezeigt. Die Änderung der Richtlinien für die Güteüberwachung sowie die Einführung von Technischen Lieferbedingungen für RC-Baustoffe stellen die technische Umsetzung dieser Erkenntnis dar.

Ein verstärkter Einsatz im Hochbau bedingt auch hier die Notwendigkeit, die vorhandenen Technischen Regelwerke zu überprüfen. Zur Zeit ist der Einsatz von Recycling-Beton im Hochbau nur mit einer Einzelfallzulassung durch das Institut für Bautechnik, Berlin möglich. Eine Normung von Recycling-Beton ist jedoch nicht in Aussicht [8.1].

Die Qualitätssicherung für Baustoffe im Straßenbau basiert hauptsächlich auf folgende drei Vorschriften:

Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB 83);

Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB 82);

Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB 93).

In den TL Min-StB sind die Lieferbedingungen, in den RG Min-StB die Güteüberwachung und in den TP Min-StB die Prüfverfahren geregelt. Die Technischen Vorschriften und die Zusätzlichen Technischen Vorschriften (ZTVT) legen Mindestanforderungen an den Baustoff bzw. das Baustoffgemisch in Abhängigkeit vom Verwendungszweck fest.

Als erstes Technisches Regelwerk wurde die RG Min-StB 93 in Teilen neu gefaßt, so daß jetzt auch die Prüfungen für die Güteüberwachung von Recycling-Baustoffen geregelt sind. Danach soll die Bekanntgabe güteüberwachter Lieferwerke in regelmäßig erscheinenden Listen (z.B. Amtsblättern) erfolgen. Die Straßenbauverwaltungen können vom Auftragnehmer als Nachweis der Güteüberwachung die Vorlage des letzten Prüfzeugnisses verlangen. Ferner sollen die Straßenbauverwaltungen darauf dringen, daß bei Anlieferung der Baustoffe die Güteüberwachung nachgewiesen wird.

Die Güteüberwachung gemäß RG Min-StB 93 umfaßt neben die Eigen- und Fremdüberwachung einen Eignungsnachweis des Recycling-Unternehmens. Der Eignungsnachweis besteht aus einer Erstprüfung und einer Betriebsbeurteilung. Die beim Eignungsnachweis und bei der Güteüberwachung anzuwendenden Prüfverfahren und die Häufigkeit der Prüfungen sind für Recycling-Baustoffe in Tabelle 8.1 dargestellt. Die Prüfstellen müssen von den obersten Straßenbaubehörden der Länder nach RAP-Stra (Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen im Straßenbau) anerkannt sein [8.3].

Für die Erstprüfung werden von Mitarbeitern der Prüfstelle Proben an der Aufbereitungsanlage entnommen. Bei der Betriebsbeurteilung werden die Aufbereitung, Lagerung, Dosierung und Verladung der Einzelkörnungen oder Gemische beurteilt. Hierbei ist auch die Funktionsfähigkeit des Betriebslabors für die Eigenüberwachung zu begutachten.

Für die Fremdüberwachungen werden gleichfalls von Mitarbeitern der Prüfstelle Proben in der Aufbereitungsanlage gezogen und gemäß Tabelle 8.1 geprüft. Die Prüfstelle stellt Eignungsnachweise und Fremdüberwachungszeugnisse mit dem Ergebnis aller Prüfungen aus. Diese werden dem Baustoff-Recyclingunternehmen und den zuständigen Straßenbaubehörden zugestellt. Der Ablauf einer Güteüberwachung ist in Bild 8.1 gezeigt.

Bei den Prüfungen für die Güteüberwachung von Recycling-Baustoffen wird auf die TL Recycling-Baustoffe verwiesen. Die Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel (TL RC-ToB) liegen zur Zeit in einer noch nicht veröffentlichten Ausgabe vor. Die Einführung ist für das erste Halbjahr 1995 geplant. Die TL RC-ToB gelten für Recycling-Baustoffe aus gebrauchten Mineralstoffen bzw. Recycling-Baustoff-Gemischen (RC-Baustoffe mit ungebrauchten Baustoffen). Hinsichtlich der bautechnischen Anforderungen gelten die TL Min StB bzw. die ZTVT-StB, wobei die nachfolgend aufgeführten Ergänzungen der TL RC-ToB zu beachten sind [8.10]:

Hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung sind mit Teer und teerhaltigen Bindemitteln gebundene Massen auszuschließen. Ebenso dürfen bindige Böden, verwitterte und witterungsempfindliche Gesteine und ähnliche ungeeignete mineralische Massen nicht verwendet werden. Folgende Stoffgruppen werden begrenzt:

- Asphaltgranulat auf max. 30 Gew.-%,
- Klinker, dichte Ziegel und Steinzeug im Anteil > 4 mm auf max. 25 Gew.-%,
- Kalksandstein, weich gebrannte Ziegel, Putze und ähnliche Stoffe im Anteil > 4 mm auf max. 5 Gew.-%.

Höhere Anteile an diesen Stoffgruppen sind nur zulässig, wenn nachgewiesen ist, daß diese sich nicht nachteilig auswirken. Der Anteil an Fremdstoffen wie Holz, Gummi, Kunststoffen und Textilien darf zusammen 0,2 Gew.-% nicht überschreiten. Die Anteile an Ziegel werden z.Zt. stark diskutiert. Der bisherige Grenzwert von max. 10 Gew.-% war bislang bautech-

Tabelle 8.1: Prüfungen für die Güteüberwachung von RC-Baustoffen gemäß RG Min-StB 93

Lfd. Nr.	Prüfgegenstand	Prüfverfahren	Eignungs-nachweis	Güteüberwachung	
				E	F
1	Eingangskontrolle Lagerkennzeichnung	TL Recycling-Baustoffe*	x	t[2)]	4
2	Aufbereitung, Lagerung	DIN 52 101 Anhänge A + B	x	t[1)]	4
3	Durchführung der Eigenüberwachung		x		4
4	Stoffliche Zusammensetzung	TL Recycling-Baustoffe*	x	w	4
5	Widerstand gegen Verwitterung, falls erforderlich				
	a) Wasseraufnahme Atm. Druck	DIN 52 103	x		4
	b) Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel	DIN 52 104 Tl. 1, Verfahren N	x		2
	c) Bes. Prüfungen zur Raumbeständigkeit	je nach stofflicher Zusammensetzung	x		4
6	Widerstand gegen Schlag	DIN 52 115			
	a) Splitt, Kies[3)]	Teil 3	x		2
	b) Schotter[3)]	Teil 2	x		2
7	Korn-/Stückgrößenverteilung	DIN 52 098 MB für die Lieferung von Asphaltgranulat	x	w	4
8	Kornform	DIN 52 114	x	w	4
9	Bruchflächigkeit	DIN 52 116	x	w	4
10	Reinheit und schädliche Bestandteile	DIN 52 099, DIN 4226 Teil 3	x	t[1)]	4
11	Dichte	DIN 52 102	x		4
12	Wasserwirtschaftliche Merkmale	FGSV-Arbeitspapier 28/1	x		4
13	Falls erforderlich				
	a) Affinität zu bitumenhaltigen Bindemitteln	DIN 1996 Teil 10	x		2
	b) Widerstand gegen Hitzebeanspruchung	TP Min 4.5.1	x		2

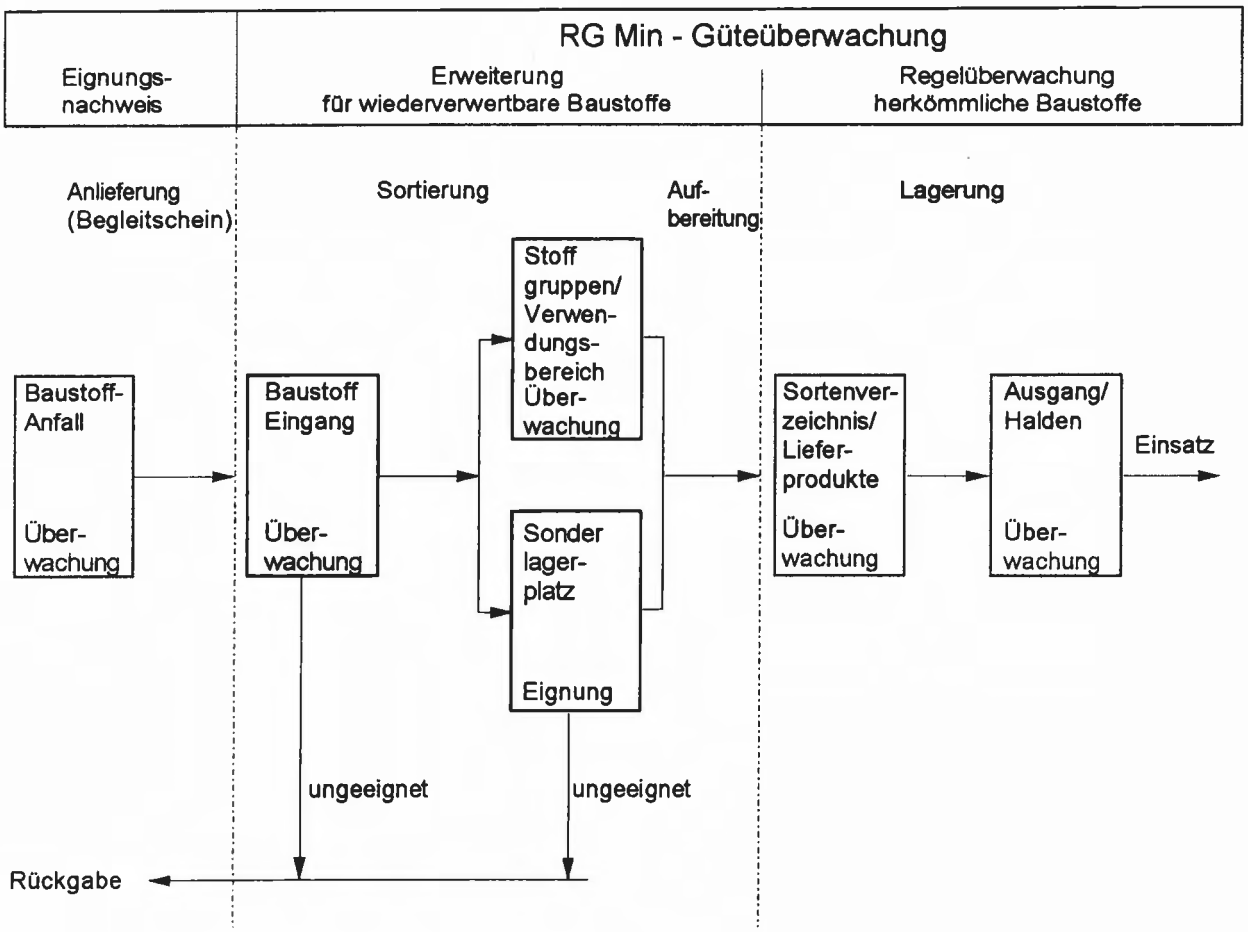
Eignungsnachweis
× ist durchzuführen

Fremdüberwachung
2 = zweimal im Jahr, 4 = viermal im Jahr

Eigenüberwachung je Lieferkörnung bzw. Gemisch
t = täglich, w = wöchentlich, 1) = nach Augenschein, 2) = laufend, 3) = zu prüfen ohne die Anteile an Ausbauasphalt

/* TL RC-ToB – „Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel"; bis zu deren Erscheinen im 1. Halbjahr 1995 gilt das „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen".

Bild 8.1: Ablauf der Güteüberwachung gemäß RG Min StB 93



nisch nicht überprüft, sondern sollte lediglich eine Verwertung von Baustoff-Gemischen mit geringen Ziegelanteilen gewährleisten (siehe hierzu Kap. 9.1).

Hinsichtlich der bautechnischen Eigenschaften und technischen Prüfungen enthalten die TL RC-ToB gegenüber der TL Min-StB weitere Ergänzungen hinsichtlich der Raumbeständigkeit, der Bruchflächigkeit, dem Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel und gegen Schlag. Außerdem werden wasserwirtschaftliche Merkmale angeführt, die in Kapitel 8.2 detaillierter vorgestellt werden.

Für die Erlangung des Gütezeichens RAL-RG 501/1 sind zusätzliche Güte- und Prüfbestimmungen notwendig. Dieses Gütezeichen wird an Mitglieder der Gütegemeinschaft Recycling Baustoffe e. V. auf Antrag vergeben. Die Gütesicherung besteht seit 1985. Eine Überarbeitung ist zur Zeit in der Abstimmung der einzelnen Gremien.

Der Grundgedanke bei der Entwicklung der Güte- und Prüfbestimmungen Mitte der achtziger Jahre war, für Baustoffe aus aufbereiteten gebrauchten Mineralstoffen eine Güteprüfung analog zu den Primärbaustoffen und anderen industriellen Nebenprodukten zur Verfügung zu stellen. In der RAL-RG 501/1 werden die Recycling-Baustoffe gemäß den bautechnischen Anforderungen in drei Klassen eingeteilt [8.7].

Klasse I:

Baustoffe für Oberbauschichten im Straßenbau, die die Gütebestimmungen nach Tabelle 1 der Ral RG 501/1 erfüllen; die Anforderungen nach dieser Tabelle gelten für die Stoffe, die entsprechend dem Abschnitt 3 „Geltungsbereich der TL-Min-StB" zu verwenden sind.

Klasse II:

Baustoffe für Oberbauschichten im Straßenbau, die nicht entsprechend dem Abschnitt 3 „Geltungsbereich der TL-Min-StB" zu verwenden sind, jedoch die Gütebestimmungen nach Tabelle 3 RAL erfüllen.

Klasse III:

Baustoffe für Lärmschutzwälle, Unterbau, Untergrundverbesserungen, die die Gütebestimmungen nach Tabelle 5 RAL erfüllen.

Die Überarbeitung der RAL RG 501/1 wird in Anlehnung an die TL RC-ToB durchgeführt. Es ist zu erwarten, daß die Anforderungen an RC-Baustoffe der Güteklasse II der RAL RG 501/1 an die Anforderungen der TL RC-ToB angeglichen werden. Die RC-Baustoffe sind im klassifizierten Straßenbau einsetzbar. Eine weitere Änderung der RAL RG 501/1 wird darin bestehen, daß das Gütezeichen in Zukunft die Güteklasse und die Lieferkörnung enthalten wird. Dies ist zuneh-

mend wichtiger, da auch für Sand/Splitt-Körnungen das Gütezeichen beantragt wird. Der Prüfrhythmus der Fremd- und Eigenüberwachung bleibt unverändert. Die überarbeitete RAL RG 501/1 wird voraussichtlich 1995 vorliegen [8.6].

8.1.2 Aufbereitung von kontaminierten Baustoffen

Für den Bereich der Aufbereitung von kontaminierten Baustoffen liegt seit Juni 1994 die überarbeitete Fassung der Güte- und Prüfbestimmungen der RAL RG 501/2 „Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen" vor. Zielsetzung dieser Güte- und Prüfbestimmungen ist die Definition von Qualitätsanforderungen, die für die Aufbereitung und spätere Wiederverwertung erforderlich sind. Die Güte- und Prüfbestimmungen gelten für [8.8]:

- Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden bei In-Situ-, On-Site- und Off-Site-Behandlung.
- Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Bauteilen, die in eingebautem Zustand verbleiben (in-situ).
- Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Bauteilen, die beim Abbruch von Gebäuden anfallen und on-site oder off-site aufbereitet werden.

Die Qualitätsanforderungen beziehen sich auf drei Verwertungsklassen gemäß Tabelle 1 der RAL RG 501/2 unter Berücksichtigung von drei Sicherheitsstufen. Die Verwertungsklassen enthalten dabei die einzuhaltenden Grenzwerte für die jeweilige Verwertung. Die Grenzwerte sind den Güte- und Prüfbstimmungen zu entnehmen. Die stofflichen Prüfungen erfolgen überwiegend analog den DIN-Normen und DEV-Methoden.

Grundsätzlich ist die Verwertung von aufbereiteten kontaminierten Böden und Bauteilen mit den für den Verwendungsort zuständigen Fachbehörden abzustimmen. Diese müssen im Einzelfall standortbezogen über den Einsatz entscheiden.

Die Werte der Verwertungsklasse 1 für Schwermetalle liegen im Bereich der geogenen Grundlast. Baustoffe der Verwertungsklasse 1 sind generell einsetzbar, wenn dem keine standortspezifischen Bedingungen entgegenstehen.

Die Verwendung von Baustoffen der Verwertungsklasse 2 als Unterboden ist grundsätzlich geeignet. Es ist abzustimmen, ob eine Analyse der relevanten Parameter in der Trockensubtanz, im Eluat oder in beidem durchzuführen ist.

Die Verwendung der Baustoffe der Verwertungsklasse 3 ist grundsätzlich geeignet für die Verfüllung von Gruben und Aufschüttungen mit abgedeckter Oberfläche unter Beachtung der Grundwasserverhältnisse, wenn dem keine standortspezifischen Bedingungen entgegenstehen.

Das Gütezeichen wird auf Antrag erteilt. Die Güteüberwachung umfaßt eine Erstprüfung unter besonderer Berücksichtigung der Sicherheitsstandards sowie der technischen und analytischen Ausstattung für die Eigenüberwachung. Der Gütezeichenbenutzer ist verpflichtet, für die Eigenüberwachung und eine kontinuierliche Überwachung der Einhaltung festgelegter Anforderungen selber Sorge zu tragen. Die Fremdüberwachung wird von neutralen Sachverständigen bzw. Prüfinstituten durchgeführt. Der Fremdüberwacher muß durch die Gütegemeinschaft anerkannt sein [8.8].

8.2 Umwelttechnische Anforderungen

Bei der Verwertung von Recycling-Baustoffen im Straßen- oder Wegebau muß gewährleistet werden, daß die Materialien keine Stoffe enthalten, die zu einer Gefährdung des Grundwassers und Bodens führen können. Voraussetzung für den Einsatz von Sekundär-Baustoffen ist daher neben der technischen Eignung der Nachweis der Umweltverträglichkeit.

Die Beteiligten (Produzenten, Anwender, Nutzer) stehen vor dem Problem, daß es keine bundesweit einheitlichen Grundsätze zur Untersuchung und Bewertung der Recycling-Baustoffe aus ökologischer Sicht gibt. Zur Festsetzung von Beurteilungskriterien werden in den einzelnen Bundesländern bisher unterschiedliche Grenzwertlisten herangezogen (siehe Kapitel 8.3). Zum einen variieren diese Grenzwerte bei einzelnen Substanzen, zum anderen gibt es unterschiedliche Einsatzbeschränkungen für Recycling-Baustoffe in grundwassersensiblen Bereichen.

Daher soll eine bundesweite Vereinheitlichung der Anforderungen mit folgenden Technischen Regeln erreicht werden. Voraussetzung für die Einhaltung der dort geforderten Grenzwerte ist die Durchführung einer Eigenkontrolle an der Anlage (Multikontrollsystem):

- Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) vom 1. März 1994,
- FGSV-Arbeitspapier Nr.28, Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen; Teil: Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit, Fassung 1994
- Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel (TL RC-ToB, Version 1994

8.2.1 Durchführung der Eigenkontrolle an der Anlage

In der Praxis erfolgt bei stationären Anlagen die erste Prüfung auf Umweltverträglichkeit bei der Anlieferung der aufzubereitenden Materialien an der Anlage. Diese Input-Kontrolle erfolgt im Rahmen eines Multikontrollsystems (Qualitätssicherungssystem):

Stufe 1:

Die erste Stufe stellt die Begutachtung der Baustoffe hinsichtlich des Aussehens und des Geruchs durch eine Sichtkontolle an der Eingangswaage dar. Diese Eingangsüberwachung ist als ein Bestandteil der Güteüberwachung anzusehen. Bei Anlieferung der wiederzuverwertenden Baustoffe muß über eine Vorsortierung an der Anlage bereits eine Verwendbarkeitsqualifikation erfolgen. Da Begleitscheinverfahren oder Erfassungsblätter noch nicht allgemein üblich sind, muß sich der Aufbereiter über eine Eingangsüberwachung selbst Angaben über die Abbruchbau-

Tabelle 8.2: Dreistufiges Vorgehen zur Bestimmung der Umweltverträglichkeit an der Anlage [8.12]

1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe
organoleptische Prüfungen: – Aussehen – Geruch	Leitfähigkeit, pH-Wert, Härte, gelöster organsicher Kohlenstoff (DOC)	Salzgehalt: Magnesium, Calcium, Kalium, Natrium, chlorid, Sulfat, Nitrat
Herkunft	evtl. qualitativ Schwermetalle	Schwermetalle Chrom, Cadium, Blei, Zink
		Stoffspezifische Prüfungen aufgrund von Erfahrungen oder der Herkunft (z.B. Arsen, Kupfer, Nickel, Phenole, PAK, PCB etc.)

stelle und über evt. mit Schadstoffen kontaminierte Baustoffe verschaffen. Ansonsten geht er das Risiko ein, Baustoffe anzunehmen, die belastet oder technisch nicht verwertbar sind [8.9].

Stufe 2:

In der zweiten Stufe erfolgt eine Schnellanalytik auf Leitfähigkeit, pH-Wert sowie etwaige Schwermetallbelastungen vor Ort im eigenen Labor. Die Leitfähigkeit gibt Aufschluß über den Gesamtgehalt an gelösten Salzen, der pH-Wert ist eine Kenngröße für die Aggressivität der Böden und Wässer, mit denen das Material in Verbindung stand. Beide Kenngrößen können Hinweise über mögliche Schadstoffgehalte (schädliche Salze, Schwermetalle, organische Verunreinigungen) geben. Schwermetallbelastungen lassen sich qualitativ mit Hilfe von Meßstreifen nachweisen. Teerhaltige Bindemittel können mit einer speziellen Prüfpistole bestimmt werden.

Zeigt das Material nach den Stufen 1 und 2 keine Schadstoffbelastungen, werden die Anforderungen an die Umweltverträglichkeit erfüllt. Die Baustoffe können in das Eigentum des Aufbereiters übergehen. Der Begleitschein bzw. Lieferschein wird ausgestellt. Die Stufe 3 kann entfallen.

Stufe 3:

Besteht der Verdacht auf Kontaminationen, muß das Material auf einen speziell abgedichteten Sicherstellungsbereich entladen werden. Es folgen qualitative und quantitative Analysen nach Prüfverfahren aus dem Bereich der Wasser-, Abwasser- und Bodenuntersuchung. Einheitliche Prüfverfahren bezüglich des Auslaugverhaltens von Recycling-Baustoffen (Eluat und Feststoffanalysen) sind derzeit in der Abstimmungsphase.

In Tabelle 8.2 ist eine Zusammenstellung der einzelnen Prüfstufen mit den jeweils zu untersuchenden Parametern aufgeführt.

Erst wenn die Eingangsüberwachung bzw. die Eigenkontrolle ein positives Ergebnis zeigt, also keine Schadstoffbelastungen vorliegen, sollte das Material endgültig angenommen werden.

8.2.2 Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

Die Technischen Regeln der LAGA sollen mit einer dreijährigen Frist von den Ländern bundeseinheitlich eingeführt werden. Die Befristung endet am 31. 12. 1997. Eine Umsetzung in den Bundesländern steht z. Zt. noch aus [8.5].

Die „Technischen Regeln für mineralische Reststoffe und Abfälle aus dem Baubereich, Altlasten und Schadensfällen" gelten für die in Tabelle 8.3 aufgeführten Stoffgruppen. Da bisher lediglich die Technischen Regeln für Boden verabschiedet wurden, beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen z. Zt. ausschließlich auf Bodenaushub.

Bei den in den Technischen Regeln festgelegten Zuordnungswerten handelt es sich um Vorsorgewerte, die vor allem aus der Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes festgelegt wurden. Diese gelten nicht für die spezifische Vorgehensweise im Altlastenbereich. Die Zuordnungswerte sollen unter Berücksichtigung des Gefährdungspotentials eine umweltver-

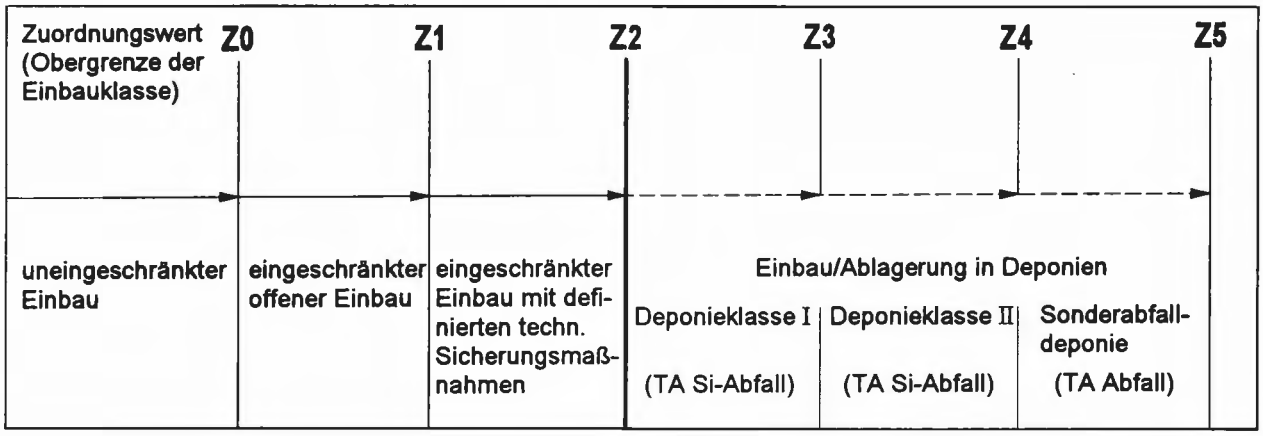
Tabelle 8.3: Geltungsbereich der Technischen Regeln der LAGA

Abfallschlüssel	Reststoffschlüssel	Bezeichnung
314 09		Bauschutt (nicht Baustellenabfälle nach 912 06) [1])
314 10		Straßenaufbruch [2])
314 11		Bodenaushub
314 23	314 23	ölverunreinigter Boden
314 24	314 24	Boden mit sonstigen schädlichen Verunreinigungen
314 41	314 41	Bauschutt und Bodenaushub mit schädlichen Verunreinigungen [2])

[1]) Für Bauschutt liegt ein Entwurf für die Technischen Regeln vor.

[2]) Diese Baustoffgruppen werden zu einem späteren Zeitpunkt in die Technischen Regeln aufgenommen.

Bild 8.2: Darstellung der einzelnen Einbauklassen mit den dazugehörigen Zuordnungswerten



trägliche Verwertung der Materialien ermöglichen (Bild 8.2).

Es besteht die Forderung, daß die für die Verwertung maßgeblichen Konzentrationen weder durch Zugabe von geringer belastetem Material gleicher Herkunft noch durch Vermischung mit anderem unbelastetem Material verändert werden darf (Verdünnungsverbot). Bei Gemischen dürfen die Einzelstoffe die festgelegten Zuordnungswerte nicht überschreiten.

