

Beihefte zu

**Müll
und
Abfall**

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



30

Bauschutt- und Asphaltrecycling

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit

2., neubearbeitete und erweiterte Auflage

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

intecus



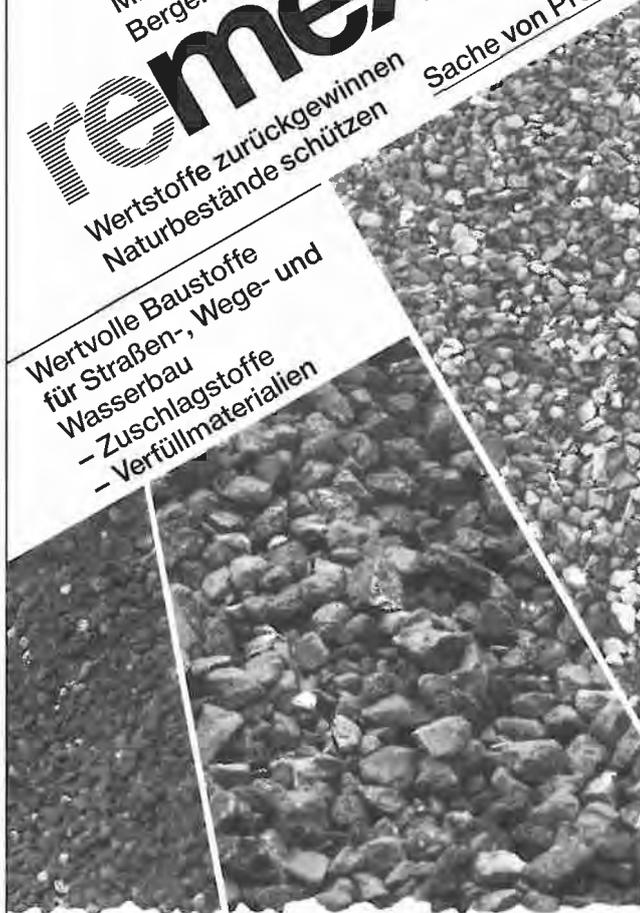
Industrielle Entfallstoffe;
MV-Aschen; Flugaschen;
Eisenhüttenschlacken;
Straßenaufbruch;
Hochbauabbruch;
Mischabfälle; Erdaushub;
Bergematerial ...

remexing

Wertstoffe zurückgewinnen
Naturbestände schützen

Sache von Profis!

Wertvolle Baustoffe
für Straßen-, Wege- und
Wasserbau
- Zuschlagstoffe
- Verfüllmaterialien



remex

Gesellschaft für
Baustoffaufbereitung mbH

Albert-Hahn-Straße 5-7 · D-4100 Duisburg 29
Telefon (02 03) 76 85-0 · Telefax (02 03) 7 68 52 32



Wir haben's im Griff!



S

Bau-Industrie- und Recyclingmaschinen
Industriestrasse, CH-8340 Hinwil
Tel. 01/937 10 12, Fax 01/937 34 50

SERVICE AG

25 Jahre Siebe, Dosierer und Klassierer

von

Lange
Anlagentechnik
und Recycling



LANGE-Siebtrommeln

für die Klassierung von Hausmüll, Müllschlacke,
Kompost, FE-Schrott. Leistung von 2 bis 80 m³/h

LANGE-Stangenklassierer

für siebschwierige Materialien. Es verklemmt,
verhakt, verstopft nichts.

LANGE-Lieferprogramm

Vibrationssiebmaschinen, Förderrinnen,
Schneckenförderer, Becherwerke, Förderbän-
der, komplette Aufbereitungsanlagen.

SFD Lange GmbH

Hochlarmarkstraße 91 D-4350 Recklinghausen
Telefon (02361) 36368 Telefax (02361) 653348

AUBEMA

BERATUNG

PLANUNG

AUSFÜHRUNG

Mobile Bauschuttzubereitungsanlage mit Prallmühle Typ 1710/12

- Durchsatzleistung bis 200 t/h je nach Aufgabegut
- Aufgabestückgrößen bis 1000 mm
- Antrieb mit Diesellaggregat direkt über hydraulisch einrückbare Kupplung
- Generatorantrieb mit hydraulischer Konstanthaltung bei wechselnder Rotordrehzahl
- Ausrichten der Anlage mittels bordeigenem Hydrauliksystem



- integriertes Abzugsband mit festinstalliertem Überbandmagnet
- großzügig dimensionierte Materialabzugsöffnungen
- kurze Aufbauzeit durch Kompaktbauweise
- niedrige Verschleißkosten durch stufenlose Drehzahlregelung bei hoher Durchsatzleistung
- auf Wunsch mit leicht versetzbarer Entstaubungsanlage
- je nach Einsatz auch mit Backenbrecher lieferbar
- ohne Sondergenehmigung straßentransportfähig