Materialien, die verwertet werden sollen, sind getrennt zu halten. Diese dürfen grundsätzlich vor der Untersuchung und Beurteilung nicht vermischt werden, auch wenn die Materialien die gleichen Abfallschlüssel aufweisen (Vermischungsverbot). Eine Vermischung nach der Bewertung ist zulässig.

Entscheidend für die Bewertung des Gefährdungspotentials sind die Mobilisierbarkeit und der Transfer von Schadstoffen. Die Bewertung bezieht sich dabei auf

- den verfügbaren (mobilen) Anteil der Schadstoffe (Eluatanalyse) und
- den Gesamtgehalt (Feststoffanalyse).

Die Untersuchungsparameter und die Konzentrationen der jeweiligen Inhaltsstoffe im Eluat und im Feststoff sind stoffspezifisch im Teil II der Technischen Regeln ausgeführt und festgelegt.

Vor Beginn einer Baumaßnahme ist zunächst durch Inaugenscheinnahme und Auswertung vorhandener Unterlagen zu prüfen, ob mit einer Schadstoffbelastung des anstehenden Bodens zu rechnen ist. Auf dieser Grundlage ist zu entscheiden, ob zusätzliche Untersuchungen durchzuführen sind. Ergibt die Vorerkundung einen Verdacht auf Kontaminationen, sind chemische Analysen erforderlich. Der Umfang richtet sich nach den Vorkenntnissen:

- Bei spezifischem Verdacht ist die Analytik auf die Schadstoffbelastung auszurichten, die mit der Nutzung in Zusammenhang stand oder den Schaden verursacht hat. Hierbei sind auch Bodenparameter wie pH-Wert, Anteil organischen Materials, Tongehalt etc. zu ermitteln.
- Handelt es sich um einen allgemeinen, unspezifischen Verdacht, wie z. B. im Fall langandauernder, wechselnder gewerblicher Nutzung bzw. läßt sich das Stoffspektrum nicht eindeutig abgrenzen, ist zunächst das Mindestuntersuchungsprogramm nach Tabelle 8.4 durchzuführen.

Die Technischen Regeln führen im einzelnen aus, wann grundsätzlich ein Untersuchungsbedarf besteht. Eine Wiederverwertung von Bodenaushub ist soweit wie möglich anzustreben. Gegebenenfalls ist ein getrennter Ausbau von Einzelbestandteilen wie Sanden und Kiesen vorzunehmen.

In Abhängigkeit von den Schadstoffgehalten wird der Boden festgelegten Einbauklassen zugeordnet. Die Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 stellen die Obergrenze der jeweiligen Einbauklasse bei der Verwendung von Boden im Erd-, Straßen-, Landschafts- und Deponiebau (z.B. Abdeckungen) sowie bei der Verfüllung von Baugruben und Rekultivierungsmaßnahmen dar.

Z 0 Uneingeschränkter Einbau

Die Gehalte bis zum Zuordnungswert Z 0 kennzeichnen natürlichen Boden. Für Arsen und Schwermetalle decken diese den weit überwiegenden Teil des natürlichen Schwankungsbereiches ab. Diese spiegeln naturnahe Verhältnisse wieder. Für organische Schadstoffe sind die Werte angegeben, die im anthropogen wenig beeinflußten Boden vorkommen.

Bei Unterschreiten der in den Tabellen aufgeführten Z 0-Werte ist davon auszugehen, daß die Schutzgüter nicht beeinträchtigt werden. Ein uneingeschränkter Einbau von Boden ist möglich. Zusätzliche Regelungen bleiben hiervon unberührt.

Für die Bewertung sind in der Regel die Feststoffwerte (Tabelle 8.5) sowie die Parameter pH-Wert und Leitfähigkeit (Tabelle 8.6, s. S. 84) ausreichend. Liegen weitere Eluatwerte vor, gelten die Zuordnungswerte Z 0 der Tabelle 8.6.

Auf den Einbau von Boden aus der Bodenbehandlung und der Altlastensanierung soll in der Regel auf besonders sensiblen Flächen aus Vorsorgegründen verzichtet werden. Besonders sensible Flächen sind:

- Kinderspiel- und Bolzplätze,
- Sportanlagen, Schulhöfe (nicht versiegelt),
- Klein- und Hausgärten, gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzte Fläche sowie
- festgesetzte oder geplante Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiete (Zone I und II).

Tabelle 8.4: Mindestuntersuchungsprogramm für Boden bei unspezifischem Verdacht

Parameter	Boden ohne Fremdbestandteile		Boden mit mineralischen Fremdbestandteilen (bis 10 Vol. %)	
	Feststoff	Eluat[1]	Feststoff	Eluat
Kohlenwasserst.	x		x	
EOX	x		x	
Arsen	x	x[2]	x	x[2]
Blei	x	x[2]	x	x[2]
Cadmium	x	x[2]	x	x[2]
Chrom (ges.)	x	x[2]	x	x[2]
Kupfer	x	x[2]	x	x[2]
Nickel	x	x[2]	x	x[2]
Quecksilber	x	x[2]	x	x[2]
Zink	x	x[2]	x	x[2]
Chlorid				x
Sulfat				x
pH-Wert	x	x[2]	x	x[2]
el. Leitfähigkeit		x		x
Organoleptische Prüfung	x		x	
HCL-Test (10%)	x		x	

1) In begründeten Einzelfällen (Belastungen aufgrund der Herkunft oder Nutzung unter atypischen Umgebungsbedingungen) kann es erforderlich sein, den verfügbaren (mobilen) Anteil mit bodenrelevanten Methoden zu untersuchen.

2) Wenn Feststoff > Z0 oder pH-Wert im Feststoff < 5

In Gebieten, in denen die natürliche Grundbelastung einschließlich der allgemein vorhandenen anthropogenen Zusatzbelastung über den Z 0-Werten liegt, ist in der Regel die Verwertung des dort anfallenden Bodens bis zu diesen höheren Werten möglich.

Z 1 Eingeschränkter offener Einbau

Die Zuordnungswerte Z 1 stellen die Obergrenze für den offenen Einbau unter Berücksichtigung bestimmter Nutzungseinschränkungen dar. Maßgebend für die Festlegung der Werte ist in der Regel das Schutzgut Grundwasser.

Grundsätzlich gelten die Z 1.1-Werte. Bei Einhaltung dieser Werte ist selbst unter ungünstigen hydrogeologischen Voraussetzungen davon auszugehen, daß keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers auftreten.

Darüber hinaus kann in hydrogeologisch günstigen Gebieten Boden mit Gehalten bis zu den Zuordnungswerten Z 1.2 eingebaut werden. Dies gilt bei Bodenaustausch und -ersatz nur für Flächen, die bereits eine Vorbelastung des Bodens > Z 1.1 aufweisen (Verschlechterungsverbot). Hydrogeologisch günstig sind u.a. Standorte, bei denen der Grundwasserleiter nach oben durch flächig verbreitete, ausreichend mächtige Deckschichten mit hohem Rückhaltevermögen gegenüber Schadstoffen überdeckt ist. Dieses Rückhaltevermögen ist in der Regel bei mindestens 2 m mächtigen Deckschichten aus Tonen, Schluffen oder Lehmen gegeben.

Aufgrund der im Vergleich zu den Zuordnungswerten Z 1.1 höheren Gehalte ist bei der Verwertung bis zur Obergrenze Z 1.2 ein Erosionsschutz (z. B. geschlossene Vegetationsdecke) erforderlich.

Folgerungen für die Verwertung:

Bei Unterschreitung der Zuordnungswerte Z 1 (Z 1.1 und ggf. Z 1.2) ist ein offener Einbau von Boden in Flächen möglich, die in Hinblick auf ihre Nutzung als unempfindlich anzunehmen sind.

Dies können sein:

- bergbauliche Rekultivierungsgebiete,
- Straßenbau und begleitende Erdbaumaßnahmen,
- Industrie-, Gewerbe- und Lagerflächen,
- Parkanlagen, soweit diese eine geschlossene Vegetationsdecke haben und
- „Ruderalflächen", soweit diese nicht dem Biotopschutz unterstehen.

Tabelle 8.5: Zuordnungswerte Feststoff für Boden

Parameter	Einheit	Zuordnungswerte			
		Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
ph-Wert /[1]		5,5 - 8	5,5 - 8	5 - 9	–
EOX	mg/kg	1	3	10	15
Kohlenwasserst	mg/kg	100	300	500	1.000
Σ BTEX	mg/kg	< 1	1	3	5
Σ LHKW	mg/kg	< 1	1	3	5
Σ PAK n. EPA	mg/kg	1	5 /[2]	15 /[3]	20
Σ PCB (nach DIN 51527)	mg/kg	0,02	0,1	0,5	1
Arsen	mg/kg	20	30	50	150
Blei	mg/kg	100	200	300	1.000
Cadmium	mg/kg	0,6	1	3	10
Chrom (ges.)	mg/kg	50	100	200	600
Kupfer	mg/kg	40	100	200	600
Nickel	mg/kg	40	100	200	600
Quecksilber	mg/kg	0,3	1	3	10
Thallium	mg/kg	0,5	1	3	10
Zink	mg/kg	120	300	500	1.500
Cyanide (ges.)	mg/kg	1	10	30	100

1) Niedrige pH-Werte stellen allein kein Ausschlußkriterium dar. Bei Überschreitungen ist die Ursache zu prüfen.

2) Einzelwerte für Naphtalin und Benzo-[a]-Pyren jeweils < 0,5

3) Einzelwerte für Naphtalin und Benzo-[a]-Pyren jeweils < 1,0

Tabelle 8.6: Zuordnungswerte Eluat für Boden

Parameter	Einheit	Zuordnungswert			
		Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH-Wert [1]		6,5 - 9	6,5 - 9	6 - 12	5,5 - 12
el. Leitfähigkeit	µS/cm	500	500	1.000	1.500
Chlorid	mg/l	10	10	20	30
Sulfat	mg/l	50	50	100	150
Cyanid (ges.)	µg/l	< 10	10	50	100 [2]
Phenolindex [3]	µg/l	< 10	10	50	100
Arsen	µg/l	10	10	40	60
Blei	µg/l	20	40	100	200
Cadmium	µg/l	2	2	5	10
Chrom (ges.)	µg/l	15	30	75	150
Kupfer	µg/l	50	50	150	300
Nickel	µg/l	40	50	150	200
Quecksilber	µg/l	0,2	0,2	1	2
Thallium	µg/l	< 1	1	3	5
Zink	µg/l	100	100	300	600

[1]) Niedrige pH-Werte stellen allein kein Ausschlußkriterium dar. Bei Überschreitungen ist die Ursache zu überprüfen.

[2]) Verwertung für Z 2 > 100 µg/l ist zulässig, wenn Z 2 Cyanid (leicht freisetzbar) < 50 µg/l.

[3]) Bei Überschreitungen ist die Ursache zu prüfen. Höhere Gehalte, die auf Huminstoffe zurückzuführen sind, stellen allein kein Ausschlußkriterium dar.

In der Regel soll der Abstand zwischen der Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand mindestens 1 m betragen.

Ausgenommen hiervon sind:

- festgesetzte oder geplante Trinkwasser- (I – IIIA) und Heilquellenschutzgebiete (I - III),
- Gebiete mit häufigen Überschwemmungen (z.B. Hochwasserrückhaltebecken, eingedeichte Flächen),
- Naturschutzgebiete, Biosphärenreservate,
- sowie die genannten besonders sensiblen Flächen bzw. Nutzungen.

Darüber hinaus ist eine Verwertung bei Überschreitung der Z 1.1-Werte in Gebieten mit agrarischer Nutzung nicht zulässig.

Z 2 Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen

Die Zuordnungswerte Z 2 stellen die Obergrenze für den Einbau von Boden mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen dar. Dadurch soll der Transport von Inhaltsstoffen in den Untergrund und das Grundwasser verhindert werden. Maßgebend für die Festlegung der Werte ist ebenfalls das Schutzgut Grundwasser.

Bei Unterschreitung der Zuordnungswerte Z 2 ist ein Einbau von Boden unter den nachstehend definierten technischen Sicherungsmaßnahmen bei bestimmten Baumaßnahmen möglich:

a) bei Erdbaumaßnahmen (kontrollierte Großbaumaßnahmen) in hydrogeologisch günstigen Gebieten als
   - Lärmschutzwall mit mineralischer Oberflächenabdichtung d > 0,5 m und $k_f < 10^{-8}$ m/s und darüberliegender Rekultivierungsschicht,
   - Straßendamm (Unterbau) mit wasserundurchlässiger Fahrbahndecke und mineralischer Oberflächenabdichtung d > 0,5 m und $k_f < 10^{-8}$ m/s im Böschungsbereich mit darüberliegender Rekultivierungsschicht.

b) ggf. auch im Straßen- und Wegebau, bei der Anlage von befestigten Flächen in Industrie- und Gewerbegebieten (Parkplätze, Lagerflächen) sowie sonstigen Verkehrsflächen (z.B. Flugplätze, Hafenbereiche, Güterverkehrszentren) als
   - Tragschicht unter wasserundurchlässiger Deckschicht (Beton, Asphalt, Pflaster) und
   - gebundene Tragschicht unter wenig durchlässiger Deckschicht (Pflaster, Platten).

Der Abstand zwischen der Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand soll mind. 1 m betragen. Der Einsatz bei Großbaumaßnahmen ist zu bevorzugen. Eine Verwendung von Boden im Deponiekörper, z.B. als Ausgleichsschicht zwischen Abfallschicht und Oberflächenabdichtung, ist ebenfalls möglich. Ausgeschlossen sind Baumaßnahmen

- in festgesetzten oder geplanten Trinkwasser- (I-IIIB) und Heilquellenschutzgebieten (I-IV),
- in Wasservorranggebieten, die im Interesse der Sicherung der künftigen Wasserversorgung raumordnerisch ausgewiesen sind,
- in Gebieten mit häufigen Überschwemmungen (z.B. Hochwasserrückhaltebecken, eingedeichte Flächen),
- in Karstgebieten ohne ausreichende Deckschichten und Randgebieten, die im Karst entwässern sowie Gebiete mit stark klüftigem, besonders wasserwegsamem Untergrund und
- auf Flächen mit sensibler Nutzung.

Bodenmaterial dieser Einbauklasse darf nicht in Drainschichten verwendet werden.

Eigenkontrolle, Qualitätssicherung und Dokumentation

Die Vorgaben für die Untersuchung, Bewertung, den Einbau und die sonstige Verwertung von Boden erfordert eine Qualitätssicherung und Kontrolle. Das entsprechende Verfahren und die zuständigen Stellen sind landeseinheitlich festzulegen.

Der Einbau von Boden mit Gehalten > Z 1.1 (Einbauklassen 1.2 und 2) ist zu dokumentieren. Dieses sollte

Tabelle 8.7: Vorgaben für den Umfang der Dokumentation

Lieferant/ Aufbereiter	Transporteur/ Einbaufirma	Träger der Baumaßnahme	
x	x	x	Ort des Einbaus (Lage, Koordninaten, Flurbezeichnung)
x	x	x	Art der Maßnahme
x	x	x	Art und Herkunft des Bodens
x		x	Gütenachweis, Analysenergebnisse
x		x	Einbauklasse
x	x	x	Menge (ausgeliefert, transportiert, eingebaut)
		x	hydrogeologische Verhältnisse (z.B. Abstand zum höchsten Grundwasserstand, Ausbildung der Deckschicht
		x	Bei Einbauklasse 2 die Art der technischen Sicherungsmaßnahmen
x	x		Träger der Baumaßnahme
	x	x	Aufbereiter
x		x	Transporteur
x	x	x	Einbaufirma

gemäß Tabelle 8.7 geschehen. Einzelheiten zum Verfahren sind durch die zuständigen Länder festzulegen.

Beim Einbau von Mindermengen (< 200 m^3) in der Einbauklasse 1.2 kann mit Ausnahme von gereinigtem Boden aus Bodenbehandlungsanlagen auf die Dokumentation verzichtet werden.

8.2.3 Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel (TL RC-ToB, Version 1994)

Wie ausgeführt, liegen z. Zt. für Bauschutt lediglich ein Entwurf und für Straßenaufbruch noch keine Technischen Regeln der LAGA vor. Hinsichtlich der Wiederverwertung im Bereich des Straßenbaus sind in den Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe (TL RC-ToB) wasserwirtschaftliche Merkmale angegeben. Bezüglich der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit werden die RC-Baustoffe in die Gruppen RC-Baustoffe 2 und RC-Baustoffe 1 eingeteilt. Während die RC-Baustoffe 2 die Regelanforderungen erfüllen, müssen die RC-Baustoffe 1 erhöhten Anforderungen genügen. Die Grenzwerte gemäß TL RC-ToB sind in Tabelle 8.8 aufgeführt. Die Grenzwerte für RC-Baustoffe 2 sind grundsätzlich einzuhalten. Werden die Grenzwerte für RC-Baustoffe 1 nicht überschritten, erfüllt das Material hinsichtlich der wasserwirtschaftlichen Merkmale die erhöhten Anforderungen [8.10].

Überschreitungen sind nur tolerierbar, wenn diese geringfügig und nicht systematisch sind. Eine systematische Überschreitung liegt vor, wenn der zulässige Grenzwert eines Parameters bei zwei aufeinanderfolgenden Fremdüberwachungen überschritten wird. Eine geringfügige tolerierbare Überschreitung ist gegeben, wenn max. 1 Parameter aus 3 von 4 Parameter-Gruppen (siehe Spalte 7 der Tabelle 8.8) den Grenzwert der Tabelle 8.8 um nicht mehr als die in Spalte 6 angegebenen Prozentwerte überschreitet. Sofern ein Parameter der Gruppe 2 im tolerierbaren Rahmen überschritten wird, darf zusätzlich die elektrische Leitfähigkeit um den angegebenen Prozentwert überschritten werden.

Darüber hinaus bestehen weitere wasserwirtschaftliche Anforderungen und Grenzwertlisten für Recycling-Baustoffe der einzelnen Bundesländer z. B. aus Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg etc. die in der Fachliteratur hinlänglich beschrieben sind.

8.2.4 Prüfverfahren

8.2.4.1 Bodenaushub

Hinsichtlich der Probenahme und Analytik enthalten die Technischen Regeln der LAGA für die Untersuchung von Bodenaushub genaue Anforderungen. Unter anderem sind in Tabellenform die analytischen Verfahren für die Feststoff- und Eluatuntersuchungen z. B. gemäß DIN-Norm, VDI- oder LAGA-Richtlinie zusammengestellt. Aufgrund des Umfangs soll an dieser Stelle lediglich auf die Ausführungen der Technischen Regeln der LAGA verwiesen werden [8.5].

8.2.4.2 Recycling-Baustoffe

Die Schadstoffbelastung der RC-Baustoffe wird mittels Auslaug- und Ausschwemmversuchen im Labor ermittelt. Das Eluat kann Aufschluß über eine mögliche Belastung der Umwelt (Grundwasser und Böden) geben. Dies gilt sowohl für den Materialeinbau im Grundwasserbereich als auch für ständig oberhalb des Grundwassers liegende Materialschichten, die mit Oberflächen- oder Regenwasser in Berührung kommen. Die Eluierbarkeit der schädlichen Inhaltsstoffe hängt im wesentlichen von folgenden Faktoren ab [8.4, 8.13]:

- chemische und physikalische Beschaffenheit des Baustoffes (Einbindungsart, Oberfläche, Lagerungsdichte, Durchlässigkeit etc.);
- Beschaffenheit des eindringenden Wassers (pH-Wert, Temperatur etc.);
- Verhältnis zwischen Feststoff und Elutionsflüssigkeit;
- Dauer und Art der Berührung zwischen RC-Baustoff und Elutionsflüssigkeit.

Die Ergebnisse, die anhand der verwendeten Elutionsverfahren ermittelt werden, sind auf die Straßenbaupraxis nicht direkt übertragbar. Diese ermöglichen jedoch eine Orientierung und können als Entscheidungshilfe bei der Beurteilung dienen. Grundsätzlich sind die Verfahren zu bevorzugen, die unter definierten Laborbedingungen mit relativ geringem zeitlichem und finanziellem Aufwand Informationen bieten. Dabei sind die Versuchsergebnisse immer zusammen mit den Analysenverfahren anzugeben. In Bild 8.3 sind die derzeit gebräuchlichen Elutionsverfahren schematisch dargestellt [8.12].

Zur Zeit gibt es keine bundeseinheitlichen Regelungen zur Bewertung und Untersuchung von Recycling-Baustoffen. Der Arbeitsausschuß „Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen" der FGSV befaßt sich daher

Tabelle 8.8: Im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung einzuhaltende Grenzwerte für wasserwirtschaftliche Merkmale, TL RC-ToB (Version 1994)

Analysenart	Parameter	Dimension	Grenzwert für RC-Baustoffe 1	Grenzwert für RC-Baustoffe 2	zulässige Überschreitung (%)	Parametergruppe
1	2	3	4	5	6	7
DEV-S4 Eluat-Analyse	pH-Wert [1]		7–12,5	7–12,5	–	–
	elektr. Leitfähigkeit	mS/m	250	250	5	1
	SO_4^{2-}	mg/kg	3.000	6.000	5	2
	Cl	mg/kg	400	1.500	10	
	As	mg/kg	0,5	2	20 [5]	3
	Cd	mg/kg	0,1	0,3	20	
	CrVI	mg/kg	0,3	0,5	20	
	Cu	mg/kg	1	5	20	
	Ni	mg/kg	0,2	1	20	
	Pb	mg/kg	0,4	1	20	
	Zn	mg/kg	2	5	10	
	AOX	mg/kg	0,5	1	20	4
	PAK [2]	mg/kg	0,03	0,05	50	
	Phenolindex	mg/kg	0,5	1	20	
Feststoffanalyse	EOX [4]	mg/kg	2	5	–	
	PAK [2][4]	mg/kg	[3]	[3]	–	

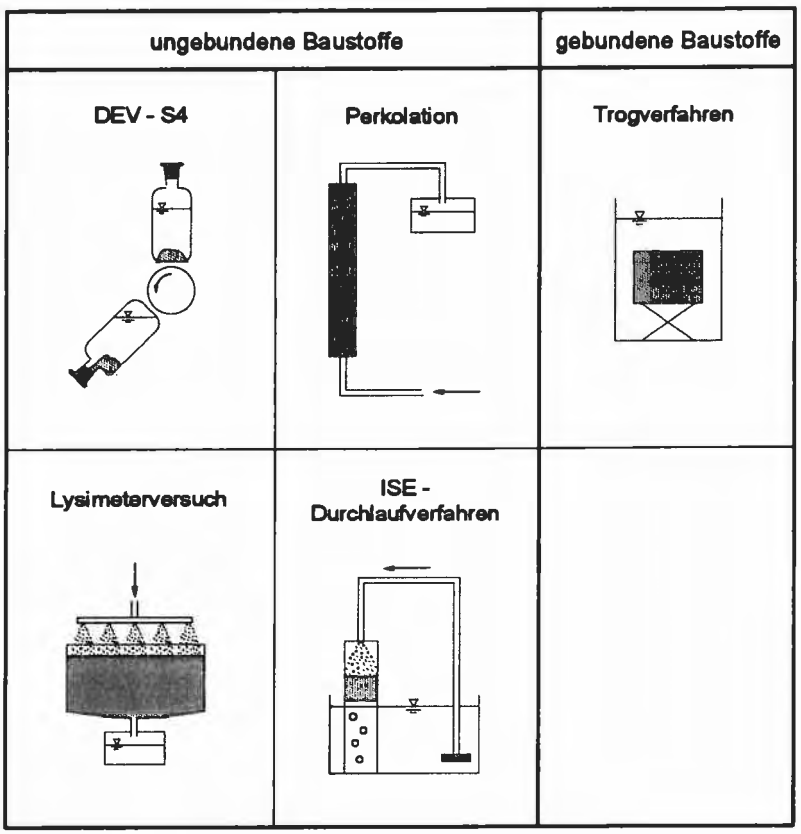
[1] Kein Grenzwert; für Reststoff typischer Bereich, bei Überschreitung sind die Ursachen zu prüfen.
[2] Summe der in TrinkwVO genannten Einzelverbindungen; zur Erfahrungssammlung sind die Werte nach US-EPA zu bestimmen.
[3] Zur Erfahrungssammlung zu bestimmen; Wert wird nicht zur Beurteilung herangezogen.
[4] Entscheiden sind die AOX- und PAK-Gehalte im Eluat.
[5] Gilt für RC 1; für RC 2 ist die zulässige Überschreitung 10 %.

seit mehreren Jahren mit dieser Problematik, wobei der Schwerpunkt bei den industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen liegt. Da vor allem wasserwirtschaftliche Belange zu berücksichtigen sind, wurde 1990 der Arbeitskreis „Elutionsverfahren für Mineralstoffe" gegründet. Dieser befaßt sich mit der Entwicklung von Laborauslaugeverfahren. Im Arbeitspapier Nr. 28 (Fassung 1992) wird der Stand der Arbeiten in diesem Gremium bezüglich der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit dargestellt. Die Umsetzung des Arbeitspapiers soll zu einer bundesweiten Vereinheitlichung der Untersuchungsmethoden und Grenzwerte führen [8.2].

Die Festlegung von Grenzwerten für wasserwirtschaftliche Merkmale muß baustoffbezogen erfolgen, da u.a. die Art der Schadstoffe bei verschiedenen Straßenbaustoffen unterschiedlich sein kann. Die Grenzwerte des Arbeitspapiers Nr. 28 entsprechen denen der TL RC-ToB (siehe Tabelle 8.8).

An Labormethoden stehen für die Herstellung von Eluaten verschiedene Methoden zur Verfügung, wie z. B. das Trog-, das Perkolationsverfahren oder die Be-

Bild 8.3: Schematische Darstellung der derzeit gebräuchlichen Elutionsverfahren für Recycling-Baustoffe [8.12]



stimmung der Eluierbarkeit mit Wasser entsprechend DIN 38414, Tl. 4 (DEV-S4).

Probenahme:

Die Probenahme erfolgt nach TP Min-StB. Die Probemenge ist dabei in Abhängigkeit vom Größtkorn des zu untersuchenden Materials zu wählen [8.2]:

Größtkorn	< 11,2 mm	mind. 100 g
	11,2 bis 22,4 mm	ca. 1.000 g
	> 22,4 mm	ca. 2.500 g

Eluatherstellung:

Das DEV S4-Verfahren (S4-Methode des deutschen Einheitsverfahrens für die Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – DEV) ist das einzig genormte Verfahren zur Eluatherstellung (DIN 38414, Teil 4); das Prüfgut wird auf eine Korngröße von 10 mm zerkleinert und in 1 l Wasser in einem 24-stündigen Schüttelvorgang ausgelaugt. Das Prüfgut ist dabei einer Zerkleinerung und mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt, die beim Einbau in Tragschichten nicht auftreten. Dies machte eine Überarbeitung des DEV S4-Verfahrens für die Beurteilung von RC-Baustoffen erforderlich [8.12]:

Die Anforderungen des Arbeitspapiers Nr. 28 für das angepaßte DEV-S4-Verfahren lauten wie folgt: Die Elution erfolgt mit demineralisiertem Wasser. Das Wasser-Probe-Gemisch ist 24 h durch Überkopfdrehen (5 U/min) oder mittels eines Schwingtisches zu schütteln. Anschließend ist das Eluat in Abhängigkeit der zu bestimmenden Parameter zu filtrieren oder zu zentrifugieren [8.2].

Für die Analyseverfahren werden im Arbeitspapier Nr. 28 Referenzverfahren nach DIN und DEV angegeben.

Weitere Verfahren, die zukünftig vom Arbeitsausschuß „Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen" der FGSV vereinheitlicht werden sollen, sind das Trog-, Perkolations- und pH-statische-Verfahren. Diese Verfahren werden bisher wie folgt angewandt:

Bei Perkolationsversuchen wird die Probe in ein Glasrohr gegeben, das an beiden Seiten mit Lochfritten versehen ist. Die Elutionsflüssigkeit wird langsam und von unten in das Glasrohr gefüllt. Dabei muß die gesamte Luft ausgetrieben werden. Zum Entleeren wird die Prüfeinrichtung umgedreht und die Elutionsflüssigkeit läuft mit der Geschwindigkeit aus, mit der diese eingefüllt wurde [8.4].

Bei pH-statischen Versuchen wird der pH-Wert der sich im Kreislauf befindlichen Elutionsflüssigkeit konstant gehalten. Je nach Milieu kann im sauren oder alkalischen Bereich eluiert werden [8.4].

Die Prüfung verfestigter Proben erfolgt bislang überwiegend nach dem Trogverfahren an Probekörpern, wie diese für bautechnische Untersuchungen üblich sind. Maßgebenden Einfluß auf das Analysenergebnis hat bei diesen Versuchen das Verhältnis von Probekörperoberflächen zur Elutionsflüssigkeit. Eine Vorgehensweise wie beim Schweizer Verfahren wird derzeit angestrebt [3]. Das Schweizer Elutionsverfahren sieht ein kontinuierliches Einblasen von CO_2 in die Elutionsflüssigkeit (Verhältnis Feststoff/Wasser 1:10) vor. Durch diese Zugabe kann der pH-Wert in den Bereich zwischen pH 4 und pH 4,5 abgesenkt und die

Tabelle 8.9: Zusammenstellung der gesetzlichen Regelungen der Bundesländer zum Baustoff-Recycling

	Verwaltungsvorschriften oder verordnungen zur Entsorgung von Bauabfällen?	*Verwertung oder Entsorgung im Landesabfallgesetz geregelt?*	*Regelungen über Grenzwerte aus Eluat oder Feststoff bei der Anwendung?*	*Einsatz für Bereiche besonders geregelt (Ausführungsbestimmungen) ?*	*Sonstige Regelungen?*
Baden-Württemberg	TA Siedlungsabfall	soll in Novellierung (in Arbeit, Erscheinen unbekannt) eingearbeitet werden	vorläufige Lieferbedingungen für RC-Material im StB	VwV über die vorläufigen Bedingungen zur Verwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch im StB	Konzeption über Verwertung u. Entsorgung von Baurestmassen, Bestimmungen als behördeninterne Richtlinie an die Baubehörden
Bayern	nein	allgemein gehaltenes Ziel, Abfälle u. a. Bauschutt weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	ZTV für einzuhaltende wasserwirtschaftliche Gütemerkmale bei der Verwendung von RC-Baustoffen im StB	TL für aufbereiteten Straßenaufbruch und Bauschutt zur Verwendung im StB	nein
Berlin	AO zur Entsorgung von nicht überwachungsbedürftigen Bauabfällen	allgemein gehaltenes Ziel, Bauabfälle weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	in AV Umweltverträglichkeitsprüfung geregelt	AV zum Berliner Straßengesetz	AO zur führung von Begleitscheinen zum Nachweis der Entsorgung von nicht überwachungsbedürftigen Bauabfällen, DV über die Entsorgaung von Bauabfällen gemäß AbfRestÜberwV
Brandenburg	VwV zur Ablagerung und Verwertung von Baurestmassen im Bergbau und auf ehemals bergbaulich genutzten Flächen	allgemein gehaltenes Ziel, Bauabfälle weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	Brandenburgische Liste für gereinigte Böden vom 27.7.1990	nein	nein
Bremen	nein	nein	allg. Dienstanweisung	nein	Dienstanweisung des SUS für alle Bauausführungen
Hamburg	Abfallwirtschaftsplan Bauabfälle, BauvorlagenVO im Baurecht	allgemein gehaltenes Ziel, verwertbare Abfälle weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	Zuordnungswerte der LAGA	TL der Straßenbauverwaltung für RC-Baustoffe für ungebundene Tragschichten	Satzung der Uberwachungsgemeinschaft Bauabfall Nord e.V.
Hessen	VwV für die Entsorgung von unbelastetem Boden und Bauschutt, VwV für die Entsorgung belasteter Böden	geregelt in § 3a	VwV für die Entsorgung von unbelastetem Boden aus Bauschutt	nein	nein
Mecklenburg-Vorpommern	nein	Abfälle u. a. Bauschutt sind in den Stoffkreislauf zurückzuführen, Deponierungsverbot für unbelastete Bauabfälle		TL an Recycling-Baustoffe im Straßenbau	Satzung der Uberwachungsgemeinschaft Bauabfall Nord e.V.

Niedersachsen	nein		B 2-Gemisch nach EBA-NS 86/ZTVT-StB 86 aus RC-Baustoffen	Beschaffungsrichtlinie für Behörden, B 2-Gemisch nach EBA-NS 86/ZTVT-StB 86 aus RC-Baustoffen	Erlaß über das öffentliche Auftragswesen: Berücksichtigung des Umweltschutzes, Satzung der Überwachungsgemeinschaft Bauabfall Nord e.V.
Nordrhein-Westfalen	nein	Abfälle u.a. Bauschutt sind weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	Erlaß Güteüberwachung von Mineralbaustoffen im StB, Merkblatt über Analyseverfahren der im Rahmen der Güteüberwachung zu untersuchenden Parameter	Erlaß Güteüberwachung, Erlaß Anforderungen an die Verwendung von RC-Baustoffen im Erd- und Straßenbau aus wasserwirtschaftlicher Sicht	nein
Rheinland-Pfalz	VwV zur Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen	Abfälle u.a. Bauschutt sind weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	Verwaltungsrichtlinie	AV zum Straßengesetz, Rundschreiben über die Verwendung von Bauschutt und Ausbauasphalt, TL von bit. Mischgut	RP erarbeitet derzeit eine neue Verwaltungsvorschrift
Saarland	nein	nein, aber Festlegungen in den Grundsätzen der Abfallwirtschaftspolitik enthalten	ja, angelehnt an den NRW-Erlaß	Landesbauordnung, VwV Anforderungen an die Verwendung von RC-Baustoffen	Verfügungen der Straßenbauverwaltung zur Handhabung von RC-Baustoffen
Sachsen	nein	nein, aber Festlegungen in den Grundsätzen der Abfallwirtschaftspolitik enthalten	vorläufige Lieferbedingungen für RC-Baustoffe im Straßenbau (Entwurf)	Erlaß Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im StB, vorläufige Lieferbedingungen für RC-Baustoffe im StB (Entwurf)	nein
Sachsen-Anhalt	nein	Bauabfälle sind der Mehrfachverwendung bzw. dem Stoffkreislauf zurückzuführen	Lieferbedingungen für RC-Baustoffe im StB	Lieferbedingungen für RC-Baustoffe im StB	nein
Schleswig-Holstein	Bauabfallerlaß, LandesVO in Vorbereitung	Bauabfälle sind weitestgehend in den Stoffkreislauf zurückzuführen	Erlaß	nein	Verweis auf Technische Regel LAGA
Thüringen	nein	nein, aber Festlegungen in den Grundsätzen der Abfallwirtschaftspolitik enthalten	nein	Wiederverwendung von Ausbauasphalt in bit. Mischgut, Behandlung von pechhaltigen Straßenbaustoffen	nein

AO Anordnung
AV Ausführungsvorschrift
EBA-NS Ergänzende Bestimmung zu den ZTVT für die Bemessung und Ausführung von bituminösen Fahrbahnen
RP Regierungspräsidium
StB Straßenbau
TA Technische Anleitung
TL Technische Lieferbedingungen
VO Verordnung
VwV Verwaltungsverordnung
TA Zusätzliche technische Vorschrift

Elutionsflüssigkeit in Bewegung gehalten werden. Durch die Entnahme von Eluatproben nach 24 h und nach 48 h erfolgt die Aufzeichnung der Elutionsdynamik [8.12].

Ein weiteres Auslaugeverfahren, das speziell für die Eluatherstelung von RC-Baustoffen entwickelt wurde, ist das ISE-Durchlaufverfahren. Dabei werden lose anfallende Körner bzw. Stücke (600 g), deren Haufwerk gut wasserdurchlässig ist, in einen Prüfzylinder gegeben. Der Zylinder steht in einer Wanne mit Wasser, das Prüfgut befindet sich über dem Wasserspiegel. An den Zylinder wird eine Pumpe angeschlossen, die die Elutionsflüssigkeit 24 h im Durchlauf hält. Das Verhältnis Feststoff/Elutionsflüssigkeit entspricht der S4-Methode. Das resultierende Eluat wird analysiert. Das Verfahren eignet sich besonders für die Prüfung von RC-Baustoffen, da nicht das Prüfgut, sondern die Elutionsflüssigkeit bewegt wird. Das Prüfgut erfährt keine mechanischen Beanspruchungen [8.11].

Die Eluatwerte, die mit den beschriebenen Verfahren hergestellt werden, können sich erheblich unterscheiden. Daher ist neben den Analysenmethoden jeweils das Verfahren zur Eluatherstellung anzugeben.

8.2.5 Empfehlungen für die Praxis gemäß Arbeitspapier Nr. 28 der FGSV

Zur Verwendung im Straßenbau sollen nur solche RC-Baustoffe kommen, die die Anforderungen einhalten. Dieser Nachweis hat im Rahmen der Güteüberwachung zu erfolgen. Bei der Beurteilung der Verwendbarkeit eines Baustoffes bei einer Baumaßnahme sind die Bauweise und die Lage der Baumaßnahme zu berücksichtigen [8.2]:

Bauweise

Bei der Bauweise mit RC-Baustoffen sind die Art der Schicht sowie die Anordnung der Schicht im Aufbau zu bewerten. Wesentliche Kriterien sind dabei die evt. Verwendung eines Bindemittels und die Wasserdurchlässigkeit der Überbauung. Im allgemeinen sind folgende Einsatzmöglichkeiten zu unterscheiden:

Straßenoberbau / Wegebau

- Schicht ohne Bindemittel als Deckschicht, unter wasserundurchlässiger Deckschicht (Asphalt, Beton, Pflaster mit dichten Fugen), unter teildurchlässiger Deckschicht (Pflaster, Platten) und unter wasserdurchlässiger Deckschicht (offenporiges Pflaster).
- hydraulisch gebundene Schicht;
- bituminös gebundene Deckschicht.

Erdbau

- Baumaßnahme (Lärmschutzwall, Unterbau, Verfestigung u. dgl.) mit Oberflächenabdichtung und mit wasserdurchlässiger Abdeckung.

Lage der Baumaßnahme

Die Lage der Baumaßnahme ist danach zu beurteilen, inwieweit diese in wasserwirtschaftlich bedeutenden und empfindlichen sowie hydrogeologisch sensitiven Gebieten liegen. Außerdem ist der höchste Grundwasserstand von der mit RC-Baustoffen gebauten Schicht zu berücksichtigen. In Trinkwasserschutzgebieten I und II sowie Heilquellenschutzgebieten I und II ist der Einsatz von RC-Baustoffen ausgeschlossen.

8.3 Regelungen und Verwaltungsvorschriften der Bundesländer zum Baustoff-Recycling

Die nachfolgende Tabelle 8.9 enthält eine Zusammenstellung der gesetzlichen Regelungen, Verwaltungsvorschriften, Richtlinien etc. der einzelnen Bundesländer zum Bereich Baustoff-Recycling. Dabei sind folgende Fragestellungen erfaßt (Stand: August 1994):

- Bestehen Verwaltungsvorschriften oder Verordnungen zum Bereich der Entsorgung von gebrauchten Baustoffen?
- Ist die Verwertung oder Entsorgung von gebrauchten Baustoffen im Landesabfallgesetz geregelt?
- Bestehen Regelungen über Grenzwerte aus Eluat- und Feststoffanalysen für den Einsatz der RC-Baustoffe?
- Sind die Einsatzbereiche für RC-Baustoffe geregelt bzw. bestehen Ausführungsvorschriften?
- Gibt es sonstige Regelungen, Vorschriften etc. zur Verwertung von gebrauchten Baustoffen bzw. zum Einsatz von RC-Baustoffen?

8.4 Literatur

[8.1] *Bossenmeyer:* Förderung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen durch Änderung von DIN- und Bauvorschriften. Symposium „Der Baustoffkreislauf – Möglichkeiten für die Verwertung gebrauchter Baustoffe", Sept. 1994, Karlsruhe

[8.2] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Arbeitspapier Nr. 28, Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen, Teil: Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit, Fassung 1992, Köln

[8.3] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau – RG MinStB 93, Ausgabe 1993, Köln

[8.4] *Hiersche, E.; Wörner, Th.:* Alternative Baustoffe im Bauwesen – Umweltverträglichkeit, Bautechnik, Anlagentechnik, Wirtschaftlichkeit; Ernst Verlag für Architektur und technische Wissenschaften 1990, Berlin

[8.5] LAGA – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (Hrsg.): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln –, März 1994

[8.6] *Lehr:* Stand der Überarbeitung der RAL – RG 501/1, 1. Tagung der Regionalvertretung Berlin/Branderburg des VBR e. V., Dezember 1993, Potsdam

[8.7] *N. N.:* Recycling-Baustoffe für den Straßenbau- Gütesicherung RAL-RG 501/1, RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Bonn, 1985

[8.8] *N. N.:* Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen. Güte- und Prüfbestimmungen der RAL RG 501/2 , RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V., Bonn, Juni 1994

[8.9] *Rosenberg, R.:* Güteüberwachung wiederverwendbarer Baustoffe im Straßenoberbau, Hiersche (Hrsg.). Baustoff-Recycling 94/95, Stein-Verlag, Baden-Baden

[8.10] *Rüdiger, U.:* Anforderungen an Recycling-Baustoffe aus der Sicht der FGSV – Entwurf der TLRC-ToB, 1. Tagung der Regionalvertretung Berlin/Brandenburg des VBR e. V., Dezember 1993, Potsdam

[8.11] *Wörner, Th.:* Nachweis der Umweltverträglichkeit alternativer Baustoffe mit dem ISE-Durchlaufverfahren, in: Bitumen, Nr. 3, Jhrg. 50, Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie (Hrsg.), Hamburg, 1988

[8.12] *Wörner, Th.:* Umweltverträglichkeit von aufbereitetem Bauschutt, Vortrag auf dem Seminar „Baustoffrecycling" des Bauzentrums München, 2. 12. 1992, München

[8.13] *Wörner, Th.:* Umweltverträglichkeit alternativer Baustoffe für den Straßenbau, Veröffentlichung des Instituts für Straßenbau und Eisenbahnwesen, Universität TH Karlsruhe, Heft 35, 1988, Karlsruhe

9. Einsatzmöglichkeiten für aufbereitete Baustoffe

Die Haupt-Einsatzgebiete für Recycling-Baustoffe werden in dem „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau; Teil: Wiederverwendung von Baustoffen" im einzelnen beschrieben. Das Merkblatt wird im ersten Halbjahr 1995 von den Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel (TL RC-ToB) ersetzt. Hinsichtlich des Geltungsbereichs beziehen sich die TL RC-ToB auf RC-Baustoffe und RC-Gemische (Mischung aus RC- und Primärbaustoff) in ungebundenen Tragschichten. Diese sind im Straßenbau gemäß ZTVT-StB (Zusätzl. Techn. Vorschriften und Richtlinien im Straßenbau) und im Wegebau gemäß ZTV-LW (Zusätzl. Techn. Vorschriften und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege) einsetzbar.

Die Verordnungen, Richtlinien bzw. Lieferbedingungen der einzelnen Bundesländer, die den Einsatz von RC-Baustoffen im Straßen- und Wegebau regeln, sind in Kapitel 8.3 aufgeführt.

Wie ausgeführt, wird der Einsatz von Sekundärbaustoffen prinzipiell von deren Umweltverträglichkeit und technischen Eigenschaften bestimmt. Erst nach Einhaltung der gestellten Anforderungen an die Umweltverträglichkeit entscheiden die technischen Qualitätsanforderungen über den Einsatzort [9.8].

Für die Verwendung von RC-Baustoffen im öffentlichen Straßen- und Wegebau gilt, daß diese qualitativ den gleichen Anforderungen wie Primärbaustoffe genügen müssen. Diese Forderung ist notwendig, da die mit RC-Baustoffen erstellten Straßen eine vergleichbare Gebrauchsdauer und Gebrauchseigenschaften wie mit Primärbaustoffen errichtete Straßen erreichen müssen. Insbesondere vor dem Hintergrund des Produkthaftungsrechts ist dies von Bedeutung. Für den Bau untergeordneter Verkehrsflächen (Wege, Parkflächen) kann unter bestimmten Bedingungen ein reduziertes Qualitätsniveau zugestanden werden, wenn die Umweltverträglichkeit und Standfestigkeit des Schichtenaufbaus gewährleistet werden kann.

Entsprechend dem Strukturaufbau einer Straße können in den einzelnen Schichten unterschiedliche Qualitäten an recycliertem Material eingesetzt werden. RC-Baustoffe werden dabei im Unterbau und im Oberbau – Frostschutzschichten, ungebundene Tragschichten, hydraulisch oder bituminös gebundene Tragschichten – sowie in bituminösen Deck- und Binderschichten eingesetzt. In Tabelle 9.1 sind die Einsatzmöglichkeiten einzelner Körnungen von RC-Baustoffen dargestellt.

Der Einsatz von RC-Baustoffen insbesondere bei öffentlichen Baumaßnahmen wurde durch Änderung der Verdingungsunterlagen für Bauleistungen gefördert. Danach heißt es im Teil C der VOB unter Punkt 2 [9.17]:

„2.3.1 Stoffe und Bauteile, die der Auftragnehmer zu liefern hat, die also in das Bauwerk eingehen, müssen ungebraucht sein. Wiederaufbereitete (Recycling-) Stoffe gelten als ungebraucht, wenn sie Abschnitt 2.1.3 entsprechen."

Abschnitt 2.1.3 lautet:

„2.1.3 Stoffe und Bauteile müssen für den jeweiligen Verwendungszweck geeignet und aufeinander abgestimmt sein."

RC-Baustoffe, die der Güteüberwachung unterliegen, sind für den jeweiligen Verwendungszweck geeignet.

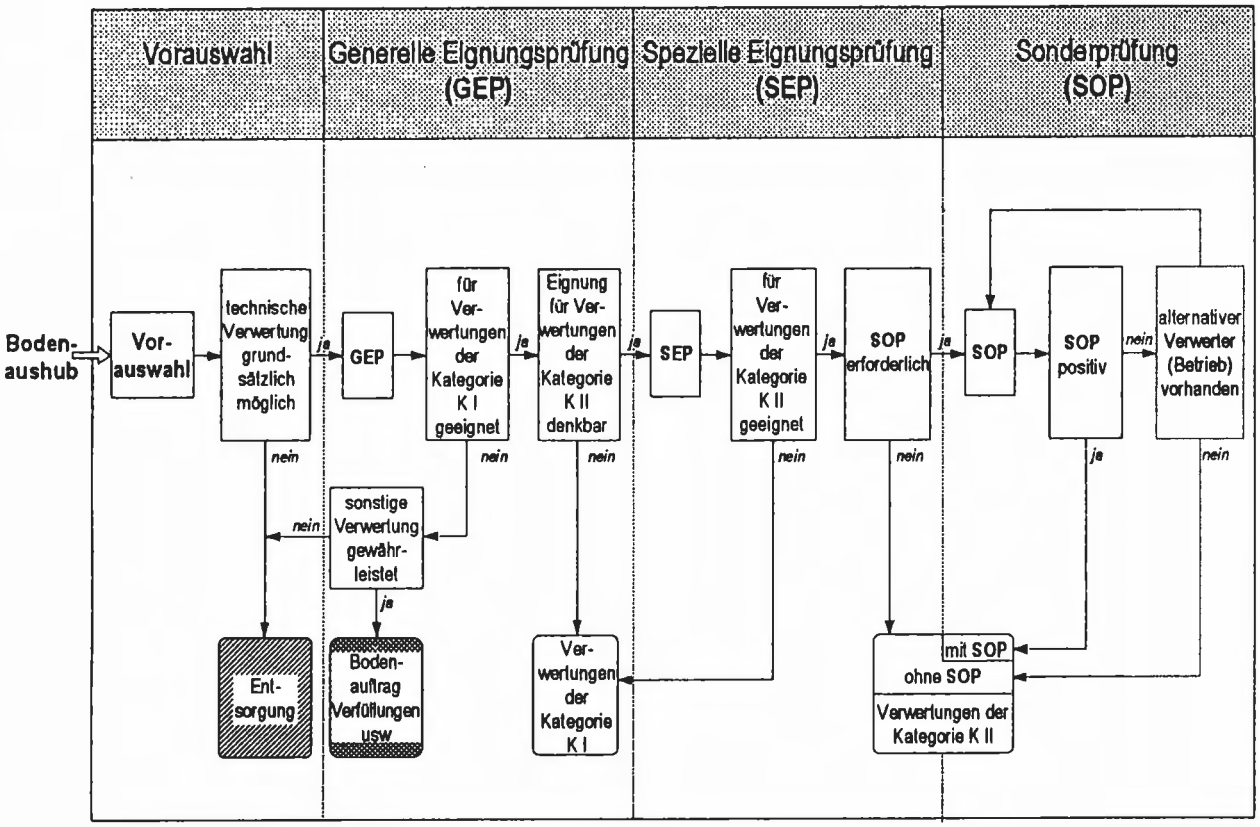
9.1 Einsatz von Bodenaushub

Eine Zusammenstellung für Verwertungsmöglichkeiten von Bodenaushub wurde vom Land Baden-Württemberg herausgegeben. Danach wird der anfallende Bodenaushub in Verwertungsgruppen zusammengefaßt. Es wird ganz allgemein zwischen der Verwertung als Baustoff und als Rohstoff unterschieden. Aufschüttungen sowie Auf- und Verfüllungen (z.B. im Landschaftsbau, in Steinbrüchen, im Tage- und Untertagebau) zählen in der Regel nicht als technische

Tabelle 9.1: Einsatzmöglichkeiten von RC-Baustoffen in Abhängigkeit von der Korngrößenklasse [9.6]

Körnung	Einsatzmöglichkeiten
Vorabsiebung 0/6 mm	Grabenverfüllung (Dammschüttung, Bodenaustausch)
0/4 mm	Pflastersand, Bodenaustauschmaterial mit hohen Verdichtungen
0/8 mm	wassergebundene Schichten, Landschaftsbau
0/25 mm	Pflasterunterbau, Bankettbefestigungen
4/8 mm	Abstreuen von Wegen, Drainagekies
0/32 mm	Schottertragschicht, Frostschutzschicht
0/45 mm	Schottertragschicht, Frostschutzschicht
4/45 mm	Drainagematerial, Kanalbau
25/45 mm	Bodenaustauschmaterial, unterste Schicht zur Verfestigung des Planunms
50/150 mm	Baustraßen, Wegebaumaterial auf Deponien

Bild 9.1: Ablauf der Vorauswahl und Eignungsprüfungen für Bodenaushub [9.2]



Verwertung. Bei der Verwertung von Bodenaushub werden je nach Einsatzgebiet als Bau- oder Rohstoff unterschiedliche Anforderugen an die natürlichen und technischen Materialeigenschaften gestellt. Daher kann zwischen zwei Verwertungskatagorien K I und K II differenziert werden. Im Verwertungsleitfaden sind die Einsatzmöglichkeiten ausführlich beschrieben [9.2]:

Verwertungskatagorie K I: Baustoff

Die Verwertungseignung des Bodenaushubs wird primär aus den natürlichen Eigenschaften abgeleitet. Eine Aussage über die Einsatzmöglichkeiten als Erd-Baustoff ist in der Regel nach den Ergebnissen einer generellen Eignungsprüfung möglich (Bild 9.1). Eine solche Verwertung liegt im allgemeinen vor, wenn das Material als nicht weiter technisch zu klassifizierender Baustoff eingesetzt wird als z. B.:

- Dammschüttmaterial im Verkehrswegebau und im Hochwasserschutz (Stützkörper),
- Hinterfüll- und Überschüttmaterial,
- Verfüllmaterial für Leitungsgräben,
- Filter- und Dränageschichten,
- Bodenaustauschmaterial zur Bauwerksgründung,
- Dammschüttmaterial für Lärm- und Sichtschutzwälle.

Verwertungskategorie K II: hochwertiger Baustoff, Rohstoff

Die Eignung des Bodens ist anhand der natürlichen und technischen Eigenschaften nachzuweisen. Die zusätzlichen Untersuchungen sind als spezielle Eignungsprüfung (Bild 9.1) im Verwertungsleitfaden beschrieben. Eine Verwertung bezieht sich auf qualitativ hochwertige, klassifizierte Erd-Baustoffe oder auf industrielle Roh- und Grundstoffe. Einsatzbeispiele für Festgesteine sind:

- Natursteine (Mineralstoffe) für den Tief- und Verkehrswegebau,
- Natursteinwerke,
- Zuschlag für Beton und Mörtel,
- Roh- und Grundstoffe für die Stahl- und chemische Industrie.

Einsatzbeispiele für Lockergesteine sind:

- Erdbaustoffe (Verkehrswege-, Deponiebau, Hochwasserschutz),
- Zuschlag und Zusatzstoffe für Beton und Mörtel,
- Trag- und Frostschutzschichten im klassifizierten Verkehrswegebau,
- Rohstoffe für die Baustoffindustrie (z. B. Zement-, Ziegelindustrie).

Bei entsprechender Menge und Qualität des Bodenaushubs kann es durchaus wirtschaftlich sein, bei einer nachweislichen Eignung für die Verwertungskategorie K I zusätzlich eine solche für die Kategorie K II zu prüfen. Der Ablauf der Eignungsprüfungen ist in Bild 9.1 dargestellt. Tabelle 9.2 zeigt entsprechend den Eignungsprüfungen die für die einzelne Fest- und Lockergesteine notwendigen Basisdaten und Prüfungen.