AULMANN & BECKSCHULTE TELEFON (0 22 61) 40 94-0
Maschinenfabrik · GmbH u. Co. Kommanditgesellschaft TELEEX 884 576 aubem d
D-5275 Bergneustadt · Kölner Str. 94 · Postfach 11 51 TELEFAX (0 22 61) 40 94-111
Federal Republic of Germany

Vollmobil



Mobirex -
die meistverkaufte
Anlage im
Bereich Recycling

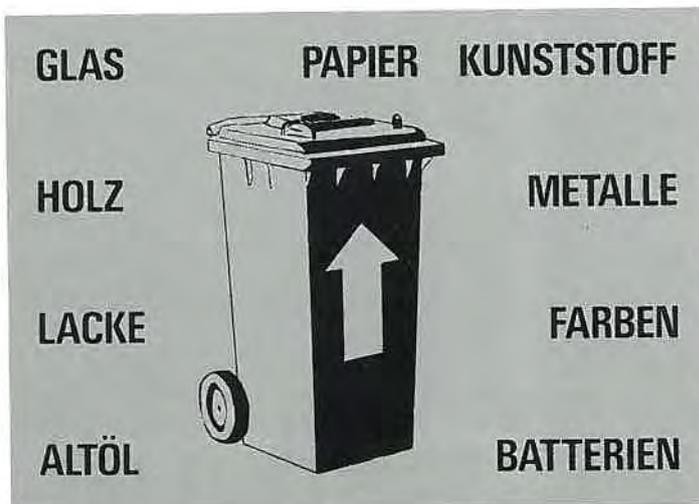
Geringe Rüstzeiten, zwei Antriebsalternativen und bewährter Einsatz stehen für unsere Baureihe Mobirex mit Prallbrecher, Mobicat mit Backenbrecher, Mobilox Nachbrechanlage und Mobiscree Siebanlage. Interesse? Dann schreiben Sie uns oder rufen einfach an.

IFAT '90 / Stand 2046 / Halle 20

**Kleemann
Reiner**

Maschinen- und Anlagenbau Vertriebs GmbH
Hildenbrandstr.18 Postfach 760
D-7320 Göppingen-Faurndau
Telefon 07161-22094
Telefax 07161-13134

Die Entsorgung muß stimmen.



Städte und Kommunen stehen oft vor dem Problem der sicheren und umweltgerechten Abfallbeseitigung. Umfassende Entsorgungskonzepte müssen auf die regionalen Gegebenheiten zugeschnitten sein.

intecus bietet:

- Sortieranalysen, statistische Auswertung und Beurteilung der Abfallzusammensetzung.
 - Entwicklung und individuelle Abstimmung der Vermeidungs- und Sammelsysteme.
 - Planung von Recycling- und Behandlungsanlagen.
- intecus. Die intelligente Lösung.

intecus Berlin - Hamburg - Freiburg
ingenieurgemeinschaft für technischen umweltschutz

Bauschutt- und Asphaltrecycling

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit

Von

Dr.-Ing. Bernd Bilitewski

Dipl.-Ing. Angela Gewiese

Dipl.-Ing. Georg Härdtle

Dipl.-Ing. Klaus Marek

2., neubearbeitete und erweiterte Auflage

ERICH SCHMIDT VERLAG

Bild auf dem Umschlag:
Derzeit noch praktizierter Umschlag von
gemischten Bauabfällen an der Umschlag-
stelle Nonnendammallee, Berlin.

ISBN 3 503 03115 4

Alle Rechte vorbehalten
2., neubearbeitete und erweiterte Auflage
Die 1. Auflage erschien als Beiheft 23 zu Müll und Abfall
© Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin 1990
Druck: Regensberg, Münster

Geleitwort zur zweiten Auflage

Als das Beiheft zu Müll und Abfall „Bauschutt- und Asphaltrecycling“ 1986 erschien, füllte es eine schmerzliche Lücke im Wissen um die Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Hoch- und Tiefbauabfällen. Dies zeigt nicht zuletzt die Tatsache, daß das Beiheft einer zweiten Auflage bedarf.

Das Baustoffrecycling befindet sich in einer stürmischen Entwicklung. Es wird durch die Verknappung und Verteuerung von Deponievolumen für alle Abfälle einschließlich Bauschutt stimuliert und durch die im Abfallgesetz des Bundes verankerte Priorität der Vermeidung und Verwertung von Abfällen vor deren Entsorgung noch beschleunigt.

Es ist zu erwarten, daß in Kürze Zielfestlegungen nach dem Abfallgesetz für die Steigerung der Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Erdaushub und Straßenaufbruch vorliegen werden, deren Umsetzung in die Praxis von allen Beteiligten vertiefte Kenntnisse über Markt und Technik des Bauschutt- und Asphaltrecyclings erfordert.

Es ist das große Verdienst der vorliegenden erweiterten, neubearbeiteten Auflage, die vorhandenen Erkenntnisse zusammengestellt und aktualisiert zu haben.

Als Unterstützung des Zieles der Steigerung der Bauschuttverwertung ist ihr eine erneute weite Verbreitung zu wünschen.