Tabelle 9.2: Untersuchungsprogramm für Bodenaushub [9.2]

	Basisdaten und Prüfungen	Verwertungsgruppe (VG)											
		Festgestein						Lockergestein					
		M1 M2	S1	S2	S3	S4	S5	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1. Schritt Vorauswahl (Basisdaten)	Herkunft, Anbieter	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Menge (ca.), Zeitpunkt	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Gewinnungsart	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Hauptgesteinsart/Haupt-bodenart (grob)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Nebenbestandteile (grob)							x	x	x	x	x	x
	Beschaffenheit							x	x	x	x	x	x
	Verwitterungsgrad (grob)	x	x	x	x	x	x						
	geologische/bodenkundliche Bezeichnung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Schritt Generelle Eignungs-prüfung (GEP)	Korngrößenverteilung	(x)		(x)	(x)			x	x	x	x	x	
	natürlicher Wassergehalt							x	x	x	(x)	(x)	(x)
	Plastizitätsgrenzen							x	x	(x)			
	Kalkgehalt							(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	
	Glühverlust							(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x
	Proctordichte, opt. Wassergehalt	(x)		(x)	(x)			(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	
	Gesteinbezeichnung, Felsgruppe	x	x	x	x	x	x						
3. Schritt Spezielle Eignungs-prüfungen (SEP)	Mineralbestand							○ ●	○ ●	○			
	Chemische Analyse		◆		◆			● ◆	● ◆				
	Wasserdurchlässigkeit							○	○	○			
	Scherparameter							○	○	○			
	Mineralstoffeignungsprüfungen nach TP Min-StB, T 1-6	□		□	□						□	□	
	Zuschlag Eignungsprüfungen nach DIN 4226	■		■	■						■	■	
Sonder-prüfungen	ggf. zusätzliche grob- und feinkeramische Untersuchungen		●					●	●				
	ggf. zusätzliche zementchemische Untersuchungen		◆		◆			◆	◆				

Beispiele für Untersuchungsschritte (3. Schritt)

- ● grobkeramischer Rohstoff
- ○ Deponie-Basisabdichtung
- □ Mineralstoff für Frostschicht und Tragschicht
- ■ Mineralstoff für Zuschlag
- ◆ Rohstoff für Zementherstellung

x erforderlich

(x) bei Bedarf erforderlich

9.2 Einsatz von RC-Baustoffen im klassifizierter Straßenbau

Der Schichtenaufbau einzelner Straßentypen und die Frage nach der Eignung einzelner Schichten für Recycling-Baustoffe richtet sich nach der Verkehrsbelastung. Dazu werden die einzelnen Straßentypen entsprechend der maßgebenden Verkehrsbelastungszahl mit der täglichen Verkehrsstärke an Schwerverkehr den Bauklassen SV bis VI zugeordnet. Tabelle 9.3 zeigt die Zuordnung von Straßentypen zu den Bauklassen sowie die maßgebliche Verkehrsbelastungszahl, die sich aus der Anzahl der Fahrzeuge, der Anzahl und Breite der Fahrstreifen sowie der Längsneigung errechnet.

In Berlin beispielsweise sehen die Ausführungsvorschriften zum Berliner Straßengesetz für den Einsatz gebrauchter Baustoffe in ungebundenen Tragschichten von 1987 die folgenden Regelungen vor [9.9]:

- Bauklasse I und II: Eine Einzelzustimmung der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen ist einzuholen.
- Bauklasse III bis VI : Recyclingmaterial für Tragschichten ist vorgeschrieben. Anteil Ausbauasphalt höchstens 30 %, Anteil an Altbeton muß mindestens 50 % betragen, Ziegel- und Klinkeranteil je nach Ergebnis der Eignungsprüfung bis zu maximal 10 %.

Die Begrenzung auf 10 Gew.-% Ziegelanteil im Betonbruch wurde in den achtziger Jahren eingeführt. Dieser Ziegelanteil beruhte jedoch nicht auf bautechnischen Eignungsprüfungen. Vielmehr wurde die Grenze gewählt, um Betonbruch mit Ziegelanteilen nicht gänzlich von der Verwertung auszuschließen. In den TL RC-ToB (Version 1994) ist der Gehalt an Ziegel- und Mauerwerksbaustoffen im Anteil > 4 mm auf 25 Gew.-% begrenzt worden. Dieser Wert ist z.Zt. noch in der Diskussion.

In Berlin sind nachträglich 205 Baustoff-Prüfungen von RC-Baustoffen ausgewertet worden, die in den letzten Jahren im öffentlichen Straßenbau Berlins eingesetzt wurden. Die Auswertung ergab, daß der Ziegelanteil in den eingesetzten Baustoffen lediglich bei 3–4 Gew.-% lag. In Berlin wird ein Forschungsvorhaben durchgeführt, wobei in einzelnen Straßenabschnitten der Bauklasse IV bis VI Ziegelsplittanteile von bis zu 50 Gew.-% eingebaut und regelmäßig bautechnisch untersucht werden. In einer zweiten Versuchsphase soll der Ziegelanteil auf bis zu 75 Gew.-% gesteigert werden. Ergebnisse liegen bisher nicht vor [9.7].

9.3 Einsatz von aufbereiteten Baustoffen im nicht klassifizierter Straßenbau

Als nicht klassifizierter Straßenbau werden Geh- und Radwege, Parkflächen sowie Privat- und Baustraßen bezeichnet.

Für den nicht klassifizierten Straßenbau zeigen die Erfahrungen vieler ausführender Tiefbau-, Garten- und Landschaftsbau-Unternehmen, daß auch Mischmaterialien mit höheren Ziegelanteilen als den bisherigen 10 Gew.-% ohne Probleme einsetzbar sind. Voraussetzung ist allerdings, daß die Anforderungen nach Raumbeständigkeit und Homogenität eingehalten werden. Die Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen empfiehlt für diese Recycling-Baustoffe Prüfungen hinsichtlich bestimmter bautechnischer Eigenschaften und der Umweltverträglichkeit.

Tabelle 9.3: Zuordnung von Straßentypen zu Bauklassen gemäß RStO 86, Fassung 89 [9.11]

Straßentyp	maßgebliche Verkehrsbelastungszahl VB	Bauklasse
Schnellverkehrsstraße	3.200	SV
Schnellverkehrsstraße	über 1.800 bis 3.200	I
Schnellverkehrsstraße, industriesammelstraße	über 900 bis 1.800	II
Hauptverkehrsstraße, Industriestraße, Fußgängerzone mit schwerem Ladeverkehr	über 300 bis 900	III
Sammelstraße, Fußgängerzone mit Ladeverkehr	über 60 bis 300	IV
Anliegerstraße, Fußgängerzone	über 10 bis 60	V
Anliegerstraße, befahrbarer Wohnweg, befestigt	bis 10	VI

Die Vermarktung von Recycling-Baustoffen, die nicht den Vorschriften der TL RC-ToB entsprechen, ist weitgehend auf den privaten Sektor begrenzt. Die Ausschreibungspraxis der Verwaltungen sieht – zumindest in Berlin – ausschließlich Recycling-Material vor, das den höheren Anforderungen an ungebundene Tragschichten des klassifizierten Straßenbaus entspricht. Stoffgemische mit höheren Ziegelanteilen finden in entsprechenden Ausschreibungen, z.B. für Geh- und Radwege, derzeit noch wenig oder keine Berücksichtigung. Hier könnten neben einer Änderung der Ausschreibungspraxis die Ergebnisse des Forschungsvorhabens über erhöhte Ziegelanteile im Straßenbau die Absatzchancen für gemischt zusammengesetztes Material erhöhen.

9.4 Einsatz von aufbereiteten Baustoffen im Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau

Verwendungsmöglichkeiten von RC-Baustoffen im Garten- und Landschaftsbau finden sich als Unterbauschichten in den ungebundenen Verkehrsflächen und dem Wegebau. Dies sind im einzelnen

- Pflasterflächen, Plattenflächen, Rasengittersteine,
- wassergebundene Decken wie Promenadenwege, Tennenflächen,
- Kunstrasenflächen und Kunststoffflächen für Zuwege, Parkplätze, Schulhöfe, Plätze, Parks, Sport- und Spielflächen.

Entsprechend der ZTV-LW (Zusätzliche Technische Vorschrift zur Befestigung ländlicher Wege) kann das Materialgemisch je nach Korngrößenverteilung als korngestuftes Gemisch bzw. nach der ZTVT-StB (Zusätzliche Technische Vorschrift Tragschichten im Straßenbau) als unsortiertes Gestein oder als Deckschicht 0/11mm, 0/16 mm, 0/32 mm gelten.

Damit unterliegt auch ein Mischmaterial, das nicht den Güte- und Prüfbestimmungen des Straßenbaus entspricht, konkreten Anforderungen an die Zusammensetzung und Qualität. Eine bei Tiefbau-, Garten- und Landschaftsbau-Unternehmen in Berlin 1990 durchgeführte Umfrage ergab, daß die Unternehmen gute Erfahrungen mit derartigem Material gemacht haben und dieses aufgrund des Preisvorteils gegenüber RC-Baustoffen mit hohen Betonanteilen oder Primärbaustoffen bevorzugt einsetzen. Dem steht die fehlende Akzeptanz bzw. offene Ablehnung einzelner ausschreibender Stellen gegenüber.

9.5 Einsatz von aufbereiteten Baustoffen im Hochbau

9.5.1 Tragende Konstruktionen

Zur Verwendung von Recycling-Baustoffen als Zuschlagstoff zu Beton mit geringeren Anforderungen (B15/B25) im Bereich der tragenden Konstruktionen liegen bisher Untersuchungen der Gesamthochschule-Universität Essen, der Technischen Hochschule Aachen und aus den Niederlanden vor [9.3, 9.4, 9.15, 9.16].

Die Verwendung des sogenannten Betonsplittbetons ist im konstruktiven Bereich für tragende Bauteile noch nicht über das Versuchsstadium hinaus. Geeignet ist fast ausschließlich hochwertiger Betonsplitt ohne größere Anteile an Nebenfraktionen wie Holz, Asphalt oder betonschädlichen Beimengungen wie Gips etc. Bei vollständigem Ersatz des Zuschlags 4/32 mm durch RC-Baustoffe hat Betonsplittbeton eine bis zu 30 % niedrigere Druckfestigkeit als gleich zusammengesetzter Normalbeton.

Für die weitaus größte Zahl von neu zu errichtenden Bauwerken aus Stahlbeton (Wohnungs- und Bürobau) mit geringen Spannweiten, geringen Lasten und geringer Geschoßzahl ist ein Beton der Festigkeitsklasse B 25 mit den entsprechenden Festigkeits-, Verformungs- und sonstigen Eigenschaften ausreichend. Wie die Ergebnisse der Universität Essen gezeigt haben, lassen sich aus Recycling-Baustoffen Betone bis zur Festigkeitsklasse B 25 herstellen. Da nicht nur die Druckfestigkeit, sondern auch die weiteren Eigenschaften des Recyclingbetons B 25 für diese Anwendungsgebiete in akzeptierbaren Größenordnungen liegen, können die Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärbeton vernachlässigt werden. In den genannten Anwendungsgebieten (Wohnungs- und Bürobau), bei denen weder eine hohe Festigkeit noch ein hoher Elastizitätsmodul erforderlich sind, könnte Primärbeton durch Sekundärbeton ersetzt werden [9.1].

Zur Durchführung entsprechender Bauvorhaben ist zur Zeit jedoch die Einzelzulassung durch das Institut für Bautechnik notwendig. Für den Bau einer Stützwand des Eingangslagers einer Baustoff-Aufbereitungsanlage in Berlin, liegt eine Einzelzulassung zur Verwendung von Recycling-Beton als Zuschlagstoff vor. Diese Baumaßnahme soll mit der Errichtung der Aufbereitungsanlage 1995 ausgeführt werden.

Während Betonsplitt bisher nicht als Zuschlagstoff für Beton zugelassen ist, besteht für Ziegelsplitt seit der Nachkriegszeit eine Normung für die Verwendung als Zuschlagstoff zu Beton. Ziegelsplitt ist gemäß DIN 4226 als Leichtzuschlag für Beton geeignet und eingeschränkt anerkannt. Die generelle Eignung als Zuschlagstoff für Betonprodukte bestätigen Erfahrungen aus der Nachkriegszeit sowie die aktuellen Aussagen unterschiedlicher Baustoffprüfinstitute. Technische Schwierigkeiten bei der Herstellung von Ziegelsplittbeton bzw. Mauerwerkssplittbeton bestehen in der langsamen, aber starken Wasseraufnahme. Um eine gute Verarbeitbarkeit und Festigkeit von Ziegelsplitt-Transportbeton garantieren zu können, müssen besondere Vorbehandlungsmaßnahmen durchgeführt werden. Diese weichen von der gewöhnlichen Betonherstellung (z. B. Vorwässerung des Ziegelzuschlags) ab. Gemäß den Anforderungen kann jedoch ein Ziegelsplittbeton der Festigkeitsklasse B 25 hergestellt werden. Weitere Schwierigkeiten bestehen in der Einhaltung der geforderten Sortenreinheit. Diese kann aus Mauerwerksabbruch bei herkömmlichen Abbruchverfahren nicht erreicht werden. Hier ist ein systematischer Rückbau durch Einzelabtrag der Ziegel erforderlich [9.5].

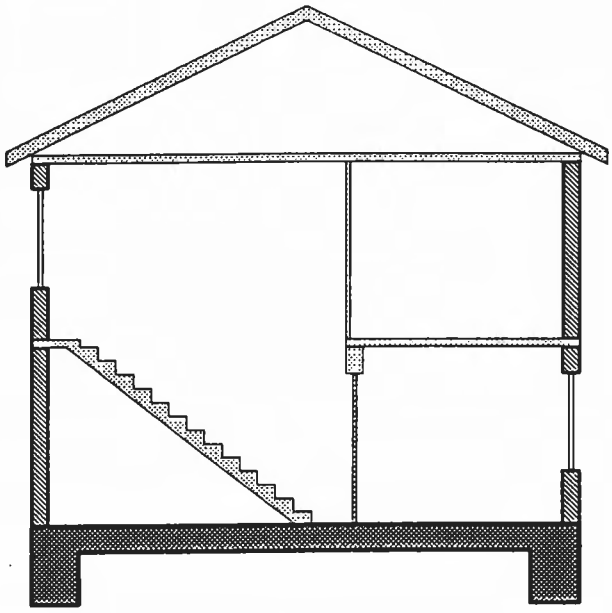
9.5.2 Nichttragende Konstruktionen

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Umweltministeriums Baden-Württemberg wurden die nichttragenden Bauteile von Gebäuden (Innen- und Außenwände, Decken, Böden und Dächer) im Detail betrachtet. Dabei wurden die Baustoffe der einzelnen Bauelemente überprüft, ob diese den technischen Anforderungen genügen, ob diese wiederverwendbar sind und/oder aus Sekundärbaustoffen hergestellt werden können. In Bild 9.2 ist eine grobe Übersicht über die tragenden und nichttragenden Konstruktionen eines Gebäudes dargestellt [9.1].

Die Zusammenstellung zeigt, daß für einen Großteil der Bauelemente wiederverwertbare Stoffe am Markt sind, und daß die ausschließliche Verwendung von Sekundärbaustoffen möglich ist. Das Bild 9.3 (s. S. 98) zeigt beispielhaft für die Wandfläche außen die schematische Darstellung der 2-schaligen Bauweise und deren Bewertung [9.1].

Der Einsatz von Recyclingbeton beim Neubau des Hauptsitzes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück erfolgte nach einer Einzelfallzulassung (Bild 9.4, s. S. 98). Den Intentionen der Umweltstiftung folgend soll das Verwaltungsgebäude durch energie- und ressourcenschonende Bauweisen und Baustoffe einen umweltfreundlichen Charakter haben. So werden verschiedene Recyclingmaterialien, beispielswei-

Bild 9.2: Übersicht über die tragenden und nichttragenden Konstruktionen eines Gebäudes



Gründung

Tragkonstruktion

Nichttragende Konstruktion
(Dachflächen, Innenwände, Decken, Fußböden, Fenster)

se Schaumglas, Terrazzo aus Altglas und Zellulosedämmaterial aus Altpapier sowie Recycling-Beton verwendet.

Das Bauwerk ist ein dreigeschossiges, teilweise unterkellertes Gebäude, bestehend aus fünf kreisrunden Abschnitten mit jeweils einem Turm im Zentrum. Die Konstruktion besteht aus Geschoßdecken auf Stahlbetonstützen und -wänden. Als Gründungskörper sind Stahlbetonfundamente, -brunnen bzw. -pfähle angeordnet. Die Lastabtragung erfolgt teilweise über gekrümmte Unterzüge, die auf Torsion beansprucht werden.

Die Genehmigung wurde nach umfangreichen Prüfungen erteilt, die u.a. Untersuchungen der Raumbeständigkeit, Druckfestigkeit und Festbetonrohdichte beinhalteten. Um eine schnelle Abwicklung des Genehmigungsverfahrens zu gewährleisten und die Anzahl der notwendigen Versuche zu reduzieren, wurden folgende Prämissen vereinbart [9.18]:

- keine Verwendung von Brechsand bis 4 mm Größtkorn,
- Brechen von Betonwaren, die noch nicht für Verkehrsflächen eingesetzt waren. Aus diesem Grunde wurden schadhafte Beton- und Pflastersteine gebrochen, die nach der Herstellung ausgesondert worden waren.

Die zur Herstellung des Betonsplitts ausgesuchten Betonwaren wiesen Druckfestigkeiten zwischen 40 und 60 N/mm^2 auf. Das gebrochene Feinkorn bis 4 mm wurde aussortiert; die Grobanteile wurden in die Korngruppen 4/16 mm und 16/32 mm klassiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen an Durchschnittsproben des Betonsplitts sind in Tabelle 9.4 zusammengestellt. Danach sind alle Anforderungen nach DIN 4226 Teil 1 erfüllt.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Vorversuche wurde die in Tabelle 9.5 angegebene Betonzusammensetzung für die Eignungsprüfungen und die Ausführung gewählt. Der Wasser-Zement-Wert lag unter Anrechnung der Flugasche unter 0,65. Sowohl die Aufbereitung des Betonsplitts als auch die Herstellung und der Einbau des Betons verliefen zügig und problemlos. Der Recyclingbeton wurde für Innenbauteile verwendet.

Um eine Normung für Betonsplittbeton zu erwirken, müßten ausgeführte Projekte über Jahre hin beobachtet und kontrolliert werden. Derzeit besteht für den Einsatz von Betonsplittbeton lediglich die Möglichkeit, eine Einzelzulassung beim Institut für Baustofftechnik in Berlin zu beantragen.

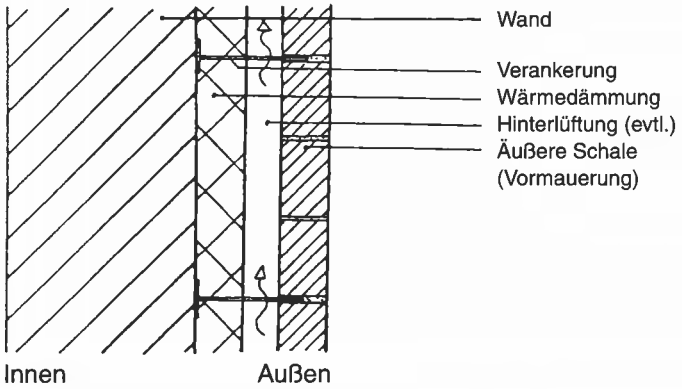
Die Verwendung von Ziegelsplittbetonen für nicht tragende Wände z.B. im Innenausbau stellt bautechnisch keine Schwierigkeit dar. Es mangelt allerdings an ausgeführten Beispielen, um Ziegelsplittbeton wieder marktfähig zu machen.

Tabelle 9.4: Prüfergebnisse an Durchschnittsproben des Betonsplitts [9.18]

Prüfgegenstand	Einheit	Ergebnis (Mittelwert)		Anforderungen nach DIN 4226 Teil 1
		Korngruppe 4/16 mm	Korngruppe 16/32 mm	
Kornform, Anteil an schlecht geformten Körnern	Gew.-%	5,5	6,2	≤ 50
Raumbeständigkeit, Durchgang durch das Prüfsieb 2 mm	Gew.-%	0,6	-	-
8 mm	Gew.-%	-	0,7	-
Schüttdichte	kg/m³	1230	1200	-
Kornrohdichte	kg/dm³	2,59	2,55	-
Chlorid	Gew.-%	0,002	0,002	≤ 0,04
Schwefelverbindungen SO_3	Gew.-%	0,41	0,50	≤ 1

Bauteil: **Wandfläche Außen**

Schematische Darstellung der Bauweise 2-schalig



Bauelement	aufarbeitbare Stoffe auf dem Markt	ausschließlich Sekundärstoff möglich
Dämmung	o	+
Verankerung	+	+
Äußere Schale	+	+

Prinzipielle Beurteilung der Bauweise auf den Einsatz von Sekundärstoffen: **positiv**

- mechanische Verbindungen dominieren
- Verankerungen aus Edelmetall haben hohen Schrottwert
- Äußere Schale getrennt demontierbar

Bild 9.3: Schematische Darstellung der 2-schaligen Bauweise für die Außenwandfläche [9.1]

[+] = ja,
[o] = im Ausnahmefall,
[–] = nein

9.6 Sonstige Einsatzgebiete für aufbereitete Baustoffe

9.6.1 Pflaster-Betonsteine

Seit 1991 werden von der Kronimus AG – Betonsteinwerke Rasengittersteine mit einem Anteil von ca. 30 Vol.-% gütegeprüftem Recycling-Baustoff hergestellt. Das Recycling-Material stammt aus sortenreinen, alten Betonsteinen, die ausgetauscht werden. Der Kernbeton der Pflaster- oder Rasengittersteine ist unter Zugabe von ca. 30 Vol.-% Betonsteinbruch der Korngröße 3/8 mm und konditioniertem Sägeschleifschlamm hergestellt. Die Betonsteine entsprechen den Anforderungen der DIN 18501. Die Betonsteine

Bild 9.4: Neubau des Hauptsitzes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück unter Verwendung von Recycling-Beton [9.18]

Tabelle 9.5: Zusammensetzung des Recycling-Betons [9.18]

Betonfestigkeitsklasse		B 35
Konsistenzbereich		KR
Zementart und Festigkeitsklasse		PZ 45 F
Parameter	Einheit	Anteile
Zementgehalt	kg/m³	290
Wassergehalt	kg/m³	201
Zuschlaggehalt bestehend aus	kg/m³	1632
Grubensand 0/2 mm	Gew.-%	40
Betonsplitt 4/16 mm	Gew.-%	40
Betonsplitt 16/32 mm	Gew.-%	18
Betonzusatzmittel BV	kg/m³	1,8
Gehalt an Steinkohlenflugasche	kg/m³	70

sind geeignet, um bei normaler Beanspruchung durch Fahrverkehr z. B. auf Pkw-Abstellplätzen, Garagenzufahrten etc. verlegt zu werden [9.12].

Des weiteren werden sogenannte „Öko-Pflastersysteme" angeboten, die systematisch angeordnete Ablaufkanäle aufweisen (Bild 9.5). Diese Pflastersysteme ergeben einen großen wasserdurchlässigen Flächenanteil, der die Aufnahme des anfallenden Oberflächenwassers bei durchschnittlichen Niederschlagsmengen gewährleistet. Die berechnete Wasseraufnahmefähigkeit pro m^2 beträgt je System zwischen 100 und 170 l/s × ha. Die sogenannten „Öko-Pflastersteine" werden unter Verwendung von ca. 25 % Recycling-Material hergestellt und entsprechen ebenfalls der DIN 18501.

Bild 9.5: Öko-Pflastersystem mit 25 % Recycling-Material der Fa. Kronimus AG [9.12]

9.6.2 Mauersteine aus gebrauchten Baustoffen

Die Hard AG Volketswil, Schweiz, stellt seit 1993 einen Mauerwerkstein her, der zu 93 % aus gebrauchten Rohmaterialien besteht. Nach einigen Vorversuchen und technischen Prüfungen, wird jetzt ein Mauerstein mit dem Produktnamen MARO® angeboten, der aus folgenden Materialien hergestellt wird [9.14]:

- ca. 74 % Mauerwerksabbruch (Backsteine, Zementstein, Kalksandstein, Mauermörtel, Verputz und Farbe);
- ca. 19 % Kieswaschschlamm (Reststoff aus der Kiesaufbereitung mit sonst nicht verwertbaren Feinstanteilen);
- ca. 7 % gebrannter Kalk (CaO).

Der Mauerwerksabbruch wird in einer Aufbereitungsanlage auf die Korngöße 0/5 mm zerkleinert und anschließend mit dem Kieswaschschlamm versetzt.

Anschließend wird der Mauerwerkstein nach den gleichen Verfahren und auf der gleichen Anlage wie handelsübliche Kalksandsteine hergestellt. Das Rohmaterial wird mit dem gebrannten Kalk als Bindemittel vermischt und nach einer Löschzeit von ca. 4 Stunden auf das gewünschte Format gepreßt. Die auf Härtewagen gestapelten Steine werden in Druckbehältern (sog. Autoklaven) bei einem Druck von 16 bar und einer Temperatur von 206 °C ausgehärtet. Während des 7-stündigen Mineralbildungsprozesses entstehen Calcium-Silikat-Hydrate, die in verschiedenen Modifikationen und Kristallformen auftreten können [9.13].

Der Mauerwerkstein ist für den Innen- und Außenwandbereich mit Verputz geeignet. Die Ergebnisse der bautechnischen Prüfungen sind in Tabelle 9.6 aufgeführt. Die produzierten Steine werden laufend auf Druckfestigkeit überprüft.

Offensichtlicher Nachteil ist die nicht kontrollierbare Farbe der Oberfläche. Diese variiert je nach Zusammensetzung des eingesetzten Mauerwerkabbruchs. Wegen der gegenüber normalen Kalksandsteinen reduzierten Frostbeständigkeit wird empfohlen, den Stein nicht unverputzt als Außenmauerwerk einzusetzen.

Nachfolgend sind drei Beispiele für Objekte genannt, die mit den Mauerwerksteinen ausgeführt wurden:

- Neubau Belag AG in Volketswil/Schweiz,
- Musterhaus für einen Bankneubau der Schweizerischen Bankgesellschaft in Lugano-Suglio imTessin, Schweiz,
- Clubhaus für einen Tennisclub in Fällanden/ Schweiz.