Berlin, im März 1990

Dr. rer. nat. Axel Schönfeld
Umweltbundesamt, Berlin

Danksagung

Die Autoren der vorliegenden Arbeit danken für die hilfreiche, inhaltliche Mitwirkung von Frau Dipl.-Ing. (FH) Inge Gladitz-Funk, Frau Dipl.-Ing. Silke Lammers und Herrn Dipl.-Ing. Klaus-Jürgen Fischer sowie dem Sekretariats- und Zeichenteam der Fa. INTECUS für die redaktionelle Bearbeitung.

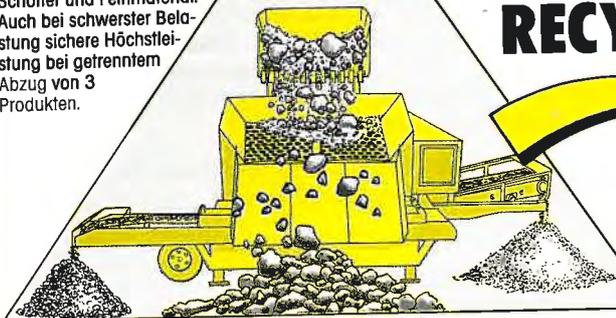
Für die fachliche Unterstützung bedanken wir uns bei Herrn Dr.-Ing. Uwe Görtsch, Karlsruhe.

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

Berlin, im März 1990

VORABSIEBEN

Vorabscheidung mit ULTRASCREEN 2400. Trennung des Brechgutes von Schotter und Feinmaterial. Auch bei schwerster Belastung sichere Höchstleistung bei getrenntem Abzug von 3 Produkten.



DAS MOBILE TRIO FÜR BAUSTOFF RECYCLING

BRECHEN

Brechen des vorklassierten Haufwerks durch den mobilen Doppel-Kniehebel-Brecher, System KUE KEN. Maximale Brechleistung, minimaler Verbrauch und Verschleiß, optimales kubisches Produkt und totale Bruchsicherheit.



WERTSTOFF

Fischer-Jung KG

ANLAGEN-TECHNIK

4150 Krefeld 1

Ritzhütte 11 · Telefon 02151/3717-0
Telefax 02151/3717-27

SIEBEN

HYDRASCREEN Mobile Siebanlagen mit Haldenbändern veredeln das Produkt des mobilen Trios für Recycling zur endgültigen Vermarktungsqualität. Präzise Trennung, flexible Abstimmung auf die Forderungen des Marktes, RAL-Qualitäten bei geeignetem Vormaterial garantiert.



Was wir wollen

Im Frühjahr 1984 schlossen sich Unternehmen aus verschiedenen Regionen der Bundesrepublik in dem Bundesverband Baustoff-Aufbereiter e.V.* zusammen.

Diese Firmen wollten gemeinsam die Idee einer umfassenden Nutzung von Altbaustoffen in die Tat umsetzen. Die Mitglieder des Verbandes haben sich verpflichtet, bestimmte Qualitätsstandards für ihre Produkte zu erfüllen, um so eine solide Vergleichsgrundlage von Primär- und Sekundär-Materialien zu schaffen.

Ziel ist es, eine umweltschonende und wirtschaftliche Verwertung von Altstoffen und gleichzeitig die Schonung unseres natürlichen Lebensraumes durch Eindämmung des Landschaftsverbrauchs für Deponien zu erreichen.

* BBA -Köln-

Wer wir sind

Der Verband ist bundesweit tätig. Die Mitgliedsfirmen stammen aus der Bauindustrie, dem Baustoffhandel, der Altstoffwirtschaft und aus dem Bereich der Hüttenaufbereitung und -entsorgung. Sie sind in mehrere Fachsparten aufgeteilt:

- Die Fachsparte Müllverbrennungsrückstände
- Die Fachsparte Gießerei- und Stahlwerksrückstände
- Die Fachsparte Recycling-Straßenbaustoffe (Hochbauabbruch, Tiefbauabbruch)
- Vertreter von Recyclingbaustoffen

Als Unternehmen, die sich bereits frühzeitig und meist über viele Jahre mit dem Recycling von Altbaustoffen befaßt haben, verfügen unsere Mitglieder über große Erfahrungen im Bereich der Aufbereitung und dem Einsatz der gewonnenen Materialien.

Sie sind verlässliche Partner, die ihre Erfahrungen der Industrie – die entsorgen muß – und denen, die durch die Aufbereitung gewonnenen Materialien einsetzen möchten, zur Verfügung stellen. Dadurch helfen wir, kostengünstige, rohstoffsparende und umweltfreundliche Lösungen zu erreichen.

Wo Sie uns erreichen

Die Adresse der Geschäftsstelle:
Bundesverband Baustoff-Aufbereiter e.V., BBA -Köln-
Postfach 270341
Brabanter Straße 8, 5000 Köln 1
Tel. 0221/253068
Tlx. 8 881610 RECY
Fax. 0221/252190



BUNDESVERBAND BAUSTOFF-AUFBEREITER e.V.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	9	2.3.3	Betriebserfahrungen	49
1.1	Aufkommen und Charakterisierung von Baurestmassen	9	2.4	Sortierung von Baustellenabfällen	50
1.1.1	Erdaushub	9	3.	Produkte und Eigenschaften	55
1.1.2	Bauschutt	10	3.1	Bauschutt	56
1.1.3	Straßenaufbruch	10	3.1.1	Qualitätssicherung	57
1.1.4	Baustellenabfälle	11	3.1.2	Einsatzgebiete	59
1.1.5	Produktion mineralischer Rohstoffe und Anfallmengen der Baureststoffe	11	3.1.2.1	Verwendung des Sekundärbaustoffs als Betonzuschlag	61
1.2	Stand der Verwertung und Entsorgung	12	3.1.2.2	Verwendung des Sekundärbaustoffes zur Herstellung von Betonsteinen	62
1.2.1	Deponierung von Baurestmassen	12	3.2	Asphalt	63
1.2.2	Verwertung von Baurestmassen	14	3.2.1	Anforderungen	64
1.3	Genehmigungsvoraussetzungen für Bauschutt-Recyclinganlagen	17	3.2.2	Einsatzgebiete	68
1.4	Genehmigungsvoraussetzungen für Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe	17	4.	Umweltbeeinträchtigungen	71
2.	Technische Grundlagen und Verfahren zur Aufbereitung von Baurestmassen	18	4.1	Schallemissionen	71
2.1	Erdaushub	18	4.2	Luftverunreinigungen	72
2.2	Bauschuttaufbereitung	18	4.2.1	Bauschutt	73
2.2.1	Anlagentypen	18	4.2.2	Asphalt	74
2.2.2	Verfahrenstechnische Komponenten von Bauschuttrecyclinganlagen	22	4.3	Wassergefährdung und Landschaftsverbrauch	75
2.2.2.1	Zerkleinerungsaggregate	22	4.3.1	Gewinnung von Rohstoffen	75
2.2.2.2	Siebanlagen	27	4.3.2	Anwendung des aufbereiteten Materials	76
2.2.2.3	Transporteinrichtungen	28	4.4	Deponierung von Restmassen	78
2.2.2.4	Magnetscheider	28	5.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	83
2.2.3	Abscheidung von unerwünschten Bestandteilen	28	5.1	Bauschutt-Recyclinganlagen	83
2.2.3.1	Naßsichtung	29	5.2	Asphaltrecycling	85
2.2.3.2	Trockensichtung	30	6.	Ausblick	90
2.2.4	Betriebserfahrungen	33	7.	Literaturverzeichnis	92
2.3	Asphaltaufbereitung	36	8.	Herstellerverzeichnis	96
2.3.1	Recycling-in-place	39	8.1	Bauschutt- und Straßenaufbruchaufbereitung	96
2.3.2	Recycling-in-plant	42	8.2	Asphaltrecycling	96
2.3.2.1	Maschinentechnische Voraussetzungen	43			
2.3.2.2	Bautechnische Voraussetzungen	48			



Rotar Cleaner

Der Rotar Cleaner von Zeppelin, Fabrikat Van Dal'sen, ist ein vielseitig verwendbares Aggregat zum Anbau an Radlader und Hydraulikbagger. Mit diesem Gerät sind Materialtrennungen und -mischungen jeglicher Art durchführbar. Die folgenden Anwendungsbeispiele verdeutlichen das breite Einsatzspektrum des Rotar Cleaners:

- Kompostierung
- Reinigung von Pflaster- und Natursteinen
- Mutterbodenaufbereitung
- Aufbereitung von Schlacken
- Reinigen von Schotter
- Sanierung von Böden
- Zuckerrübenreinigung

Zeppelin-Metallwerke GmbH

Handels- und Servicebereich Baumaschinen

22 Niederlassungen überall in der Bundesrepublik und in West-Berlin.

1. Einleitung

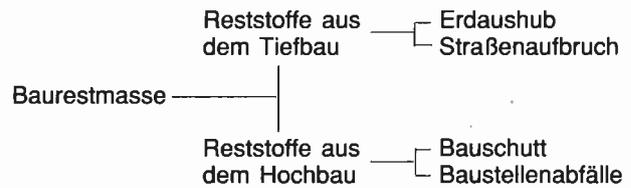
Der Flächenverbrauch für Straßen-, Wohn-, und Gewerbegebiete ist in den letzten 10 Jahren stetig gestiegen. Im Mittel betrug der zusätzliche Baulandbedarf ca. 285 km² im Jahr. Die gesteigerte Bautätigkeit bringt es mit sich, daß ein erhöhter Anfall an Baurestmassen einen entsprechenden Deponiebedarf erfordert. So nahm der Anteil der Baurestmassen von 1977 mit 95,8 Mio über 130 Mio Mg im Jahre 1989 zu. Gleichzeitig stieg die Anzahl der Bauschuttdeponien von ca. 1400 auf ca. 2700, während die Zahl der Hausmülldeponien im gleichen Zeitraum ständig abnahm und die Ablagerung auf Hausmülldeponien stark eingeschränkt wurde [75, 90].