Tabelle 9.6: Technischen Daten der MARO®-Steine [9.13]

Parameter	Einheit	MARO®-Stein	MARO®-Mauerwerk
Steindruckfestigkeit f_s	N/mm²	> 13	
Spez. Saugfähigkeit Sf	g/dm² min	> 6	
Steinrohdichte	kg/m³	1.450	
Druckfestigkeit f_{mxd}	N/mm²		3,5
E-Modul E_{mxd}	kN/mm²		3,5
Mauerwerkrohdichte	kg/m³		1.620

9.7 Literatur

[9.1] *Andrä, H.-P., Schneider, R., Wickbold, T:* Baustoff-Recycling – Arten, Mengen und Qualitäten der im Hochbau eingesetzten Baustoffe; Lösungsansätze für einen Materialkreislauf, Ecomed-Verlag, Landsberg 1994

[9.2] *Hagelauer, W.-D.; Wolff, G.:* Technische Verwertung von Bodenaushub. Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) Luft, Boden, Abfall, Heft 24 (1994)

[9.3] *Hendriks, Ch.F.:* Verwendung von Beton- und Mauerwerkschutt als Zuschlagstoff bei der Betonherstellung in den Niederlanden. *Thomé-Kozmiensky, Pietrzeniuk* (Hrsg.): Recycling in der Bauwirtschaft, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1987

[9.4] *Iványi, G.; Lardi, R.; Eßer, A.:* Recycling-Beton-Zuschlag aus aufbereitetem Bauschutt, in: *Thomé-Kozmiensky, Pietrzeniuk* (Hrsg.), Recycling in der Bauwirtschaft, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1987

[9.5] Verwertung von Ziegelabbruch unter Berücksichtigung realistischer Absatzmärkte, unveröffentlichte INTECUS-Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen, Berlin 1992

[9.6] *Kohler, G.* (Hrsg.): Recyclingpraxis Baustoffe, Der Abfallberater für Industrie, Handel und Kommunen, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1991

[9.7] *Meyer:* Erfahrungen bei der Anwendung von RC-Baustoffen in Berlin. 2. Regionaltagung der Regionalvertretung Berlin/Brandenburg des Verbandes Dt. Baustoff-Recycling-Unternehmen und der Gütegemeinschaft Recycling-Baustoffe e. V., Juli 1994, Berlin

[9.8] LAGA – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (Hrsg.): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln –, März 1994

[9.9] *N. N.:* Ausführungsvorschriften zu § 7 des Berliner Straßengesetzes für Tragschichten im Straßenbau, Amtsblatt für Berlin 37. Jg., 24. Juli 1987

[9.10] *N. N.:* Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln 1985

[9.11] *N. N.:* Richtlinien zur Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 86, Fassung 1989. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln

[9.12] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. Kronimus AG, Betonsteinwerke, Iffezheim

[9.13] *N. N.:* Firmendruckschrift der Fa. Hard AG, Volketswil, Schweiz

[9.14] *N. N.:* Abbruchmauerwerk fließt wieder in den Stoffkreislauf, Sonderdruck Schweizer Baublatt Nr. 7 (1994), Recycling + Entsorgung Nr. 1

[9.15] *Schulz, R.-R.:* Betonzuschlag aus Baurestmassen, in: Baustoff-Recycling, Nr. 4, Jhrg. 3, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden 1987

[9.16] *Schulz, R.-R.:* Wiederverwendung von Baurestmassen als Betonzuschlag – Ein Beitrag zur Kostensenkung, Vortrag auf dem Seminar „Baustoffrecycling" des Bauzentrums München, 2. 12. 1992, München

[9.17] Verdingungsordnung für Bauleistungen: Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art – aus VOB Teil C – DIN 18299, Ausgabe 1992, DIN – Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, Berlin

[9.18] *Wöhnl, U.:* Recyclingbeton für Bauteile im Hochbau; Beton (9), 1994

10. Absatzfördernde Maßnahmen bei Recycling-Baustoffen

Die Baustoff-Aufbereitung sowie die Produkte müssen an die spezifischen Bedingungen des regionalen Marktes angepaßt werden. Deshalb ist vor Beginn einer Anlagenkonzeption bzw. vor der Markteinführung von Recycling-Baustoffen ein anwenderorientiertes Vermarktungskonzept zu erstellen.

Das Konzept für eine nutzwertgerechte und rentable Vermarktung von Massenbaustoffen sollte die lokalen bzw. regionalen Gegebenheiten wie folgt berücksichtigen:

- Analyse der Angebots- und Nachfragestruktur, d.h. Erfassung und Strukturierung des Baustoffmarktes sowie der Absatzbedingungen für Massenbaustoffe. Dies ist notwendig, um die Konkurrenzsituation zu Primärbaustoff und weiteren Sekundärbaustoffanbietern abschätzen zu können.
- Entwicklung einer unternehmensspezifischen Produkt-, Kommunikations- und Preispolitik.
- Auf Grundlage der Analysenergebnisse und der gesetzten Randbedingungen erfolgt eine Strategieplanung für die Vermarktung der RC-Baustoffe unter Wirtschaftlichkeitsaspekten.

10.1 Markt

Gebrauchte mineralische Baustoffe sollten nicht weiter als 15 bis 20 km transportiert werden. Bei größeren Entfernungen ist der Anteil der Transportkosten überproportional hoch im Vergleich zum Wert des Transportgutes. Im entsprechenden Umkreis um den Anlagenstandort ist demnach das potentielle Materialaufkommen zu ermitteln. Von Bedeutung für das Aufkommen und das spätere Vermarktungskonzept sind die regionalen Entsorgungsmöglichkeiten für gebrauchte Baustoffe sowie die Lage von Konkurrenzunternehmen (Anbietern von Primär- und Sekundärbaustoffen).

Die Absatzmärkte für RC-Baustoffe liegen aufgrund der Transportkosten gleichfalls im Umkreis von ca. 20 km. Die Nachfrage nach RC-Baustoffen kann unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte regional und strukturell ermittelt bzw. prognostiziert werden:

- Struktur- und Entwicklungsplanungen der Kommunen und des Landes;
- Regionale bzw. lokale Bebauungsplanungen der für den Absatz von RC-Baustoffen relevanten Bereiche;
- Kenntnisnahme von regionalen Marktlücken im Primärbaustoffmarkt.

Bei der Anlagenplanung ist zu beachten, daß für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb das Materialaufkommen sowie die Absatzmärkte über einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren zur Verfügung stehen müssen.

Die Konkurrenzbedingungen bzw. Einflußfaktoren auf den Baustoffmarkt sind in Bild 10.1 dargestellt. Danach wird der regionale Wettbewerb zwischen Anbietern von Primär- und Sekundärbaustoffen von externen Einflüssen sowie den vorgegebenen Zielen des Aufbereitungsbetriebes beeinflußt.

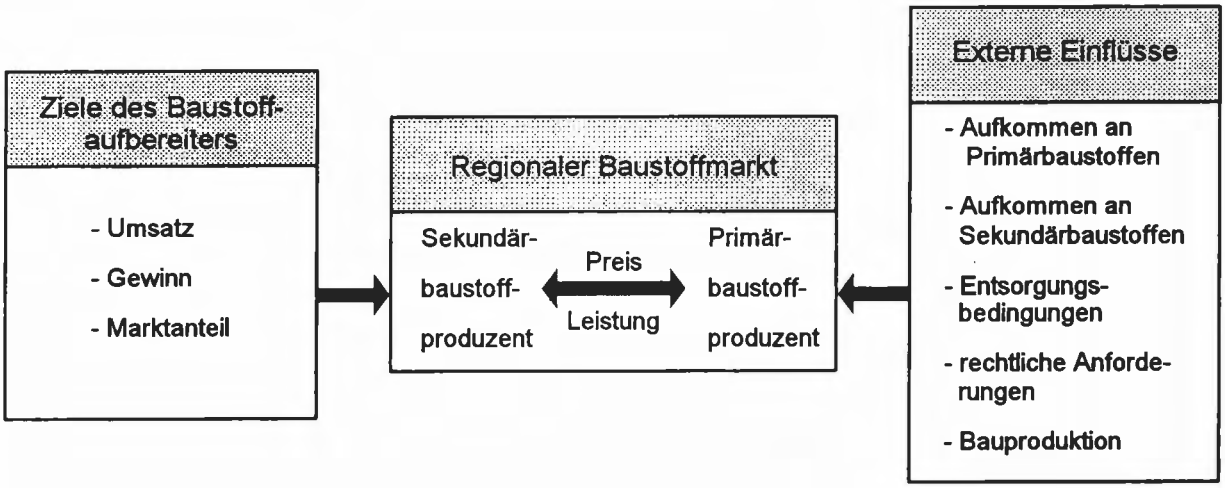
Die Abhängigkeiten auf dem regionalen Baustoffmarkt werden dabei durch markthemmende und marktfördernde Faktoren beeinflußt.

10.1.1 Markthemmende Faktoren

Als markthemmend lassen sich folgende Faktoren aufführen [10.5]:

- Niedrige Annahmegebühren sowie unterschiedliche Annahmebedingungen an den Deponien.
- So sind insbesondere in den neuen Bundesländern noch immer eine Vielzahl ungeordneter Deponien in Betrieb, die weder geregelte Annahmebedingungen noch eine Mindestausstattung aufweisen (Basisabdichtung). Entsprechend gering sind dort die Gebühren für die Ablagerung von gebrauchten Baustoffen.
- Verbringung auf nicht kontrollierte Deponien oder in das angrenzende Ausland.
  In den ersten Jahren nach dem Fall der innerdeutschen Grenze ist z.B. ein Großteil der in Berlin anfallenden gebrauchten Baustoffe im Umland unkontrolliert abgelagert worden [10.2]. In Baden-Württemberg besteht die Tendenz, Materialien in Frankreich zu entsorgen. Dort sind die Deponiegebühren so niedrig, daß sich auch weite Transportwege noch rentieren.
- Vorbehalte von kommunalen Entscheidungsträgern gegenüber der Genehmigung von Anlagenstandorten.
- Dezentrale Bautätigkeit mit hohen Transportentfernungen zu den Aufbereitungsanlagen.
  Der dezentrale Anfall geringer Mengen an gebrauchten Baustoffen stellt insbesondere außerhalb von Ballungsräumen ein Hemmnis bei der Investitionsentscheidung dar. Die Kooperation zwischen entsorgungspflichtiger Körperschaft und Anlagenbetreiber auf der Grundlage eines Betreibervertrages zur Aufbereitung unterschiedlicher Materialien (Bauschutt, Baustellen- und Gewerbeabfälle) in einer Kombi-Anlage zur Sortierung und Aufbereitung kann eine wirtschaftlich interessante Lösung darstellen.
- Unsicherheit bezüglich des Anteils schadstoffverunreinigter (kontaminierter) Baustoffe bei Abriß- und Sanierungsmaßnahmen
  An diesem Punkt zeigt sich die praktische Notwendigkeit des Vermischungsverbots und des Getrenntsammelgebots bei der Erfassung der gebrauchten Baustoffe. Dem Betreiber einer Aufbereitungsanlage obliegt hier die Verantwortung, sich durch ein Multikontrollsystem vor der versehentlichen Annahme kontaminierter Chargen zu schützen.
- Fehlende Datengrundlagen bezüglich der Zusam-

Bild 10.1: Einflußfaktoren auf den Primär- und Sekundärbaustoffmarkt



mensetzung der gebrauchten Baustoffe als Entscheidungshilfe bei der Auswahl der Maschinentechnik sowie der möglichen Produktpalette
Die erwähnten regionalen Mengenerhebungen werden sinnvoll durch Sortieranalysen ergänzt. So können die erforderlichen Aggregate dem Input angepaßt werden. Dieses Vorgehen ermöglicht am ehesten optimale Durchsatzleistungen bei minimalem Verschleiß und geringen Stillstandzeiten.

- Fehlende Datengrundlage bezüglich der qualitativen und quantitativen Einsatzpotentiale für Sekundärbaustoffe (Absatzmärkte) innerhalb des lokalen Marktes
- Unzureichende Kenntnis über die Einsatzmöglichkeiten der RC-Baustoffe bei Entscheidungsträgern der Verwaltung
  Die Bedeutung dieses Punktes wird häufig unterschätzt. Recyclingunternehmer, Baustoffhändler u.a. setzen bei Mitarbeitern in ausschreibenden Stellen der Verwaltung eine Akzeptanz gegenüber den Recycling-Baustoffen voraus. Gerade in der Phase der Markteinführung eines Recyclingproduktes in einer Region ist die Berücksichtigung des Produktes bei öffentlichen Baumaßnahmen entscheidend. Bezüglich der Zusammensetzung der zulässigen Recyclingprodukte sowie der Einsatzgebiete werden die gesetzlich vorgesehenen Möglichkeiten vielfach nicht ausgeschöpft [10.4].
- Ausstehende Normung für Betonsplitt als Zuschlagsstoff für Beton verhindert dessen Einsatz im Hochbau
  Zur Zeit ist der Einsatz von Betonsplittbeton im Hochbau nur durch eine Einzelbauart-Zulassung möglich. Eine entsprechende Normung wäre ein wichtiger Schritt auf dem Weg vom Downcycling zum Recycling.
- Importe preisgünstiger Primärbaustoffe aus dem Ausland gefährden die Konkurrenzfähigkeit der Sekundärprodukte
  Die Substitution von Primär- durch Sekundärbaustoffe würde bei einer vollständigen Wiederverwertung (Forderung der TA Siedlungsabfall und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes) maximal 10 % betragen. Dies bezieht sich auf die Aufbereitung und Wiederverwertung von ca. 70 Mio Mg/a an Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfällen im Vergleich zu einem Schüttgutmarkt an Natursteinen, Kies, Sand und Schlacken von über 640 Mio Mg/a. Diesen Anteil gilt es gegen Importware zu verteidigen [10.6].
- Uneinheitliche Situation bei der Entsorgung und Weiterverwertung von Reststoffen bzw. aussortierten Wertstoffen
  Hier sind wiederum die Annahmebedingungen sowie die Gebührenordnung der Deponien gefragt, um die Reststoffentsorgung für Anlagenbetreiber zu einer kalkulierbaren Größe zu machen. An der Gebührenstaffelung für die Reststoffentsorgung orientieren sich nicht zuletzt auch die Annahmegebühren einer Aufbereitungsanlage.

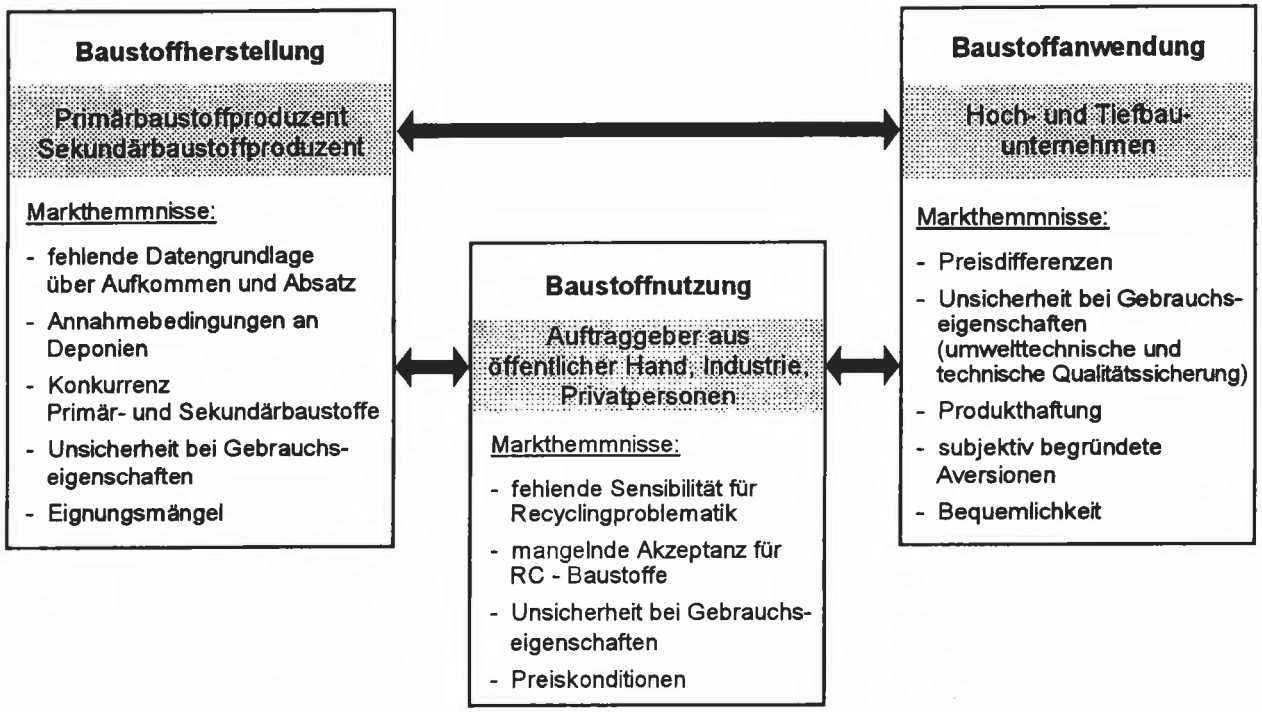
Im Bild 10.2 sind zusammenfassend die wichtigsten Markthemmnisse bzw. Abhängigkeiten zwischen Baustoffherstellung, -anwendung und -nutzung dargestellt.

10.1.2 Marktfördernde Faktoren

Als marktfördernd können folgende Faktoren angeführt werden [10.5]:

- Bestehende und geplante rechtliche und normative Rahmenbedingungen auf Bundes- und Länderebene zur Förderung des Recyclings, z.B. Verwertungsquoten
  In Berlin z.B. schreiben die Ausführungsvorschriften zu § 7 des Berliner Straßengesetzes seit 1987 für die ungebundenen Trag- und Frostschutzschichten bei Straßen der Bauklassen III bis VI die Verwendung von Recycling-Material vor. Diese Möglichkeit wird bei der Ausschreibung von öffentlichen Baumaßnahmen nicht voll ausgeschöpft.
- Verknappung der verfügbaren Deponiekapazitäten
  Mit der Reduzierung der Deponiestandorte wird die Durchsetzung einheitlicher Annahmebedingungen realistischer. Die notwendige schrittweise Erhöhung der Annahmegebühren vergrößert zudem

Bild 10.2: Markthemmnisse bei Recycling-Baustoffen



den wirtschaftlichen Handlungsspielraum für Anlagenbetreiber.

- Hohe Bautätigkeit innerhalb der Abschreibungszeiträume für Aufbereitungsanlagen
- Nutzung bestehender Verwaltungsstrukturen (Hoch- und Tiefbauämter, Amtsblätter, öffentliche sowie beschränkte Ausschreibungen etc. auf Landes-, Kreis- und Kommunalebene) für die fördernde Beeinflussung des Marktes von Sekundärbaustoffen.
- Änderung der Genehmigungsvoraussetzungen für stationäre Anlagen (Genehmigung nach BImSchG) sowie genehmigungsfreier Betrieb für mobile Anlagen bei einer Standzeit von bis zu 12 Monaten
  Aufgrund der Transportkostenempfindlichkeit von gebrauchten sowie RC-Baustoffen werden von Anlagenbetreibern mobile Anlagen favorisiert.
- Erleichterung der Genehmigungsvoraussetzungen für Anlagen zur Behandlung kontaminierter Baustoffe
  Eindeutige Entsorgungswege für kontaminierte Baustoffe erhöhen die Sicherheit der Anlagenbetreiber gegenüber kontaminierten Fehlchargen. Dies trägt letztlich zur Akzeptanz für Recycling-Baustoffe bei.
- Ablehnung kommunaler Entscheidungsträger gegenüber der Ausweisung von Sand- und Kiesabbaugebieten kann die Ansiedlung von Aufbereitungsanlagen als sogenanntes „kleineres Übel" begünstigen [10.7].
- Qualitätssicherung von Baustoffen durch die normativ forcierte getrennte Erfassung sowie durch Einführung von Qualitätssicherungssystemen
  Die Umsetzung des Vermischungsverbotes und Getrenntsammelgebots mit praktikablen Lösungen steht ganz am Anfang. Ihre Bedeutung für die Qualitätssicherung von Baustoffen dringt jedoch nach und nach ins Bewußtsein der Branchenbeteiligten. Durch die Einführung von Qualitätssicherungssystemen können entsprechende Maßnahmen auch öffentlich belegt werden.
- Regelungen der Verpackungsverordnung können bewirken, daß gebrauchte Baumassen von Störstoffen entfrachtet werden.
- Recycling von Abfällen und Reststoffen ist gesellschaftlich akzeptiert. Die Notwendigkeit sowie die Vorteile des Baustoff-Recyclings können anschaulich verdeutlicht werden. Mit gesellschaftlicher Akzeptanz für diesen Bereich kann daher gerechnet werden.
  Zur weiteren Erhöhung der Akzeptanz ist eine intensive und zielgruppengerechte Information, die Ausbildung der Entscheidungsträger in Politik, Verwaltung und Planung sowie der Arbeitskräfte beim Abbruch, der Erfassung und Aufbereitung von gebrauchten Baustoffen notwendig.
- Preisvorteil der Sekundärbaustoffe gegenüber (zumindestens inländischen) Primärbaustoffen
  Ein Preisvorteil wird nur möglich, wenn Randbedingungen ausgeschaltet werden, die die Entwicklung des Sekundärbaustoff-Marktes behindern. Wird die Produktion von Sekundärbaustoffen jedoch umweltökonomisch betrachtet, ist ganz sicher ein Preisvorteil auzumachen.

10.2 Qualitäts- und Umweltmanagement-Systeme

Markthemmnisse beim Einsatz von Recycling-Baustoffen sind z.T. zurückzuführen auf fehlende Akzeptanz der Anlagen und Produkte (Genehmigungsvorbehalte, mögliche Verunreinigungen, kontaminierte

Fehlchargen). Darüber hinaus spielen unzureichende Informationen der Entscheidungsträger in Politik und Verwaltung über Qualität und Anwendungsbereiche eine Rolle.

Diese Hemmnisse lassen sich offensiv durch Darlegung der Sicherstellung von Qualität und Umweltverträglichkeit der Produkte und Anlagen überwinden.

Instrumente dafür bilden das Umweltmanagementsystem und das Qualitätsmanagementsystem, die die Sicherstellung nach außen hin dokumentieren.

Nachfolgend werden drei Bereiche vorgestellt, die sinnvoll Qualitäts- und Umweltaspekte für die Baustoffrecyclingbranche verknüpfen [10.10]:

- **Total Quality Management** befaßt sich mit der Gesamtheit des Unternehmens und aller Prozesse.
- **Öko-Audit** ist eine Betriebsprüfung unter Umweltgesichtspunkten und dient letztendlich der Einrichtung eines Umweltmanagements.
- **Zertifizierung** ist die Überprüfung eines Unternehmens nach vorgegebenen Kriterien (z.B. DIN ISO 9000ff) durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle. Bei Einhaltung der Anforderungen wird ein Zertifikat erteilt.

10.2.1 Total Quality Management (TQM)

Beim Total Quality Management (TQM) sollen alle Produktionsprozesse sowie die Tätigkeiten der Mitarbeiter qualitativ optimiert und Fehler weitestgehend ausgeschlossen werden. Dies erfolgt unter dem Aspekt der Kundenorientierung und einer verbesserten Wertschöpfung. Dabei sind nicht nur das Produkt, also ein einwandfreier Recycling-Baustoff, sondern alle sonstigen den Kunden betreffenden Leistungen betroffen [10.10].

Insgesamt umfaßt TQM die Qualität aller Prozesse, jede Tätigkeit, jedes interne Kunden-Lieferantenverhältnis sowie jeden Arbeitsplatz. Qualität wird dabei als Aufgabe definiert, die jeden Mitarbeiter betrifft. TQM erfordert eine bestimmte Unternehmensstruktur, langfristiges Denken und das permanente Ziel der Unternehmensleitung, die Kreativität der Mitarbeiter zu fördern. Neue Führungskonzepte müssen sich dabei am realen Ist-Zustand eines Unternehmens orientieren. Zuerst muß der Ist-Zustand des Unternehmens erfaßt und analysiert werden, um darauf aufbauend einen Stufenplan für die Einführung des Qualitätsmanagements zu entwickeln [10.3].

10.2.2 Öko-Audit

Am 29. 6. 1993 wurde die EWG-VO Nr.1836/93 des Rates zum „Öko-Audit" (VO über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung) verabschiedet. Als Verordnung besitzt sie für alle Mitglieder der Gemeinschaft verbindlichen Charakter (Umsetzung in nationales Recht bis April 1995).

Das Öko-Audit dient der Überprüfung sämtlicher umweltrelevanter Entscheidungen und Vorgänge im Unternehmen, um betriebliche Arbeitsabläufe aus Sicht des Umweltschutzes zu beurteilen. Festzustellen ist, wie effektiv innerbetriebliche technische und organisatorische Vorkehrungen zur Erfüllung der Umweltschutzanforderungen funktionieren.

Ferner kann mit entsprechender Auswertung des Audits die Einhaltung von Rechtsvorschriften gegenüber den Behörden dokumentiert werden. Das bedeutet Verminderung des Risikos von Rechtsauseinandersetzungen, unerwarteten und u.U. kostenträchtigen Auflagen, Betriebseinschränkungen etc.

Ein erheblicher Nutzen liegt in der zielgerichteten Auswertung der Erhebungen zur Reduzierung der Betriebskosten. In der Ver- und Entsorgung geben die erhobenen Daten konkrete Hinweise zur Optimierung von Stoff- und Materialbilanzen.

Hinsichtlich der Umwelthaftpflichtversicherung können betriebliche Risiken erkannt und abgestellt werden und die Risikovorsorge und -beherrschung gegenüber dem Versicherer prämienrelevant dokumentiert werden.

Schließlich stellt das Umwelt-Audit ein wirksames Instrument der aktiven Public Relations zu Kunden, Öffentlichkeit und Behörden dar und fördert auch das Image und die Motivation der Mitarbeiter.

Der Ablauf eines Öko-Audits (Bild 10.3) kann in die nachfolgenden Phasen aufgeteilt werden [10.11, 10.12]:

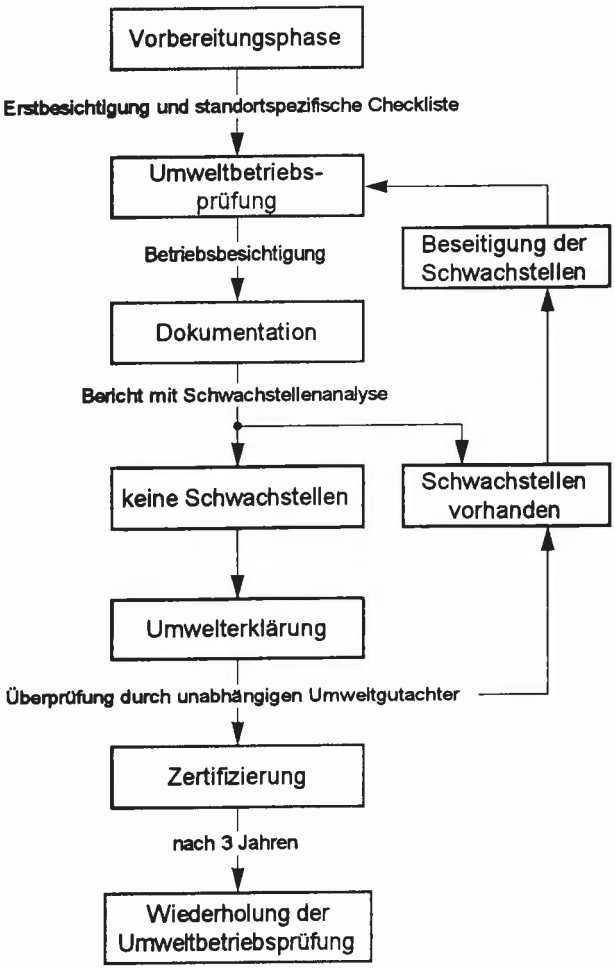
- Vorbereitungsphase: Entwicklung einer betrieblichen Umweltpolitik bezogen auf einen Standort. Aufgrund einer ersten betriebsinternen Umweltprüfung wird ein Umweltprogramm aufgestellt.
- Umweltbetriebsprüfung bzw. Schwachstellenanalyse durch eigene Fachleute oder externe Berater.
- Dokumentation: Darstellung des Ist-Zustands und überprüfung entsprechend der Öko-Audit-Verordnung bzw. den geltenden Gesetzen; das Ergebnis dieser Dokumentation ist eine standortbezogene Umwelterklärung.
- Überprüfung der Umwelterklärung durch Umweltgutachter auf Plausibilität und Transparenz. Bei Erfüllung der Anforderungen gemäß Öko-Audit-Verordnung erfolgt Zertifizierung der Umwelterklärung.
- Eintragung in das Standortregister und Veröffentlichung im EU-Amtsblatt.
- Überprüfung der Umweltbetriebsprüfung und der Gültigkeitserklärung nach drei Jahren.

Qualitätsmanagementsysteme und Umweltmanagementsysteme können durch Zusammenführen gleichartiger Bausteine sinnvoll miteinander kombiniert werden. Dazu werden beispielsweise qualitätsbezogene Anweisungen um umweltrelevante Aspekte ergänzt.

10.2.3 Zertifizierung von Qualitätssicherungs-Systemen

Die Zertifizierung nach DIN ISO 9000ff erlangt national und international eine immer größere Bedeutung, da vom Auftraggeber Qualitätsmanagement-Nachweise verlangt werden. Die Unternehmen müssen diesen Forderungen unter dem Aspekt der Produktverbesserung und des Marketings Rechnung tragen. Im Zuge der EU-Harmonisierung sowie angesichts der Bedeutung, die dem Umweltschutz, der Produktsicherheit sowie der Qualität beigemessen wird, ist auch die Baustoff-Recycling-Branche tangiert. Auf Dauer dürfte

Bild 10.3: Verfahrensablauf eines Öko-Audits



kaum ein Betrieb daran vorbeikommen, sein Unternehmen freiwillig, aber unter kollektivem Zwang zertifizieren zu lassen [10.8].

Im August 1994 wurde die „Zertifizierungsstelle der Recycling- und Entsorgungswirtschaft für Qualitäts-Management-Systeme" (ZER-QMS) gegründet. ZER-QMS soll die unabhängige und in jeder Hinsicht neutrale Zertifizierung von Systemen des Qualitätsmanagements in Betrieben der Recycling- und Entsorgungswirtschaft vornehmen. Dies beinhaltet auch den Nachweis für die Sach- und Fachkunde gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [10.9].

Im August 1992 wurde das Bauproduktengesetz (BauPG) erlassen (Tag der Veröffentlichung: 14. 8. 1992) Die Vorschriften dieses Gesetzes regeln das Inverkehrbringen von Bauprodukten und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten von und nach den Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft (Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte: Bauproduktenrichtlinie). Die EG-Bauproduktenrichtlinie hat Normencharakter. Ein Bauprodukt, dessen Brauchbarkeit sich nach anerkannten Normen oder europäischen, technischen Zulassungen richtet, bedarf einer Bestätigung der Übereinstimmung (Konformität) mit diesen Normen oder Zulassungen. Das Konformitätsnachweisverfahren kann u.a. aus einer ständigen Eigenüberwachung der Produktion durch den Hersteller (werkseigene Produktionskontrolle) sowie einer Überwachung, Beurteilung und Auswertung der Eigenkontrolle durch eine Überwachungsstelle bestehen. Es kann verlangt werden, daß die Ergebnisse durch eine Zertifizierungsstelle bestätigt werden [10.15].

Die werkseigene Produktionskontrolle ist vergleichbar der DIN ISO 9000ff. aufgebaut. Im Gegensatz dazu ist die Berücksichtigung der Bauproduktenrichtlinie Pflicht für jedes Bauunternehmen. Die Angleichung der Bauproduktenrichtlinie an die DIN ISO 9000ff. sowie die Vereinheitlichung der Zertifizierungen ist geplant [10.15].

Die Zertifizierung wird für ein Baustoff-Recyclingunternehmen mit einer oder mehreren Betriebsstätten sowie für die Aufbereitung bestimmter Fraktionen und Mengen zeitlich begrenzt ausgesprochen. Dabei kann es sich sowohl um stationäre als auch mobile Anlagen handeln. Es muß jedoch nachgewiesen werden, das die gebrauchten Baustoffe in der beantragten Art und Menge über einen Zeitraum von drei Monaten erfolgreich aufbereitet und verwertet wurden [10.14].

Das Unternehmen ermöglicht in der 1. Phase die Besichtigung der Aufbereitungsanlagen (Voraudit) durch die von der Zertifizierungsstelle benannten Auditoren (Bild 10.4). Der Verfahrensablauf und die Betriebstechnik werden für die Zertifizierung zur Verfügung gestellt.

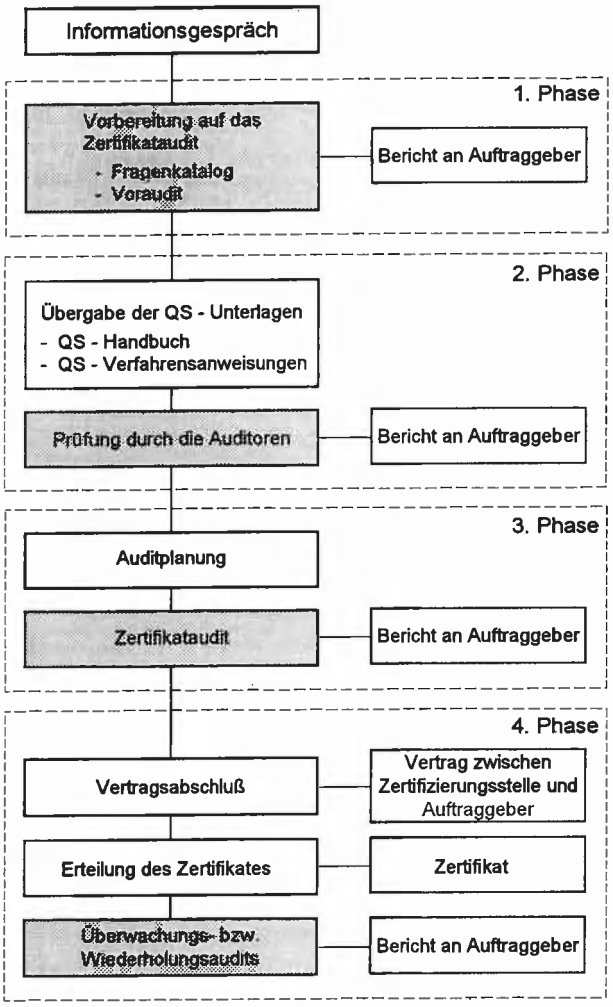
Durch den Betrieb müssen die In- und Outputströme in kontrollierbarer und nachprüfbarer Weise erfaßt und dokumentiert werden. Neben den Produktangaben müssen auch die Mengen und Verwertungs- bzw. Entsorgungsanlagen für die Wert- und Reststoffe erfaßt werden. Alle Daten sind in monatlichen Stoffmengenbilanzen im Betriebstagebuch zusammenzufassen. Es sollten auch Stillstandzeiten, Umbaumaßnahmen, Erweiterungen und Änderungen der Betriebsweise dokumentiert werden.

Zusätzlich ist ein Betriebshandbuch zu führen, das z.B. Arbeitsanweisungen für Tätigkeiten wie Eingangskontrolle und Probenahme, Maßnahmen für besondere Vorkommnisse (Arbeitsunfälle) sowie Genehmigungen, Gewerbeanmeldung, Versicherungspolicen etc. enthält. Das Betriebshandbuch sollte jeweils den aktuellen Stand wiedergeben. Die Führung eines Betriebstagebuchs und -handbuchs ist auch eine Forderung der TA Siedlungsabfall; im Rahmen einer Genehmigung nach BImSchG kann es zur Auflage gemacht werden.

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Zertifizierung ist die Durchführung qualitätssichernder Maßnahmen. Neben der Eingangskontrolle und getrennten Lagerung gehören hierzu die technischen und umwelttechnischen Qualitätsprüfungen, wie diese ausführlich in Kapitel 8 beschrieben sind.

Die vollständigen Unterlagen über das Qualitätssicherungssystem (Betriebstagebuch, -handbuch, Ergebnisse der Baustoff-Prüfungen etc.) werden in der 2. Phase von den Auditoren auf Einhaltung der Normenanforderungen geprüft. Der Anlagenbetreiber erhält einen Kurzbericht und bei positivem Ergebnis ein

Bild 10.4: Ablauf eines Zertifizierungsverfahrens nach TüV-CERT



Preisangebot über die Durchführung des Zertifikatsaudits im Unternehmen. Bei Nichterfüllung der Anforderungen sollte ein Gespräch zur weiteren Vorgehensweise bzw. ein weiteres Voraudit vereinbart werden.

In der 3. Phase erfolgt das Zertifikataudit in der Regel von zwei Auditoren. Das Unternehmen bekommt einen Auditplan und auf Wunsch die Auditfragenliste zur Information. Im Rahmen des Audits im Unternehmen überprüfen die Auditoren die Wirksamkeit des eingeführten Qualitätssicherungssystems. Aufgabe des Unternehmens ist es, die praktische Anwendung der dokumentierten Verfahren zu demonstrieren. Die Auditoren überprüfen und bewerten diese Anwendung auf Normenerfüllung. Abschließend erhält das Unternehmen einen ausführlichen Auditbericht mit den ggf. festgestellten Abweichungen und der Bewertung der Auditoren [10.1].

In der 4. Phase kommt es zum Abschluß eines separaten Vertrages zwischen dem Auftraggeber und der Zertifizierungstelle. Auf Vorschlag der Auditoren entscheidet die Zertifizierungstelle nach fachlicher Prüfung der Berichte über die Zertifikaterteilung. Ein Zertifikat hat üblicherweise drei Jahre Gültigkeit, wenn jährliche Überwachungsaudits im Unternehmen mit positivem Ergebnis durchgeführt werden. Vor Ablauf der Gültigkeitsdauer ist ein Wiederholungsaudit zur Verlängerung der Zertifikates für weitere drei Jahre erforderlich [10.1].

10.3 Haftungsrisiken bei der Produktion und dem Einsatz von RC-Baustoffen

Das Haftungsrisiko für den Bereich der Produktion und den Einsatz von RC-Baustoffen kann in drei Kategorien eingeteilt werden [10.13]:

- Haftung für allgemeine Betriebsrisiken,
- Haftung für Produktrisiken,
- Haftung für Umweltrisiken.

10.3.1 Betriebsrisiko

Die allgemeinen Betriebsrisiken sind vergleichbar mit den Risiken anderer Betriebsgeschehen auf Baustellen. Dies sind überwiegend Verkehrssicherungspflichten, deren Nichtbeachtung die Verletzung von Rechtsgütern Dritter zufolge hat. Als Beispiele für die Verletzung von Verkehrssicherungspflichten können genannt werden:

- ungenügende Absperrung der Recyclinganlage bzw. des Geländes für die Bevorratung des Materials;
- unvorsichtiger Umgang mit selbstfahrenden Arbeitsmaschinen bei der Befüllung der Anlage;
- Be- und Entladen von anliefernden Fahrzeugen.

10.3.2 Produktrisiko

Im Verlauf der sich entwickelnden Rechtsprechung zur Produkthaftung hat sich die verschuldensabhängige Haftung wesentlich verschärft. Dabei hat die Rechtsprechung einer Umkehr der Beweislast zugunsten des Geschädigten zugestimmt. Danach muß der Produzent nachweisen, daß ihn kein Verschulden treffe. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Unternehmen meistens nicht in der Lage sind, den von ihnen geforderten Entlastungsbeweis zu führen.

Des weiteren besteht eine Haftung für Schäden aufgrund des Fehlens von zugesicherten Eigenschaften. Danach hat der Produzent gegenüber seinem Vertragspartner für Folgeschäden zu haften, wenn diese aufgrund des Fehlens der zugesicherten Eigenschaften ohne Rücksicht auf ein Verschulden eintreten.

Produkthaftungsgesetz (ProHG) vom 1. 1. 1990

§ 2 des ProHG beschreibt als Produkt im Sinne des Gesetzes jede bewegliche Sache, auch wenn diese einen Teil einer anderen beweglichen oder unbeweglichen Sache bildet. Daraus folgt, daß das ProHG auch auf Recycling-Baustoffe anzuwenden ist, sofern ein Personenschaden verursacht wurde. Voraussetzung ist, daß die beschädigte Sache „ihrer Art nach gewöhnlich für den privaten Ge- oder Verbrauch bestimmt ist und hierzu von dem Geschädigten hauptsächlich verwendet worden ist". Die typischen Schadensursachen für die Produkthaftung können in drei Ursachengruppen zusammengefaßt werden [10.13]:

- Entwicklungsfehler
  Produkte werden hergestellt und vertrieben, ohne daß im ausreichenden Maße die Tauglichkeit allgemein bzw. für den besonderen Verwendungszweck überprüft wurde (z. B. Wiederverwertung von Produktionsrückständen in der Industrie).
- Fabrikationsfehler
  Durch menschliches oder technisches Versagen weist das Endprodukt einen Mangel auf, der zu Folgeschäden führt (z. B. ungenügende Aussonderung von Verunreinigungen aus dem RC-Material).
- Informationsfehler
  Das Produkt selbst ist nicht mangelhaft, vielmehr wird der Abnehmer oder Endverbraucher in einer Gebrauchsanweisung oder in der Verkaufsberatung über die Anwendung der Erzeugnisse falsch oder unvollständig beraten. Auf bestimmte Gefahren bzw. Risiken bei der Verwendung wird nicht hingewiesen.

Zu diesen drei Gruppen kommt noch die Schadensursache einer mangelhaften Produktbeobachtung hinzu. Durch die Rechtsprechung wurde festgestellt, daß ein Hersteller bzw. Händler seine Produkte am Markt im Hinblick auf Folgeschäden im Auge behalten muß. Ggf. muß er Aktivitäten zur Schadensverhütung einleiten, wenn er die Fehlerhaftigkeit seines Produktes im Nachhinein erkennt.

Neben der technischen Qualität ist die Umweltverträglichkeit der Materialien ein wichtiger Gesichtspunkt in der Produkthaftung. Ein Produkt ist mangelhaft, wenn es schadstoffbelastete Bestandteile enthält und so eine Gefahr für den Abnehmer bzw. die Allgemeinheit darstellt.

10.3.3 Umweltrisiken

Im Gegensatz zur Produkthaftung kommen bei der Umwelthaftung neben den privatrechtlichen Ansprüchen auch öffentlich-rechtliche hinzu. Dies ist immer dann der Fall, wenn durch staatliches Handeln Umweltschäden verhindert, ermittelt, begrenzt oder beseitigt werden sollen. Bei Feststellung einer Umweltgefährdung bzw. eines bereits eingetretenen Umweltschadens sind die staatlichen Organe aufgefordert, von der Allgemeinheit Gefahren abzuwehren.

Bei der Betrachtung der privatrechtlichen Ansprüche wird unterschieden in die Schädigung von Gewässern einschließlich Grundwasser sowie die Schädigung von Boden und Luft. Nach § 22 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) trifft denjenigen eine verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung, aus dessen Anlage Stoffe in ein Gewässer gelangen ohne in dieses eingebracht oder eingeleitet worden zu sein. Für Betreiber von Aufbereitungsanlagen mit Naßreinigungsverfahren sowie mit Halden zur Bevorratung von RC-Materialien ist von Wichtigkeit, daß diese als Anlagen im Sinne von § 22 WHG gelten.

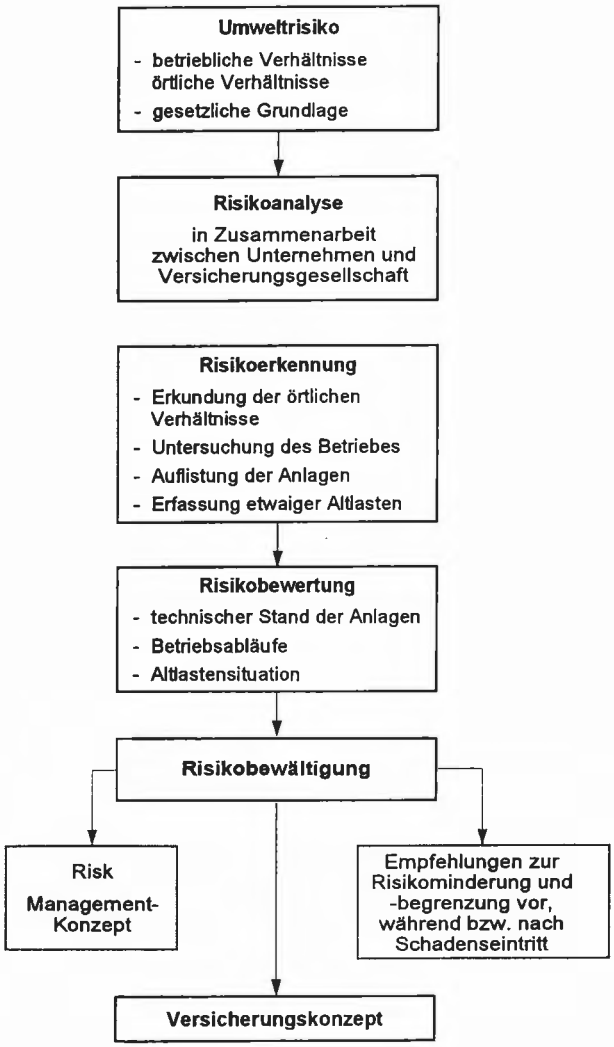
In Analogie zur Haftung nach dem WHG wurde am 1. 1. 1991 das Umwelthaftungsgesetz (UmweltHG) eingeführt. Dieses normiert für genehmigungspflichtige Anlagen nach BImSchG eine verschuldensabhängige Haftung für den Inhaber der Anlage. Diese gilt auch für Schäden durch den genehmigten Betrieb (Normalbetrieb). Hierunter fallen Asphaltaufbereitungs- und teilweise Sortieranlagen für Baustellenabfälle (siehe Anlage 1 zum UmweltHG) [10.13].

10.3.4 Risk-Management-Konzept

Aufgrund der Vielzahl der Gefährdungshaftungen zeigt sich, daß ein Recycling-Unternehmen außerordentlich sorgfältig vorgehen muß, um keinen Ansprüchen ausgesetzt zu sein. Hier sollte in jedem Aufbereitungsunternehmen eine Analyse der individuellen Risiken vorgenommen werden, die folgende Schwerpunkte setzt [10.13]:

- Materialaufkommen
  Ausgangsstoffe enthalten evt. kontaminierte Bestandteile. Ein Multikontrollsystem verringert das Risiko.
- Materialaufbereitung
  Die Zwischenlagerung der RC-Baustoffe sowie die Anlage selbst müssen auf Risiken bezüglich der technischen und umwelttechnischen Produktqualität überprüft werden. Wichtiger Gesichtspunkt ist hierbei die Nutzung von kontaminierten Grund-

Bild 10.5: Ablaufplan zur Erstellung eines Risk-Management-Konzeptes [10.17]



stücken (Abgrenzungsproblematik der Altlasten). Beispielsweise kann das Grundstück vor der Nutzung als Produktlager durch die vorherige Nutzung verunreinigt worden sein.

- Materialverwendung
  Überprüfung der Eigenschaftszusicherung der hergestellten Materialien bzw. der Umweltverträglichkeit.

Die Zusammenstellung verdeutlicht, daß die Einführung eines Qualitätssicherungssystems in vielen Bereichen die bestehenden Haftungsrisiken tangiert. Zur Begrenzung des Haftungsrisikos werden von einigen Versicherungsunternehmen unter anderem Umwelthaftpflichtversicherungen angeboten. In Bild 10.5 ist der Ablauf zur Erarbeitung eines entsprechenden Risk-Management-Konzeptes dargestellt.

10.4 Literatur

[10.1] *Baborowski, U.:* Zertifizierung von Qualitätssicherungssystemen. *Kohler, G.* (Hrsg.) Recyclingpraxis Baustoffe, Verlag TüV-Rheinland GmbH, Köln 1994

[10.2] *Blümel, H.:* Sinn und Zweck komplexer Recyclingkapazitäten in Ballungsräumen. UTECH Berlin 1993

[10.3] *Ehrenfels, R.:* Total Quality Management. *Kohler, G.* (Hrsg.) Recyclingpraxis Baustoffe, Verlag TüV-Rheinland GmbH, Köln1994

[10.4] *Gewiese, A.; Gladitz-Funk, I.; Schenk, B.:* Recycling von Baureststoffen. Kontakt & Studium, Bd. 390, INTECUS, TAE, expert Verlag 1994

[10.5] *Gladitz-Funk, I.:* Marktmechanismen und absatzfördernde Maßnahmen bei Recycling-Baustoffen. *Bilitewski, B.* (Hrsg.) Recycling von Baureststoffen, S. 351–362, EF-Verlag, Berlin, 1993

[10.6] *Kohler, G.:* Kreislaufwirtschaft Baureststoffe — Anforderungen – Mittel – Lösungswege. *Bilitewski, B.* (Hrsg.) Recycling von Baureststoffen, S. 125–143, EF-Verlag Berlin, 1993

[10.7] *N. N.:* Kiesabbau ja, aber bitte nicht bei uns. Der Tagesspiegel vom 18. 8. 1993, Berlin

[10.8] *N. N.:* Weltweit wachsende Bedeutung der Qualitätsnormen – ISO 9000. Rohstoff Rundschau (18) 1994, S. 654, Verlag E. Banaschewski

[10.9] *N. N.:* Zertifizierungs-Trägerverein ZER-QMS gegründet. Rohstoff Rundschau (18) 1994, S. 655, Verlag E. Banaschewski

[10.10] *Penzel, U.:* Die Zusammenhänge zwischen Total Quality Management, Öko-Audit und Zertifizierung. *Kohler, G.* (Hrsg.) Recyclingpraxis Baustoffe, Verlag TüV-Rheinland GmbH, Köln 1994

[10.11] *Schottelius, D.:* EU-Verordnung gefährdet unternehmerische Freiräume. VDI-Nachrichten (43) Oktober 1994, S. 14, VDI-Verlag

[10.12] *Strieder, S.:* Öko-Audit. *Kohler, G.* (Hrsg.) Recyclingpraxis Baustoffe, Verlag TüV-Rheinland GmbH, Köln 1994

[10.13] *Werner, D.:* Haftung und Möglichkeiten der Versicherung im Umweltschutzbereich. 7. Symposium Recycling-Baustoffe, Aachen 1991

[10.14] *Wielpütz, W.:* Zertifizierung von Betrieben zur Aufbereitung von Baureststoffen. *Kohler, G.* (Hrsg.) Recyclingpraxis Baustoffe, Verlag TüV-Rheinland GmbH, Köln 1994

[10.15] *Winkler, G:* Zertifizierung Bau- Qualitätsmanagement im Baustoff-Recycling-Bereich, 10. Symposium Recycling-Baustoffe, Mannheim Nov. 1994

[10.16] *Theis, A.:* Mensch und Technik als Risikofaktor. Blick durch die Wirtschaft und Umwelt (9) 1993, S. 12–22

11. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Abbruch- und Aufbereitungsverfahren

11.1 Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen dem klassischen Abbruch und einem kontrollierten Rückbau

Steigende Abbruchkosten, verursacht durch höhere Deponiepreise und gesetzliche Auflagen zur Trennung unterschiedlicher Baustoff-Fraktionen, bieten die Grundlage für einen ökonomischen Vergleich zwischen den herkömmlichen Abbruchverfahren und dem kontrollierten Rückbau [11.4].

Wie in Kapitel 5.3 ausgeführt, stehen folgende Abbruchmöglichkeiten zur Verfügung:

1. Kontrollierter Rückbau eines Gebäudes in Demontagestufen mit dem Ziel einer möglichst weitgehenden Materialgewinnung. Die Sortierung der gewonnenen Fraktionen erfolgt während des Abbruchs.
2. Abbruch des gesamten Bauwerks ohne differenzierte Demontagestufen und Sortierung vor Ort (klassischer Abbruch).

Eine dritte Variante stellt die Kombination der beiden Verfahren dar:

3. Kombinierter selektiver Rückbau (Entkernung) mit anschließendem Totalabbruch des Restgebäudes.

Bei dieser Variante wird die Innenausstattung (z. B. Elektrik-, Sanitär- und Heizungsinstallationen, Bodenbeläge, Türen usw.) weitgehend demontiert. Das noch verbleibende Restgebäude (Dach, Außen- und Innenwände, Decken, Fundamente) wird ohne weitere Demontage abgebrochen.

11.1.1 Kostenvergleich beim Rückbau, Beispiel Hotel Post, Dobel

In Dobel, Landkreis Calw wurde 1993 der Abbruch eines Hotels als selektiver Rückbau durchgeführt (vgl. Kap. 5.3.3.1). In diesem Zusammenhang erfolgte ein Kostenvergleich zwischen den drei oben genannten Abbruchmöglichkeiten. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist in Bild 11.1 dargestellt.

Aus Bild 11.1 wird deutlich, daß der selektive bzw. kontrollierte Rückbau unter den gegebenen lokalen Rahmenbedingungen die kostengünstigste Variante darstellt. Bezogen auf den Bruttorauminhalt (BRI) des Gebäudes wurden für die einzelnen Methoden folgende Gesamtkosten ermittelt:

- selektiver Rückbau: 26,40 DM/m² BRI,
- teilweise selektiver Rückbau: 29,67 DM/m² BRI,
- klassischer Abbruch: 32,64 DM/m² BRI.

Unter den regionalen Bedingungen erwies sich der klassische Abbruch um etwa 24 %, der teilweise selektive Rückbau um etwa 12 % teurer als der kontrollierte Rückbau.

11.1.2 Kostenvergleich beim geplanten Teilrückbau eines Industriegebäudes

Ein weiterer Kostenvergleich zwischen verschiedenen Abbruchverfahren soll anhand der Planung für den Teilrückbau eines Industriegebäudes in Dresden-Klotzsche dargestellt werden. Es handelte sich um ein Gebäude in Stahlbetonskelettbauweise. Das Gebäude sollte bis zum Rohbau komplett entkernt, um anschließend architektonisch neu gestaltet zu werden.