Ähnlich wie die Diskussion um Standorte neuer Deponien, ist auch die Erteilung von neuen Abbaurechten für die Gewinnung von natürlichen Rohstoffen für Baustoffe politisch ein brisantes Thema. Zusätzlich zu den Schwierigkeiten auf dem Gebiet des Umweltschutzes wird durch regionale Unterschiede in Qualität, Menge und Verfügbarkeit der vorhandenen natürlichen Lagerstätten die Gewinnung hochwertiger Baustoffe zunehmend schwieriger. Die Baustoffindustrie sieht sich aus diesen Gründen gezwungen, zum Teil unwirtschaftliche Lagerstätten auszuheben oder lange Transportstrecken zur Verarbeitungsstelle in Kauf zu nehmen. Bei einem jährlichen Einsatz von allein ca. 100 Mio m³ natürlicher Zuschläge für die Betonherstellung machen sich bereits heute regionale Verknappungen in der Bundesrepublik bemerkbar [64]. Die Schwierigkeiten hinsichtlich der Genehmigung neuer Abbaurechte, der zur Verfügung stehenden Deponieflächen sowie die schwindenden Ressourcen lassen eine Wiederverwertung von Baustoffen sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll erscheinen.

Als wiederzugewinnende Baustoffe fallen vorwiegend ungebundene Mineralstoffgemische aus Verkehrsflächen (z.B. Gesteinsaushub), hydraulisch gebundene (z.B. Beton) oder bituminös gebundene (z.B. Asphalt) Stoffe an. Auf Deponien werden allerdings selten Einzelstoffe, sondern fast ausschließlich Gemische angeliefert. Vor allem Materialien aus dem Abbruch von Häusern weisen eine hohe Heterogenität auf, wobei zum Teil unerwünschte Bestandteile wie Gips, Holz, Tapetenreste, Stroh, Metalle oder umweltgefährdende Stoffe enthalten sein können. Eine direkte Wiederverwertung ohne Aufbereitung wird dadurch erschwert. Um höherwertige Materialien zurückzugewinnen, ist eine entsprechende Vorbehandlung unumgänglich.

1.1 Aufkommen und Charakterisierung von Baurestmassen

Die Materialien, die aufgrund von Baumaßnahmen als Baurestmassen anfallen, werden in folgende Gruppen untergliedert:



Eine untergeordnete, hier nicht weiter diskutierte Gruppe stellt der Altschotter dar, der ausschließlich im Rahmen von Gleisbauarbeiten anfällt. Aufbereiteter Gleisschotter kann aufgrund der technischen Lieferbedingungen (Gleisschotter TL 91861) nicht mehr für den Bahnbau verwendet werden, wird jedoch als Zuschlagstoff für den Straßen- und Wegebau eingesetzt werden [104].

1.1.1 Erdaushub

Bei fast allen Bautätigkeiten wie der Verlegung von elektrischen Leitungen, der Einrichtung von Be- und Entwässerungskanälen, Straßenbaumaßnahmen und der Errichtung von Wohn- und Geschäftskomplexen fällt Erdaushub an. Mit ca. 79 Gew.-% bildet der Erdaushub mengenmäßig den größten Anteil der Baurestmassen, wobei die Zusammensetzung stark variiert. Dies hängt sowohl von den örtlichen geologischen Gegebenheiten als auch von der Art der Baumaßnahmen ab.

So können beispielsweise Mutterboden, Sand, Kies, Lehm, Ton und verschiedene Felsgesteine anfallen.

Je nach Reinheitsgrad und Zusammensetzung kann das Material direkt für das Straßenplanum, Deponieabdeckungen, Dammschüttungen, Lärmschutzwälle und für den Gartenbau verwertet oder einer Absiebanlage zugeführt werden.

Bild 1.1: Betonabbruch aus dem Hochbau



Bild 1.2:
Betonabbruch im Industriebau. Im Vordergrund
Monierstahl, Holz, Abflußröhren etc.



1.1.2 Bauschutt

Bauschutt fällt bei Baumaßnahmen im Hoch- und Tiefbau an. Je nach Alter und Konstruktionsweise der Bauwerke weist der dabei entstehende Bauschutt unterschiedliche Zusammensetzungen und Verunreinigungen mit organischen und anorganischen Bestandteilen auf.

Nachfolgend aufgeführte Materialien können beispielsweise dabei im Bauschutt enthalten sein:

Erdreich, Beton mit und ohne Bewehrungsstahl, Ziegelmauerwerk, Fliesen, Kalksandstein, Mörtel, Gips, Blähton, Holz, Leichtbauplatten, Sand, Kunststoffe, Metalle, Steinwollplatten, Papier, Bitumen, Teer, Pech, Farben und Klebstoffe.

In Tabelle 1.1. sind die möglichen Materialien für ein Bauwerk jeweils unter Angabe des durchschnittlichen Volumens aufgeführt [35].