Zur Ermittlung der Massenanteile der einzelnen Materialklassen wurde das Gebäude detailliert analysiert.

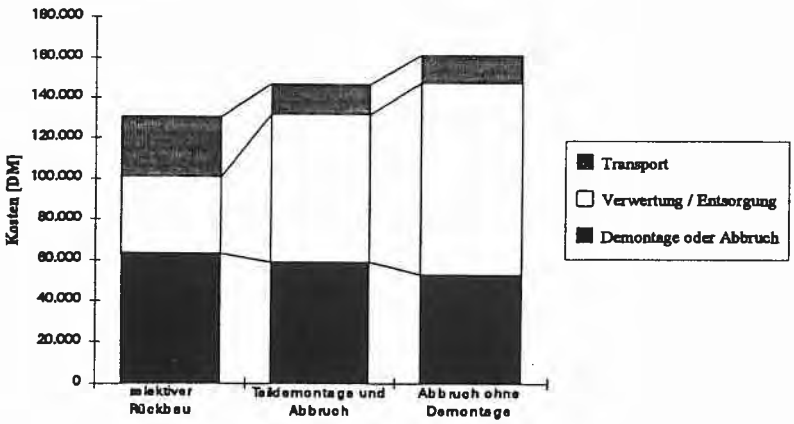
Die Gebäudeanalyse ergab (Bild 11.2), daß 74 % des zu demontierenden Gebäudeinhalts verwertbar, 23 % nicht recyclingfähig und 3 % kontaminiert waren.

Auf der Grundlage der Gebäudeanalyse und des Verwertungs- und Entsorgungsplanes wurden die Demontageschritte und der Zeitplan (Rückbauplan) entwickelt. Darauf basierend wurde der Arbeits-, Transport- und Entsorgungs- bzw. Verwertungsaufwand abgeschätzt (Tabelle 11.1).

Folgende Rückbauverfahren wurden verglichen:

1. Der kontrollierte Rückbau mit einer detaillierten Trennung der Materialien in verschiedene Verwertungsfraktionen auf der Baustelle.
2. Rückbau ohne Separierung auf der Baustelle und

Bild 11.1: Kostenvergleich von drei Abbruchmöglichkeiten für das Hotel Post, Dobel [11.2]



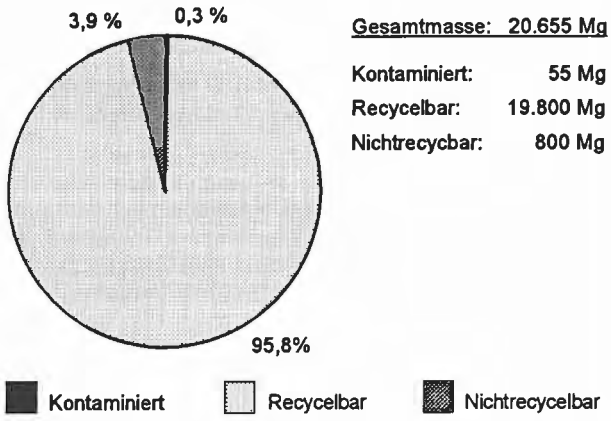
Anlieferung des Bauschutts bzw. der Baustellenabfälle an eine Sortieranlage.

3. Vollständige Deponierung der gebrauchten Baustoffe auf einer regionalen Deponie.

Bei allen drei Varianten wurde vorausgesetzt, daß das kontaminierte Material getrennt erfaßt und einer geordneten Entsorgung zugeführt wurde. Für den Kostenvergleich wurden die 1994 in der Region Dresden geltenden Preisstrukturen zugrundegelegt.

Der Kostenvergleich (Tabelle 11.1) ergab, daß der kontrollierte Rückbau (Variante 1) und die Variante 2 (Anlieferung an Sortieranlage) in der Gesamtkostenbilanz etwa gleich zu bewerten waren. Der Totalabbruch mit vollständiger Deponierung ergab ca.14 % höhere Gesamtkosten.

Bild 11.2: Massenanteile der Materialklassen beim Teilrückbau eines Industriegebäudes in Dresden [11.4]



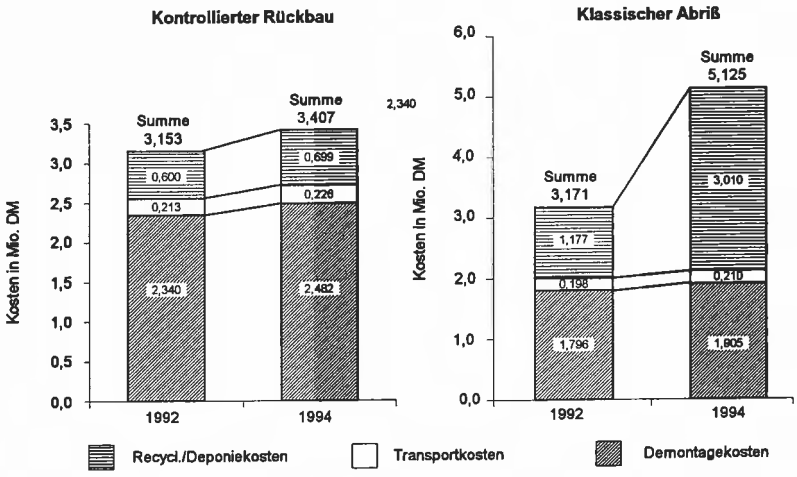
11.1.3 Wirtschaftlichkeit verschiedener Abbruchverfahren in Abhängigkeit von der Deponiegebührenentwicklung

Die Kosten für den kontrollierten Rückbau des Industriegebäudes in Dresden wurden erstmals 1992 ermittelt. Dabei wurden die Demontage-, Transport-, Entsorgungs- bzw. Recyclingkosten erfaßt. Parallel erfolgte eine Kostenschätzung für einen klassischen Abbruch. Die Ergebnisse beider Methoden wurden vergleichend dargestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse

Tabelle 11.1: Zusammenstellung der Kostenarten für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung

kontrollierter Rückbau des Industriegebäudes					
	Masse [Mg]	Demontagekosten [DM]	Transportkosten [DM]	Recycl./Deponiekosten [DM]	Summe [DM]
Kontaminationen	55	251.000,-	13.000,-	44.000,- (800,- DM/Mg)	308.000,-
recycelbares Material	19.800	1.666.000,- (84,- DM/Mg)	170.000,- (8,50 DM/Mg)	400.000,- 20,- DM/Mg)	2.236.000,-
nichtrecycelb. Material	800	426.000,-	32.000,- (40,- DM/Mg)	160.000,- (200,- DM/Mg)	618.000,-
Summe	20.655	2.342.000,-	215.000,-	604.000,-	3.161.000,-
klassischer Abriß des Industriegebäudes					
	Masse [Mg]	Demontagekosten [DM]	Transportkosten [DM]	Recycl./Deponiekosten [DM]	Summe [DM]
Kontaminationen	55	251.000,-	13.000,-	44.000,- (800,- DM/Mg)	308.000,-
Bauschutt/Baustellenrestabfall	20.600	1.545.000,- (75,- DM/Mg)	185.000,- (9,- DM/Mg)	1.133.000,- (55,- DM/Mg)	2.863.000,-
Summe	20.655	1.796.000,-	198.000,-	1.177.000,-	3.171.000,-

Bild 11.3: Kostenentwicklung für den kontrollierten Rückbau und klassischen Abbruch von 1992 und 1994 für ein Industriegebäude in Dresden [11.5]



auf Grundlage der Kostenstrukturen von 1992 und 1994 ist in Bild 11.3 dargestellt.

Während die Demontage-, Transport- und Recyclingkosten im wesentlichen im Rahmen der allgemeinen Inflationsrate von 4–6 % stiegen, haben sich die Deponiekosten für gebrauchte Baustoffe in der Region Dresden fast verdreifacht. Waren die Gesamtkosten beider Abbruchmethoden im Jahre 1992 noch miteinander vergleichbar, so ergaben sich 1994 für den kontrollierten Rückbau um etwa ein Drittel niedrigere Gesamtkosten.

11.1.4 Schlußfolgerungen

Bei allen dargestellten Beispielen zeigte sich, daß der kontrollierte Rückbau gegenüber dem klassischen Abbruch die günstigere Variante in der Gesamtkostenbilanz ist. Der ökonomische Vorteil des kontrollierten Rückbaus wird jedoch sehr stark von der regionalen Deponiegebührenstruktur bestimmt und kann deshalb nicht verallgemeinert werden.

Das positive Ergebnis in den untersuchten Regionen kann als Erfolg der sich allmählich durchsetzenden TA Siedlungsabfall gewertet werden.

11.2 Wirtschaftlichkeit von Aufbereitungs- und Sortieranlagen für gebrauchte Baustoffe

11.2.1 Baustoff-Aufbereitungsanlagen

Die Wirtschaftlichkeit von Aufbereitungs- und Sortieranlagen für gebrauchte Baustoffe wird im wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflußt:

- Standort,
- Infrastruktur,
- Marktsituation (Absatzchancen, Konkurrenzsituation zu Primärbaustoffen),
- Investitions- und Betriebskosten der Anlage.

Die Marktmechanismen im Bereich des Baustoff-Recyclings sind in Kapitel 10 beschrieben. Nachfolgend sollen die ökonomischen Randbedingungen für einen Anlagenbetrieb dargestellt werden.

Grundlage für Investitionsentscheidungen bilden Rentabilitätsanalysen, die auf Kostenabschätzungen und Erlösprognosen basieren. Marktanalysen bieten zusätzlich Informationen über die regionalen Deponiegebühren, die möglichen Verkaufserlöse sowie die minimal bzw. maximal erfaßbaren Input- und Outputmengen im Umkreis [11.1].

Als positive Faktoren gehen in einer Kalkulation die Annahmeentgelte und die Verkaufserlöse für die Recyling-Baustoffe und evt. Metalle ein. Wird die Aufbereitungsanlage nicht als Dienstleistungsunternehmen, sondern im Rahmen einer Bau- bzw. Abbruchunternehmung betrieben, ergibt sich zusätzlich als positiver Faktor die eingesparten Deponiegebühren.

Nachfolgend wird eine Kostenanalyse vorgestellt, die auf Grundlage von elf als Dienstleistungsunternehmen betriebenen Baustoff-Aufbereitungsanlagen durchgeführt wurde. Bei den in der Analyse berücksichtigten Anlagen handelt es sich um sechs stationäre und fünf semimobile (stationär betriebene) Aufbereitungsanlagen. In der Kostenanalyse wurden folgende Kostenarten berücksichtigt [11.3]:

Variable Kosten: Energie-, Reparatur-, Entsorgungs-, Transport- und sonstige Betriebskosten;

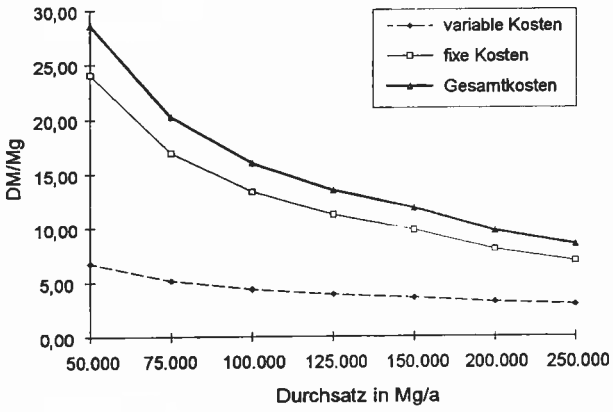
Fixkosten: Personal-, Abschreibungs-, Miet-, Rekultivierungs-, Labor-, Versicherungs- und Betriebsgemeinkosten sowie Verwaltungskosten.

Die Untersuchung wurde in Form einer empirischen Regressionsanalyse durchgeführt. In Bild 11.4 sind die spezifischen Kosten in DM/Mg dargestellt [11.3].

In der Praxis müssen in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung weiterhin noch regionale Gegebenheiten wie Pachtgebühren etc. berücksichtigt werden.

Als Ergebnis der Untersuchung läßt sich feststellen, daß die Gesamtkosten von Baustoff-Aufbereitungsanlagen erheblichen Kostendegressionen unterliegen. Danach können lediglich Anlagen mit einer Mindestauslastung von 200.000 Mg/a bei durchschnittlichen Annahmegebühren und Verkaufserlösen wirtschaftlich betrieben werden. Ein Anlagenbetrieb unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ist danach nur in städtischen Regionen mit entsprechend hohen Materialaufkommen möglich. In ländlichen Regionen mit geringen Aufkommen (deutlich unter 100.000 Mg/a) müssen andere Modelle für einen stationären Anlagenbetrieb praktiziert werden. Hier bieten sich z.B. Betreiberverträge mit der Kommune (Anschluß- und Benutzerzwang) als realisierbare Variante an.

Bild 11.4: Zusammenfasssung der Gesamt- und spezifische Kosten als Analyse von 11 Baustoff-Aufbereitungsanlagen [11.3]



11.2.2 Baustellenabfall-Sortieranlagen

Die generellen Einflußfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Baustellenabfall-Sortieranlagen sind vergleichbar denen bei Baustoff-Aufbereitungsanlagen. Unterscheidungen ergeben sich aufgrund des geringeren Aufkommens an Baustellenabfällen sowie des höheren Störstoffanteils. Dies bedingt einen entsprechend hohen Aufwand bei der Sortierung zur Gewährleistung der für die Verwertung erforderlichen Qualität.

Die Absatzchancen des inerten Anteils aus einer Baustellenabfall-Sortieranlage sind nur für untergeordnete Einsatzgebiete gegeben, was niedrigere Erlöse zur Folge hat. Die Feinfraktionen < 5–8 mm werden teilweise entsorgt, da sich hier etwaige Schadstoffe anreichern. In einer Kombinationsanlage, in der sowohl Baustellenabfälle als auch Bauschutt aufbereitet werden können, stellt sich die Vermarktungssituation bedeutend positiver dar.

Nachfolgend werden beispielhaft zwei Baustellenabfall-Sortieranlagen in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gegenübergestellt. Beide Anlagen verfügen über eine Vorsortierung mittels Greifbagger und eine Handsortierstation. Die Anlagen sind für einen Durchsatz von ca. 50.000 Mg/a ausgelegt. Unterschiedlich ist jedoch maschinentechnische Aufwand.

In der Anlage I wird nach dem Vorabscheider das Grobkorn (> 150 mm) über einen Magnetscheider in die Handsortierung geleitet. Von der Feinfraktion wird das Feinkorn 0/15 mm abgezogen und die Mittelfraktion in zwei Siebschnitten gesichtet.

In der Anlage II wird nach der Vorsortierung das Material klassiert. Die Grobfraktion > 250 mm wird in die Handsortierstation geführt, die kleiner ausgelegt ist als bei Anlage I. Von der Fraktion < 250 mm wird die Feinfraktion 0/10 mm abgesiebt. Die Fraktion 10/250 mm wird bei 80 mm getrennt. Die Fraktion 80/250 mm wird über ein Sortieraggregat in eine weitere Handsortierung zur Kontrolle geführt. Die Fraktion 10/80 mm wird gesichtet. Der höhere Aufwand zur maschinellen Sortierung in der Anlage II schlägt sich in den höheren Maschineninvestitionskosten nieder (Tabelle 11.3)

Folgende Vorgaben sind für den Vergleich erforderlich:

- die Fahrzeuginvestitionen beziehen sich jeweils auf ein Fahrzeug (Bagger);
- Engineering-Kosten wurden nicht berücksichtigt,
- Pachtgebühren sind aufgrund der starken regionalen Schwankungen nicht berücksichtigt;
- die Entsorgungskosten und Erlöse sind pauschaliert.

Für die Betrachtung der Outputsituation wurde bei beiden Anlagen von dem in Tabelle 11.2 dargestellten Input ausgegangen. Danach ergibt sich jeweils die abgeschätzte Zusammensetzung des Anlagenoutputs. In Tabelle 11.3 sind die Einzeldaten der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammengefaßt.

Die unterschiedlichen Resultate ergeben sich u.a. aus den folgenden Gründen:

- Beide Anlagen verfügen über eine Annahmehalle. Diese differiert in der Größe, da die komplette Maschinentechnik der Anlage II in der Halle untergebracht ist.
- Die Investitonskosten unterscheiden sich durch den maschinentechnischen Aufwand für die Sortieraggregate.
- Der höhere maschinelle Sortieraufwand der Anlage

Tabelle 11.2: Zusammensetzung des In- und Outputs der Baustellenabfall-Sortieranlagen

Input	Anlage I und II in Gew.-%	
Mineralische Anteile	50,0	
Metalle (Fe/NE)	3,2	
Holz	8,5	
Papier/Pappe	6,5	
Dachpappe	2,3	
Kunststoffe	0,5	
Sonstige Füll- / Reststoffe	29,0	
Output	**Anlage I in Gew.-%**	**Anlage II in Gew.-%**
Wertstoffe:		
Inertes Material	39,4	46,0
Füllboden	10,0	12,5
Fe-Metalle	3,1	3,1
NE-Metallet	0,1	0,1
Holz	7,0	8,3
Papier/Pappe	6,5	6,5
Kunststoff	0,5	0,5
Reststoffe:		
Mineralien	22,0	12,5
Sonstiges	11,4	10,5

Tabelle 11.3: Kosten und Erlöse von zwei beispielhaften Baustellenabfall-Sortieranlagen

Parameter	Anlage I	Anlage II
Bauteil	500.000,- DM	800.000,- DM
Maschinen	1.300.000,- DM	4.200.000,- DM
Fahrzeug	250.000,- DM	250.000,- DM
Investitionssumme	2.050.000,-DM	5.250.000,- DM
Anlagekapital (Invest+ Finanz.)	2.234.500,- DM	5.722.500,- DM
Abschreibung (Annuitätentilgung), inkl. Umlaufkapital	387.100,- DM	973.500,- DM
Versicherung und Steuern 1% AK	44.700,- DM	114.500,- DM
Summe kapitalabhängige Kosten	431.800,-DM	1.088.000,- DM
Personalkosten 13 / 11 Mann	918.000,- DM	800.000,- DM
Energiekosten (Strom + Diesel)	110.000,- DM	137.000,- DM
Reparatur, Wartung, Verschleiß	174.000,- DM	381.000,- DM
Entsorgung mineral. Reststoffe (Baustoff-Deponie) 50,- DM/Mg	550.000,- DM	313.000,- DM
Entsorgung sonstige Reststoffe 200,- DM/Mg	1.140.000,- DM	1.050.000,- DM
Marketingkosten 0,20 DM/Mg	13.000,- DM	13.000,- DM
Eigen- und Fremdüberwachung, 0,60 DM/m³ Produkt	8.500,- DM	10.000,- DM
allgemeine Verwaltungskosten	195.000,- DM	180.000,- DM
Summe Betriebskosten	3.108.500,- DM	2.884.000,- DM
kalk. Wagnis ung Gewinn 10 %	310.000,-DM	288.000,- DM
Gesamtsumme jährl. Kosten	3.850.300,- DM	4.260.000,- DM
RC-Baustoff 10,-/15,- DM/Mg	197.000,-DM	345.000,- DM
Füllboden 2,- DM/Mg	10.000,- DM	12.500,- DM
Fe-Schrott 80 DM/Mg	124.000,- DM	124.000,- DM
NE-Schrott 200,- DM/Mg	10.000,- DM	10.000,- DM
Holz -5,- DM/Mg	-17.500,- DM	-20.750,- DM
Papier/Pappe 0,- DM/Mg	0,- DM	0,- DM
Kunststoff -10,- DM/Mg	-2.500,- DM	-2.500,- DM
Summe Erlöse	321.000,- DM	468.250,- DM
Annahmeentgelt zur Kostendeckung	70,60 DM/Mg	75,85 DM/Mg

II bedingt weniger Arbeitskräfte zur händischen Sortierung. Damit ergeben sich geringere Personalkosten.

- Bei der Anlage I ergeben sich aufgrund der einfacheren Maschinentechnik günstigere Energie- und Reparaturkosten.
- Der höhere Erlös für den Inert-Anteil der Anlage II ist durch das qualitativ hochwertigere Produkt (höherer Reinheitsgrad) begründet.

Das errechnete Annahmeentgelt ergibt sich als Mindestforderung, das bei den getroffenen Annahmen zur Deckung der Kosten erforderlich ist. Die Kalkulation verdeutlich, daß bei gleichen Standortbedingungen (Miete, Input, etc.) das Annahmeentgelt der Anlage II nur ca. 5,15 DM höher liegen müßte, um die Anlage kostendeckend zu betreiben.

11.2.3 Schlußfolgerungen

Die dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, daß für die Herstellung von Qualitätsprodukten sowohl im Bereich der Baustoff-Aufbereitung wie auch der Baustellenabfall-Sortierung ein erheblicher technischer und verwaltungsmäßiger Aufwand erforderlich ist. Hierzu zählt auch die gesamte Unternehmensstruktur, um das Baustoff-Recycling nachhaltig zu einem umweltfreundlichen Prozeß zu gestalten. Der Aufwand für die Produktion von RC-Baustoffen auf hohem Qualitätsniveau und unter Berücksichtigung aller Umweltschutzanforderungen verursacht entsprechende Kosten. Die Kosten in Abhängigkeit von der Durchsatzleistung unterliegen einem degressiven Verlauf. Für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ist bei den erzielbaren Erlösen aus dem Verkauf der Produkte sowie den Einnahmen durch Annahmeentgelt eine gesicherte Jahresdurchsatzmenge erforderlich.

11.3 Literatur

[11.1] *Gewiese, A.; Gladitz-Funk, I.; Schenk, B.:* Recycling von Baureststoffen. Kontakt & Studium, Bd. 390, INTECUS, TAE, expert Verlag 1994

[11.2] *Rentz, Ruch, Nicolai, Sprengler, Schultmann:* Selektiver Rückbau und Recycling von Gebäuden, Dargestellt am Beispiel des Hotel Post in Dobel, Landkreis Calw, ecomed, Karlsruhe 1994, S. 121–140

[11.3] *Stoll, M.; Ruhnau, B.:* Kosten des Baustoff-Recylings. *Hiersche* (Hrsg.): Baustoff-Recycling 94/95; S.119–132, Stein-Verlag, Baden-Baden

[11.4] *Wagner, S., Klupak, M.:* Kostenvergleich zwischen dem kontrollierten Rückbau und dem klassischen Abbruch anhand eines Beispiels, *Bilitewski, B.:* Recycling von Baureststoffen, Berlin: EF-Verlag 1993, S. 321–328

[11.5] *Wagner, S., Klupak, M.:* Kostenwirksamkeit der Entsorgungsweise von Baureststoffen auf die Wirtschaftlichkeit von Gebäudeabbrüchen, BUP-Tagungsband, 1994

12. Der Weg von einem systematischen Rückbau über eine Wiederverwertung zum „Kreislaufwirtschaftsträger Bau“

Die aufgezeigten Wege zur Schließung von Stoffkreisläufen im Bauwesen sind nur dann von Nutzen, wenn deren Einhaltung nicht durch ein Agieren in der Grauzone oder durch Handlungen an der Grenze zur Illegalität umgangen werden. Die ökologischen und ökonomischen Wertmaßstäbe, wie diese von fach- und umweltgerecht arbeitenden Rückbau- und Recycling-Unternehmen erbracht werden, lassen sich nicht mehr halten, wenn diese durch sogenannte „Grauzonenrecycler“ umgangen werden. Hochwertiges, gütegeprüftes Material wird durch das Überangebot der nicht geprüften Billigware vom Markt verdrängt. Der Grundgedanke einer ökologischen Kreislaufwirtschaft mit Aufbereitung und Wiederverwertung wird ins Gegenteil verdreht.

Weitere Rechtsvorschriften werden hier keine Abhilfe schaffen. Gefordert ist die Eigenverantwortlichkeit der Privatwirtschaft. Hier hat es der VBR – Verband Deutscher Baustoff-Recycling-Unternehmen e.V. übernommen, ein tragfähiges System zu entwickeln, das bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Ökologie und Ökonomie eine Kreislaufwirtschaft für Bau-, Bauhilfs- und Verpackungsstoffe sichern soll [12.1].

Die Grundüberlegung ist, in Analogie zum Bau eines Hauses mit entsprechenden Regelungen, auch den Rückbau eines Gebäudes konkret vorzugeben. In Bild 12.1 ist gezeigt, wie der Verfahrensablauf bei der Errichtung eines Bauwerks ist. Der Bauherr beauftragt einen Architekten, der unter Einschaltung von Fach-Ingenieur-Büros eine Bauplanung erarbeitet: Diese wird der Genehmigungsbehörde vorgelegt. Nach Erteilung der Genehmigung werden Fachbauunternehmen und Handwerker beauftragt, das Bauwerk zu errichten.

Vor Beginn eines Neubaus muß jedoch oft ein vorhandenes Gebäude abgerissen werden. Hier stehen der systematische Rückbau und die Wiederverwendung bzw. -verwertung im Vordergrund, um die Stoffkreisläufe zu schließen. Insofern muß spiegelbildlich zum Neubau ein Rückbau vom Bauherren beauftragt werden (Bild 12.1). Der beauftragte Architekt schaltet ein Ingenieurbüro für Rückbau ein, das eine Rückbau- und Stoffflußplanung erstellt. Diese Planung wird der Genehmigungsbehörde vorgelegt. Nach Erteilung der Genehmigung wird vom Bauherren oder Architekten ein qualifiziertes Rückbauunternehmen beauftragt.

Als Kontrollinstanz, ob die laut Rückbaugenehmigung vorgegebenen Entsorgungs- und Wiederverwertungsströme auch eingehalten werden, wird der KWB „Kreislaufwirtschaftsträger Bau“ eingeschaltet. Die erforderlichen Abläufe im Rahmen des KWB, wie diese in einem Arbeitspapier des VBR e.V. vom 22. Juni 1993 vorgestellt wurden, sind in Bild 12.2 dargestellt.