Tabelle 1.1:
Technische Daten eines nach den Richtlinien des Sozialen Wohnungsbaus erbauten Wohnhauses, Baujahr 1972, Bruttorauminhalt ca. 6.000 m³, Wohnfläche ca. 1.800 m²; die Angaben beziehen sich auf die anteiligen Baustoffe je m³ Bruttorauminhalt [35]

Baustoff	Einsatzgebiet	Anteil
Mauerwerk	Hohlblock-, Ziegelvoll- und Lochsteine, Bims- Wandauplatten, Dachdeckungsmaterial	0,11 m ³
Stahlbeton und Beton	Fundamente, Geschoßdecken, Treppen, Balken, Stürze, Kellerböden	0,09 m ³
Natursteine	Fensterbänke	0,0001 m ³
Betonwerkstein	Treppenbeläge	0,0008 m ³
Beton-/Baustahl	Decken, Träger, Stützen	5,3 kg
Zimmer- und Holzbaumaterial	Holzbinder, Schalungen, Gesimse, Lattenverschlüge	0,067 m ³
Dachdeckungsmaterial	Bitumendachpappen, Glasgewebe, Spachtelmassen, Wärmedämmungen, Kies- und Splittschüttung	0,0046 m ³ 0,0044 m ³ 0,0077 m ³ 0,017 m ³
Klempnermaterial	Attikaverkleidung, Fensterbleche, Regenfallrohre und Dunstrohre	125 m ²
Putz und Stuck	Wand- und Deckenputz mit Putzträger	0,02 m ³
Fliesen- und Plattenmaterial	Wand- und Bodenfliesen in Mörtelbett	0,003 m ³

Baustoff	Einsatzgebiet	Anteil
Estrichmaterial	Zementestriche	0,009 m ³
	Dämmatten	0,013 m ³
Tischlerholz	Fenster, Türen, Futterleisten und Rolladendeckel	0,002 m ³
Parkettholz	Holzriemen und Sockelleisten	0,0003 m ³
Beschlägematerial	Türschlösser, -bänder, Scharniere, Kleineisenteile	0,256 kg
Rolladenmaterial	Kunststofflamellen für Fenster und Balkontüren	0,003 m ³
Metallbaumaterial	Treppengeländer, Roste, Stahlkellerfenster, Zargen und Stahltüren	0,56 kg
Verglasung	Mehrscheibenisoliertglas	0,0005 m ³
Bodenbeläge	Textil-, PVC-Beläge einschließlich Spachtel- und Ausgleichmassen	0,0007 m ³
Material für Lüftungsanlagen	Kanalleitungen aus Asbestzement	0,014 kg
Material für Heizungs- und Brauchwasseranl.	Stahlheizkörper, Rohrleitungen, Ventile, Befestigungsmittel und Konsolen	1,08 kg
Material für Gas-, Wasser- und Abwasserinstallation	Kalt- und Warmwasserleitungen	
	Kupferrohrleitungen	0,200 kg
	Stahlwannen	0,035 kg
Material für elektrische Leitungen	Porzellan- und Keramikbecken	0,097 kg
	elektr. Leitungen, Antennenleitungen, Bänder und Befestigungsmaterial	0,099 kg

1.1.3 Straßenaufbruch

Je nach eingesetztem Material für die Straßenaufschichten (Deck-, Binder-, Tragschichten) setzt sich der Straßenaufbruch aus bituminös und hydraulisch gebundenen Schichten, teerhaltigen Substanzen, Randsteinen, Pflastersteinen, Sand, Kies und Erdreich zusammen [48,54].

Bituminöses Mischgut besteht aus [99]:

- Mineralstoffgemischen
 - natürliche: Basalt, Diabas, Granit, etc.
 - künstliche: Hochofen-, Hüttenschlacke etc.
- Mineralstoffen unterschiedlicher Körnungen,
- Füllstoffen (Gesteinsmehlen),
- Edelsplittkörnungen sowie
- bituminösen Bindemitteln (Bitumen und Teer).

Bituminöse Mischgüter werden in Walzasphalt und Gußasphalt unterteilt.

Bild 1.3:
Unverarbeiteter Straßenaufbruch mit großen Asphaltplatten



Walzasphalt besteht aus einem abgestuften Mineralstoffgemisch mit Bitumen oder Teerbitumen als Bindemittel. Der Einbau erfolgt bei 90–190° C. Dieser Asphalt wird beim Einbau mit Walzen verdichtet und entsprechend als Walzasphalt bezeichnet.

Gußasphalt besteht ebenfalls aus einem abgestuften Mineralstoffgemisch und Straßenbaubitumen oder aus einem Gemisch aus Straßenbaubitumen und Naturasphalt. Gußasphalt wird ausschließlich als Deckschicht eingebaut, da er nach dem Gießen dicht ist und somit keiner Nachverdichtung mittels Walzen bedarf [99].