Der KWB wird von den Baustoff-Recycling-Unternehmen, dem VBR e.V. und der bauausführenden Wirtschaft getragen. Dem KWB sollen die im Rahmen der

Bild 12.1: Geordneter Neubau und Rückbau von Bauwerken [12.1]

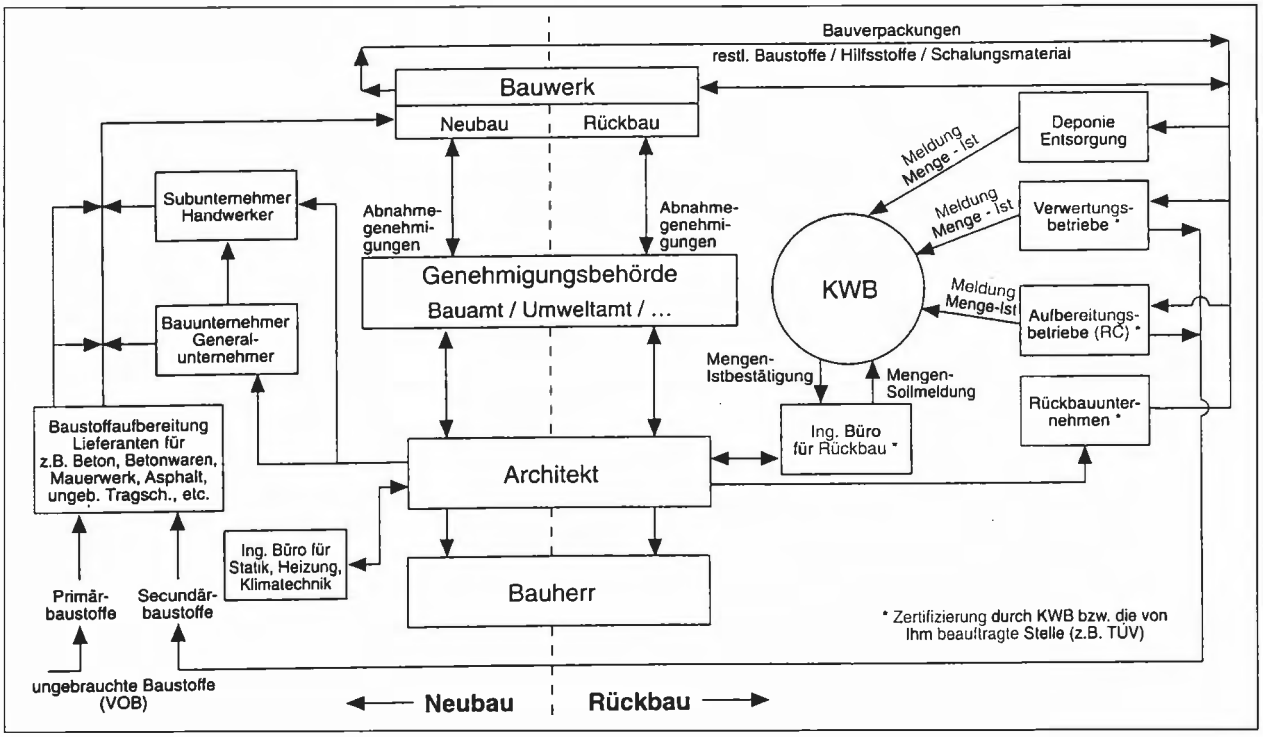
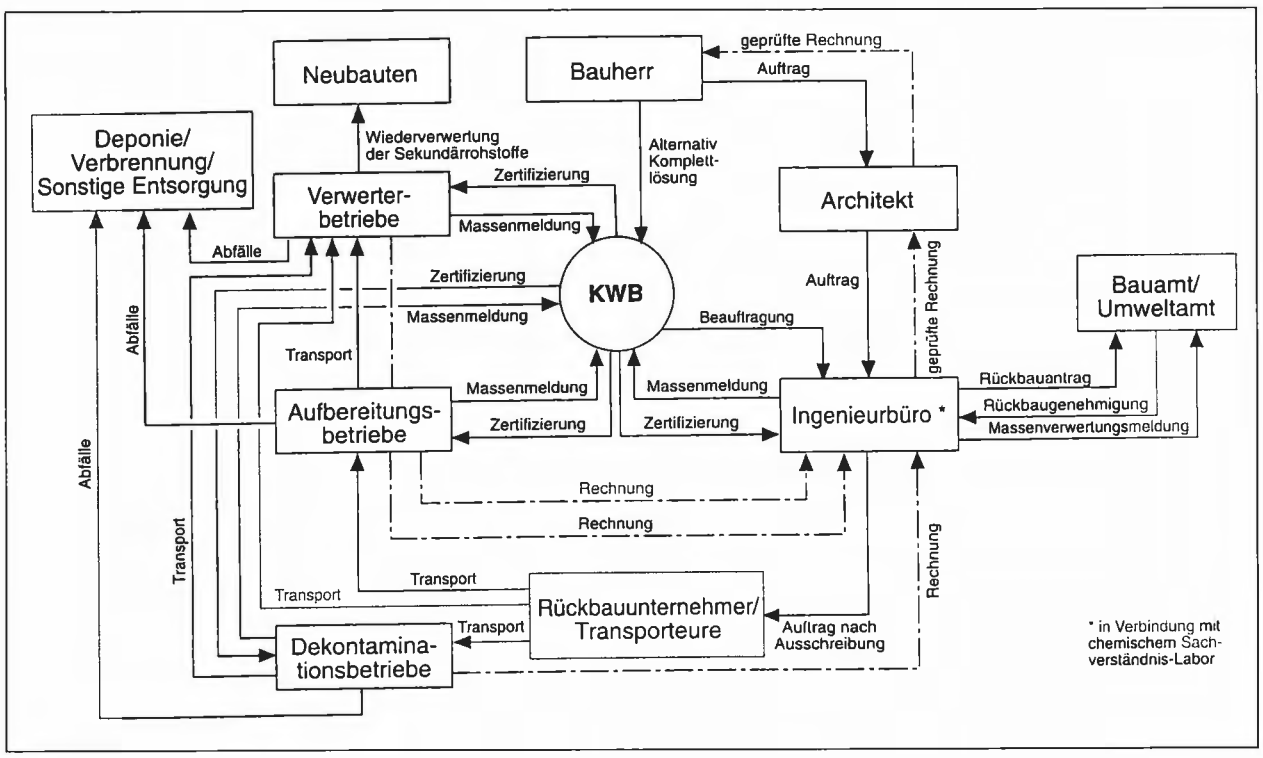


Bild 12.2: Aufgaben des „Kreislaufwirtschaftsträger Bau" zur Sicherung einer weitestgehenden Wiederverwertung der anfallenden gebrauchten mineralischen Baustoffe [12.1]



Genehmigung festgelegten Massenströme für die Verwertung, Aufbereitung sowie Entsorgung gemeldet werden. Nach erfolgtem Abriß sind die durch die Fachbetriebe übernommenen Massen zu belegen. Der so erstellbare Ist-Soll-Vergleich wird den Genehmigungsbehörden vorgelegt. Dieser dient der Genehmigungsbehörde wie auch dem Bauherren als Nachweis für einen geordneten Rückbau sowie dessen offizielle Abnahme.

Das Arbeitspapiers des VBR e. V. sieht folgende Vorgehensweise vor [12.1]:

- Im Rahmen der Bauantragstellung soll der Bauherr zukünftig verpflichtet werden, einen Nachweis über die Sicherstellung eines geordneten Rückbaus sowie die weitestgehende Verwertung der bei der Baumaßnahme anfallenden gebrauchten Baustoffe zu erbringen.
- Die Beibringung des Nachweises ist Voraussetzung für die Erteilung der Baugenehmigung.
- Der Nachweis wird durch Vorlage eines Rückbauplanes mit Stoffstromkonzept sowie durch Abgabe einer Sicherstellungserklärung seitens des KWB aufgrund vorliegender Verwertungszusagen erbracht.
- Unter Berücksichtigung des Rückbauplans und der Verwertungszusagen wird die Bauleistung vom Bauherren ausgeschrieben und vergeben.
- Das Rückbauunternehmen oder eingeschaltete Dritte gewährleisten den ordnungsgemäßen Rückbau sowie die Weitergabe der Baustoffe an Verwertungsbetriebe.
- Zur Kontrolle müssen die Aufbereitungs- und Verwertungsbetriebe die Massenverwertungsmeldungen an den KWB übermitteln, der eine Gesamtmassenverwertungserklärung erstellt.
- Die Gesamtmassenverwertungserklärung wird dem Bauherren übermittelt, der diese an das Bauamt weiterreicht.

Die Aufgaben des „Kreislaufwirtschaftsträgers Bau" lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen:

- Kontrolle und Zertifizierung,
- Güte- und Prüfbestimmungen,
- Verwertungsgarantien,
- Öffentlichkeitsarbeit, Beratungs- und Clearingstelle.

Hauptvoraussetzung für die Realisierung der vorgenannten Ideen stellt die Gründung und Anerkennung des „Kreislaufwirtschaftsträgers Bau" dar, der als Brancheninitiative von den Verbänden der Bau- und Recyclingwirtschaft getragen werden soll.

12.1 Literatur

[12.1] *Kohler, G.:* Kreislaufwirtschaft Baureststoffe — Anforderungen – Mittel – Lösungswege. *Bilitewski, B.* (Hrsg.) Recycling von Baureststoffen, S. 125–143, EF-Verlag, Berlin, 1993

Umforana

Labor für Umweltanalytik und Auftragsforschung GmbH & Co. KG

- **Analytik und Beprobung von Altstandorten (Boden, Wasser, Luft)**
- **Abgrenzung von belastetem und unbelastetem Bauschutt und Erdaushub**

Staatlich anerkanntes Labor nach EKVO

Kreuzberger Ring 60
65205 Wiesbaden

Tel.: 06 11 - 9 76 25-13
Fax.: 06 11 - 9 76 25-25

GEOTECHNISCHES BÜRO PESCHLA + ROCHMES

BERATENDE INGENIEURE UND GEOLOGEN

- **Gründungsgutachten**
- **Altlastenerkundung**
- **Sanierungskonzepte**
- **Planung und Bauleitung**
- **Umweltmanagement**

Hertelsbrunnenring 7
67657 Kaiserslautern
Tel. 06 31/3 41 13-0
Fax 06 31/3 41 13 99

Zweigbüro Sachsen
Hofer Str. 221
09353 Oberlungwitz
Tel. 0 37 23/4 76 12
Fax 0 37 23/4 20 34

BODENREINIGUNG

Mechanisch-biologische Verfahren zur Wiederverwertung von kontaminierten Böden

GRUNDWASSER- UND BODENLUFTSANIERUNG

Absaug- und Strippanlagen, Ölabscheider

INDUSTRIERÜCKBAU

Einhausung, Erdarbeiten, Baustoffrecycling

PROJEKTMANAGEMENT

Koordination, Logistik, Behördenkontakt

ghb

GEBR. HUBER
BODENRECYCLING GMBH
TANNENWALDSTRASSE 2
81375 MÜNCHEN
TELEFON 089/ 740054-0
FAX 089/ 708359

Ingenieurbüro für Grundbau und Umweltgeologie
Prof. Dr.-Ing. Salomo + Partner GmbH
- Beratende Ingenieure -

IGU

Gutachten · Planung · Umweltverträglichkeitsprüfung
Bauleitung · Beweissicherung · Labor- u. Felduntersuchungen

- *Erdbau*
- *Grundbau*
- *Geotechnik*
- *Hydrogeologie*
- *Bodenmechanik*
- *Baugrunddynamik*
- *Altlastenerkundung*
- *Geotechnik im Deponiebau*
- *Umwelt- und Ingenieurgeologie*

29525 Uelzen
St.-Viti-Str. 1
Telefon 05 81 - 7 70 01
Telefax 05 81 - 7 92 92

04328 Leipzig-Paunsdorf
Gutsparkasse 3
Telefon 03 41 - 2 51 87 98
Telefax 03 41 - 2 51 87 99

18184 Poppendorf/Rostock
Werksgelände Hydro Agri
Telefon 03 82 02 - 22 04
Telefax 03 82 02 - 22 05

Ingenieurgruppe
München eG

Abbruchplanung
Abfallwirtschaft
Altlasten
Entsorgungsplanung
Öko-Audit
Umweltplanung
Wasserwirtschaft

Innere Wiener Straße 30-32
D - 81667 München
Telefon 0 89 / 45 99 15-0
Telefax 0 89 / 45 99 15-11

DEKRA E·T·S

DEKRA-ETS

Gesellschaft für technische Sicherheit mbH
Materialprüfanstalt
Am Homburg 3 · 66123 Saarbrücken
Tel. (0681) 9361 90 · Fax (0681) 9 36 19 27

– Ihr kompetenter Partner bei der Baustoffprüfung –

Prüfen
- Druck-, Zug-, Biegefestigkeit unterschiedlicher Baustoffe (Beton, Steine, Kunststoffe)
- Verschleißuntersuchungen
- Physikalische Laboruntersuchungen
- Chemische Analysen
- Licht- und Wetterechtheitsprüfung, XENOTEST

Beraten
- Gutachterliche Stellungnahme (Privat-, Gerichts- und Versicherungsgutachten)
- Brand-, Feuchtigkeits- und Festigkeitsuntersuchungen
- Erfassen, Beurteilen und Bewerten von Bauwerkschäden und Baustoffveränderungen am Objekt sowie Laboruntersuchungen an Probenmaterial
- Entwicklung von Sanierungskonzepten
- Umweltverträglichkeit von Baustoffen und Recycling-Materialien

Überwachung
- Überwachung nach der Landesbauordnung (LBO), Anerkennung durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt sowie die Oberste Bauaufsichtsbehörde

MATERIALPRÜFANSTALT DER DEKRA-ETS mbH SAARBRÜCKEN
überwacht

Neuerscheinung

EG-Abfallverbringungsverordnung

MIT ERLÄUTERUNGEN UND WEITERFÜHRENDEN VORSCHRIFTEN

Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Band 68

Von DR. HENNING V. KÖLLER, Rechtsanwalt, DIPL.-ING. DR. WOLFGANG KLETT und Rechtsanwalt OLAF KONZAK

XVIII, 220 Seiten einschl. 5 Ausschlagtafeln, DIN A 5, kartoniert, DM 49,80/öS 394,–/sfr. 52,–. Mengenpreise: ab 25 Expl. DM 45,60/öS 362,–/sfr. 48,–; ab 50 Expl. DM 42,80/öS 330,–/sfr. 44,–; ab 100 Expl. DM 39,90/öS 314,–/sfr. 42,–.
ISBN 3 503 03625 3

Die EG-Verordnung 259/93/EWG zur Verbringung von Abfällen ist ab dem 8. 5. 1994 in den einzelnen Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft unmittelbar anzuwenden. Sie ersetzt damit die deutschen Regelungen über Abfallverbringungen in den §§ 13 ff. AbfG und der Abfallverbringungs-Verordnung von 1988. Damit hat die EG zum ersten Mal einen Rechtsakt im Abfallrecht als Verordnung erlassen. Die Verordnung ist unmittelbar in Deutschland anzuwenden, was zahlreiche Rechtsfragen aufwirft.

Die vorliegende Neuerscheinung wendet sich vornehmlich an die Behörden und Entsorgungsunternehmen, die sich in der Praxis mit dem grenzüberschreitenden Transport von Abfällen zu beschäftigen haben.

ESV ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München

angepaßte Lösungen durch uns

BAUERSCHMIDT
ABFALLTECHNIK + RECYCLING GMBH
THALHAUSER STRASSE 52 · 85354 FREISING
TELEFON 08161/13049 · TELEFAX 08161/50222

Neu: **Trennung der Feinfraktion aus Baurestmassen**

Nach Behandlung im RÜF TrennSTAR liegen getrennt vor:

- Sand 0/3 mm
- Steine 4/60 mm
- Fe-Anteile
- Holz
- Plastics

Maschine auch einsetzbar für zerkleinertes Bauholz, Bankettschälgut u.ä.

RÜF - GERÄTEBAU Gesellschaft m. b. H. - KOMMUNAL UND ENTSORGUNGSTECHNIK
A-6971 HARD/Bodensee * Lustenauer Str. 35 * Tel. (+43) 05574 / 70800-0 * Fax -6

AUFBEREITUNGSANLAGEN FÜR BIOGENE ABFÄLLE, GEFÄHRLICHE ABFÄLLE * ANALYTIK * LABORS

Die Kompetenz in der Zerkleinerungstechnik

UNIREC-700 UNIREC-1100 UNIREC-2001 UNIREC-5000

Möschle Zerkleinerungs-Systeme - Kinzigtalstraße 1
77799 Ortenberg/Baden - Tel.: 0781-4850 - Fax: 48522

möschle systeme

NEUERSCHEINUNG DES UMWELTBUNDESAMTES

Umweltgesetzbuch

BESONDERER TEIL (UGB-BT)

von Prof. Dr. Hans D. Jarass, Universität Bochum; Prof. Dr. Michael Kloepfer, Humboldt-Universität Berlin; Prof. Dr. Philip Kunig, Freie Universität Berlin; Prof. Dr. Hans-Jürgen Papier, Freie Universität Berlin; Prof. Dr. Franz-Joseph Peine, Freie Universität Berlin; Prof. Dr. Eckard Rehbinder, Universität Frankfurt am Main; Prof. Dr. Jürgen Salzwedel, Universität Bonn; Prof. Dr. Eberhard Schmidt-Aßmann, Universität Heidelberg

1994, XXI, 1055 Seiten, 17,5 x 24,3 cm, fester, folienkaschierter Einband, DM 98,–/öS 768,–/sfr. 100,90, ISBN 3 503 03635 0

Reihe Berichte, Band 4/94, herausgegeben vom Umweltbundesamt

ALLGEMEINER TEIL

von Prof. Dr. Michael Kloepfer, Universität Trier, Prof. Dr. Eckard Rehbinder, Universität Frankfurt a. Main, Prof. Dr. Eberhard Schmidt-Aßmann, Universität Heidelberg, unter Mitwirkung von Prof. Dr. Philip Kunig, Freie Universität Berlin
Im Auftrag des Umweltbundesamtes

2. Auflage 1991, V, 504 Seiten, 17,5 x 24,3 cm, kartoniert, DM 78,–/öS 608,–/sfr. 80,70, ISBN 3 503 03270 3

Reihe Berichte, Band 7/90, herausgegeben vom Umweltbundesamt

ESV ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München

Neuerscheinung

Industrielle Demontage- und Recyclingkonzepte

Betriebswirtschaftliche Planungsmodelle zur ökonomisch effizienten Umsetzung abfallrechtlicher Rücknahme- und Verwertungspflichten

Von Dr. rer. pol. THOMAS SPENGLER

Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Band 67

1994, XIV, 162 Seiten, DIN A5, kartoniert,
DM 56,–/öS 442,–/sfr. 58,40. ISBN 3503036083

Zur konsequenten Umsetzung des Abfallgesetzes können vom Gesetzgeber Rechtsverordnungen erlassen werden, die die Rücknahme und Verwertung ausgedienter Altprodukte durch die Hersteller regeln.

So wurde im Jahre 1992 die „Verordnung zur Rücknahme und Verwertung von Verpackungen (Verpackungsverordnung)" erlassen. Die derzeit als Entwurf vorliegenden Verordnungen zur Rücknahme und Verwertung von Altautos, Elektronikschrott sowie die Baurestabfallverordnung sollen in Kürze folgen. Die Hersteller werden somit zunehmend vor die Aufgabe gestellt, rückgeführte Altprodukte einer möglichst vollständigen Verwertung zuzuführen.

Zur ökonomisch effizienten Umsetzung der Rechtsverordnungen ist die Produktdemontage und anschließende Verwertung der Produktkomponenten kostenminimal bzw. unter Berücksichtigung erzielbarer Verwertungserlöse deckungsbeitragsmaximal durchzuführen. Geht man von einem jährlichen Aufkommen von 800 000 t Bauschutt aus und berücksichtigt, daß jedes der hierunter fallenden Produkte aus einer Vielzahl verschiedener Bauteile und Materialien besteht, so werden die Komplexität und wirtschaftliche Bedeutung des zugrundeliegenden Planungsproblems deutlich. Durch die Einführung der Rechtsverordnungen wird die Industrie vor die Aufgabe gestellt, für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Demontage- und Recyclingkonzepte vorzulegen und umzusetzen.

Ziel dieser Neuerscheinung ist die Konzeption eines EDV-gestützten Planungssystems zur deckungsbeitragsmaximalen Demontage und Verwertung komplexer Verbundprodukte, wie Kraftfahrzeuge, Elektro- und Elektronikgeräte sowie Wohngebäude.

Das integrierte Demontage- und Verwertungsplanungssystem ist auf Personal Computer zu implementieren, so daß den mit dem Recycling komplexer Produkte beschäftigten Unternehmen ein methodisches Hilfsmittel geboten werden kann.

Darüber hinaus soll das Planungssystem umweltpolitischen Entscheidungsträgern zur Quantifizierung der Auswirkungen umweltökonomischer Steuerungsinstrumente auf die Demontage und Verwertung komplexer Verbundprodukte dienen. So könnte etwa durch Einführung einer gestaffelten Abfallabgabe oder einer entsprechenden Deponiepreisgestaltung eine möglichst weitgehende Produktdemontage und sortenreine Verwertung wirtschaftlich attraktiver gestaltet und damit auf die explizite Vorgabe von Verwertungsquoten verzichtet werden.

Aus dem Inhalt:

- *Abfallwirtschaftliche Grundlagen des Recyclings*
- *Analyse der Demontagestruktur komplexer zusammengesetzter Produkte*
- *Modellierung des Produktrecyclings mit Hilfe betriebswirtschaftlicher Produktionsmodelle*
- *Konzeption eines integrierten Demontage- und Verwertungsplanungsmodells*
- *Lösungsverfahren zum Demontage- und Verwertungsplanungsproblem*
- *Exakte Lösungsverfahren*
- *Heuristische Verfahren*
- *EDV-technische Realisierung des Planungssystems*
- *Anwendung des Planungsmodells auf Demontage und Recycling von Wohngebäuden*

ESV
ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München

Eine Fachzeitschrift von Fachleuten für Fachleute ist angesichts der anstehenden Fragen und Probleme in der Abfallwirtschaft mehr denn je von Interesse:

MÜLL und ABFALL steht seit über 25 Jahren für diesen Bereich. Sie bietet den umfassenden Erfahrungsaustausch zwischen allen an der Entsorgung und Abfallwirtschaft beteiligten Kreisen.

Die Mitarbeit von Experten aus Forschung, Industrie, Verwaltung und Organisationen, aber auch aus der kommunalen und privatwirtschaftlichen Praxis vor Ort, gibt die Gewähr für die ausgewogene und fundierte Berichterstattung und das hohe Niveau der aktuellen Beiträge.

Als von Interessengruppen unabhängige, kritische wie verantwortungsbewußte Fachzeitschrift ist **MÜLL und ABFALL** die unentbehrliche Informationsgrundlage für alle in diesem Bereich tätigen Ingenieure, Kaufleute, Wissenschaftler und Praktiker, Juristen und Verwaltungsfachleute – sei es in den Kommunen, Fuhrparks und Stadtreinigungsbetrieben, in den Beseitigungsunternehmen, sei es in der Industrie, den Verbänden oder in der Politik.

Schwerpunkte der Berichterstattung

- Menge und Zusammensetzung der Abfallstoffe
- Hygiene, Biologie und Chemie
- Vermeidung von Abfällen
- Wiederverwertung durch getrennte Sammlung oder Sortierung, Schadstoffsammlung
- Sammlung, Umschlag und Transport
- Ablagerung, Sickerwasser, Deponiegas
- Kompostierung
- Verbrennung und Pyrolyse
- Energie aus Abfall, Schlackeverwertung, Schrott
- Behandlung und Beseitigung von Schlämmen
- Sonderabfälle, Gewerbeabfälle, Industrieabfälle
- Bauschuttaufbereitung
- Krankenhausabfälle
- Altlastensanierung
- Straßenreinigung und Winterdienst
- Planung und Organisation
- Rechtsfragen, Normen, Merkblätter
- Tagungen, Seminare, Ausstellungen, Industrienachrichten

Müll und Abfall

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen

Organ für die gesamte Entsorgung und Abfallwirtschaft

Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
Mitteilungen des Arbeitskreises für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V. (ANS)

Schriftleitung: Dipl.-Ing. M. Ferber

Erscheinungsweise: Die Fachzeitschrift erscheint monatlich mit etwa 70 Seiten, DIN A 4, Jahresabonnementspreis DM 196,80/öS 1524,–/sfr. 197,–. Jahresabonnementspreis für Bezieher in Ausbildung (gegen Vorlage einer Studienbescheinigung) DM 148,80/öS 1148,–/sfr. 148,–. Einzelheft DM 19,–/öS 146,–/sfr. 19,90 jeweils zuzüglich Versandkosten.

Fordern Sie bitte ein kostenloses Probeheft an:
Telefon 0 30/25 00 85-33
Telefax 0 30/25 00 85-21

ESV

ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München

Von der Müllbeseitigung zur Abfallwirtschaft – damit ist die Entwicklung der letzten zwei Jahrzehnte umrissen. Die Prioritäten haben sich geändert:

- **Abfallvermeidung** *geht heute vor*
- **Abfallverwertung;** *diese wiederum geht vor*
- **Abfallbeseitigung**

Beseitigt werden sollen nur Abfälle, die sich nach Stand der Technik weder vermeiden noch verwerten lassen. Dies stellt neue Anforderungen an alle Beteiligten, vom Produktionsbetrieb bis zum professionellen Beseitiger: Mehr und mehr verschiebt sich die Zusammensetzung des zu beseitigenden Abfalls hin zu Sonderabfällen, die teilweise komplizierte Vorbehandlungen erfordern.

Sich dieser Herausforderung erfolgreich zu stellen erfordert ein Arbeitsmittel, das in mittlerweile 30 Jahren seine Eignung unter Beweis gestellt hat und heute aktueller und wichtiger als je zuvor ist:

MÜLL HAND BUCH

Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen

Ergänzbares Handbuch für die kommunale und industrielle Abfallwirtschaft

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. B. Bilitewski, Technische Universität Dresden, Prof. Dr. med. habil. G. Hösel, Ministerialdirigent a. D., Erster Direktor und Professor beim Umweltbundesamt Dipl.-Ing. W. Schenkel und Dr.-Ing. H. Schnurer, Ministerialdirigent beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
Unter Mitwirkung in- und ausländischer Fachleute aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.
Begründet von Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Kumpf †, D. K. Maas † und Prof. Dr.-Ing. H. Straub †.

Ergänzbare Ausgabe, rd. 10500 Seiten, DIN A 5, einschließlich 6 Spezialordner DM 486,–/öS 3798,–/sfr. 495,–, Ergänzungen von Fall zu Fall. Seitenpreis ca. DM 0,36.

Das MÜLL-HANDBUCH

Das gesamte Know-how der Abfallwirtschaft, angefangen von Kriterien für die Auswahl von Müllfahrzeugen bis hin zu Beseitigungsmethoden PCB-haltiger Abfälle, wurde von über 250 namhaften Mitarbeitern für dieses Standardwerk zusammengetragen. Unternehmen mit nach Art oder Menge problematischen Abfällen und öffentliche wie private Beseitigungsbetriebe und Anlagenbetreiber benutzen das Müll-Handbuch seit langem zur Bewältigung der sich ständig ändernden Aufgaben. Behörden und Ämtern im Bundes-, Landes- und kommunalen Bereich ebenso wie öffentlichen und privaten Forschungsinstituten sowie Ingenieurbüros dient das Handbuch als ständige Informationsquelle.

ESV

ERICH SCHMIDT VERLAG
Berlin Bielefeld München