1.1.4 Baustellenabfälle

Unter dem Begriff „Baustellenabfälle“ werden alle Rückstände zusammengefaßt, die bei Neubau, Ausbau und Sanierung von Bauwerken anfallen und in eigens dafür vorgesehenen Containern gesammelt werden. Der Inhalt setzt sich aus mineralischen Bestandteilen, Holz, Eisen, Nichteisenmetallen, Kunststoffen, Papier, Pappe, organischen Resten, Sperrmüll sowie Sonderabfällen (Farben, Lacke etc.) zusammen. Bisher sind mehrere Untersuchungen hinsichtlich der Zusammensetzung von Baustellenabfällen durchgeführt worden [65,120,114].

Das Ergebnis einer Sortieranalyse von 217 Mulden ist in Bild 1.4 wiedergegeben [123].

Die Tatsache, daß mehr als 50 Gew.-% der Baustellenabfälle aus Inertstoffen (Sand, Steine, Erde, Betonreste) bestehen, macht deutlich, daß durch eine Aufbereitung große Mengen dieser Abfälle von Mülldeponien ferngehalten werden können.

Abfallwirtschaftlich gehören die Baustellenabfälle zu den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, so daß diese nicht getrennt in der Abfallstatistik erfaßt werden.

1.1.5 Produktion mineralischer Rohstoffe und Anfallmengen der Baurestmassen

Die jährlich anfallenden Mengen an Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfällen und Erdaushub hängen von der Anzahl der durchgeführten Bauvorhaben ab. Zur Zeit liegen in der Bundesrepublik Deutschland keine detaillierten Angaben über die Produktions- bzw. Abfallmengen vor.

Bild 1.4:
Zusammensetzung von Baustellenabfällen [123]

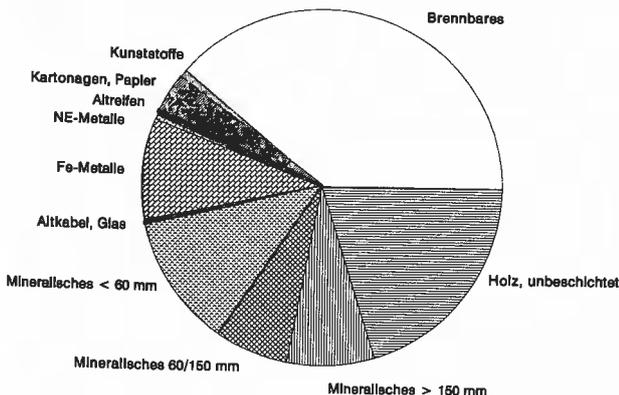


Bild 1.5: Baustellenabfälle vor der Sortierung



In Tabelle 1.2 sind aus verschiedenen Quellen Produktionsmengen der wichtigsten mineralischen Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland aufgelistet. Eine Vereinheitlichung ist wegen der jeweils unterschiedlichen Materialengruppen nicht möglich.

Tabelle 1.2: Produktionsmengen an mineralischen Rohstoffen in der Bundesrepublik Deutschland, Betriebe mit mehr als 20 Beschäftigten [89]

Produkt	Menge in Mio. Mg				
	1984	1985	1986	1987	1988
Natursteine für den Tiefbau ¹	113,5	108,7	117,1	116,9	121,0
Kalk-, Dolomitstein, roh, gebrochen oder zerkleinert	44,7	41,7	41,3	42,0	45,4
Bausand, -kies, Kies für den Wegebau	143,3	131,0	142,6	137,1	146,3
Zement (ohne Zementklinker)	28,9	25,8	26,6	25,3	26,2
Kalkstein, -spat, Dolomitgestein, gemahlen	4,6	5,1	7,4	7,5	7,6
Kalkstein, -spat, Dolomitgestein, gebrannt, gesintert	6,9	6,8	6,5	6,1	6,8

¹ ohne bituminiertes, geteertes und asphaltiertes Mischgut

Je nach Material und Verwendungsart ist die Nutzungsdauer der Baustoffe sehr unterschiedlich. Damit ist eine Aussage, wann das entsprechende Material als Erdaushub, Bauschutt oder Straßenaufbruch anfällt, unbestimmt.

Seit 1975 erfaßt das Statistische Bundesamt in Zusammenarbeit mit den Statistischen Landesämtern in Abständen (bisher für 1977, 1980, 1982 und 1984) die anfallenden Mengen an Erdaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch. In Tabelle 1.3 sind die Anfallmengen für Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch denen der marktkonkurrierenden Substitutionsgütern (z.B. Hochofenschlacken, Schlacken aus der Eisen- und Stahlindustrie, Berge aus dem Steinkohlebergbau, REA Gips) aus diversen Literaturquellen gegenübergestellt.

Das statistische Bundesamt nennt eine Gesamtanfallmenge von Bauschutt, Bodenaushub und Straßenauf-

Tabelle 1.3: Anfall an mineralischen Reststoffen in der Bundesrepublik Deutschland in Mio. Mg/a [89,90,98]

Abfallarten	Statist.	Pietr-	Referenten-
	Bundesamt 1984/1	zeniuk 1984	entwurf BMU, 1989
Bodenaushub	124,9	k.A.	98,0
Bauschutt		15,0	15,0
Straßenaufbruch		13,0	13,0
Baustellenabfälle			10,0
Grobasche Steinkohle	11,9	4,2	
Asche Braunkohle		9,4	
MVA-Asche, -Schlacke		2,8	
REA-Gips		0,2	
Hochfenschlacke		10,0	
Stahlwerksschlacke		5,0	
Waschberge Steinkohle		67,5	

Anmerkungen: /1 Betriebe mit 20 und mehr Beschäftigten

bruch von 124,9 Mio Mg/a, während Pietrzeniuk den Erdaushub nicht berücksichtigt. Aus den Angaben von Gallenkemper wird deutlich, daß der Bodenaushub den größten Teil (95,1 Mio Mg/a) des Baurestmassenanfalls ausmacht. Der Anfall von Bauschutt variiert bei den unterschiedlichen Autoren zwischen 10 und 16 Mio Mg/a, beim Straßenaufbruch beträgt die Spannweite 10–13 Mio Mg/a. Die aktuellsten Zahlen des Statistischen Bundesamtes besagen, daß an Anlagen der öffentlichen Abfallentsorgung 1987 25,8 Mio Mg Bauschutt und Straßenaufbruch sowie lediglich 31,9 Mio. Mg Bodenaushub angeliefert wurden [81].

Die Daten zeigen, daß die bisherigen statistischen Erhebungen hinsichtlich des Gesamtaufkommens an Baurestmassen noch unzureichend sind.

Trotz der in der 4. Novelle des Abfallgesetzes (AbfG) vorgegebenen Priorität der Abfallvermeidung vor der Verwertung und Beseitigung ist auch für die nähere Zukunft mit einem Zuwachs an Baurestmateriale (insbesondere aus Straßenbau-Erneuerungsmaßnahmen und diversen Abbruchmaßnahmen an Großbauten) zu rechnen.

Straßenaufbruch unterteilt sich in Ausbauphase asphalt aus bituminös gebundenen Schichten mit unterschiedlichen Asphaltmischungen und in mineralisches Ausbaumaterial der darunter liegenden Tragschichten. Diese Schichten sind hydraulisch verdichtet und gebunden. Asphalt-schichten werden aufgebrochen oder abgefräst; das Aufkommen beläuft sich auf ca. 10 Mio Mg/a. In diesem Ausbauphase asphalt sind ca. 0,5 Mio Mg Bitumen enthalten [102].

Statistiken über den Anfall von Baustellenabfällen liegen z.Zt. noch nicht vor, da diese bislang dem hausmüllähnlichen Gewerbemüll zugeordnet werden. Erfahrungen und Schätzungen von Kommunen in Ballungsräumen gehen von einem Mittelwert von 0,4–0,5 m³ pro Kopf und Jahr aus, bei einem spezifischen Gewicht der Abfälle von ca. 400 kg/m³ [91]. Untersuchungen in Berlin haben ein durchschnittlich spezifisches Gewicht der Baustellenabfälle von ca. 750 kg/m³ ergeben [23]. Für den ländlichen Raum sind die Mengen um ca. 25% geringer anzusetzen.

1.2 Stand der Verwertung und Entsorgung

Eine Quantifizierung der wiederverwendeten Mengen an Bodenaushub ist aufgrund der Tatsache, daß ein Großteil hiervon zum Teil direkt betriebsintern eingesetzt wird oder auf entsprechenden Plätzen zur Zwischenlagerung kommt, nicht möglich. In Tabelle 1.4 sind die einer Verwertung zugeführten Mengen an Bauschutt und Straßenaufbruch dargestellt.

Tabelle 1.4: Verwertungsraten bezogen auf den jährlichen Anfall [90, 98]

Abfallarten	Verwertungsraten			
	Pietrzeniuk 1984		Referentenentwurf BMU 1989	
	Mio Mg/a	Gew.-%	Mio Mg/a	Gew.-%
Bauschutt	3,0	20	3,0	20
Straßenaufbruch	9,0	70	9,0	70
Erdaushub			44,1	45

Die in Tabelle 1.4 angegebenen Verwertungsraten für Bauschutt und Straßenaufbruch variieren stark, so daß davon ausgegangen werden muß, daß hier derzeit, anders als beispielsweise bei den Verwertungsraten für mineralische Reststoffe aus Feuerungsanlagen und der Hüttenindustrie, keine systematische Erfassung der Reststoffe erfolgt.

Wie schon bereits unter Kapitel 1.2 erwähnt, liegen für Baustellenabfälle derzeit noch keine Mengenangaben über Abfall bzw. Verwertung im Bundesgebiet vor.

Nach einer Statistik aus dem Jahre 1980 werden bei einem Gesamtanfall von 133 Mio Mg 53 Gew.-% der Baurestmassen deponiert, 2% einer Wiederverwertung zugeführt und 44,7% auf sonstige Weise beseitigt [20]. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamtes ist für 1984 bei einem Gesamtanfall von 125 Mio. Mg die Recyclingquote auf ca. 4% angestiegen.

1.2.1 Deponierung von Baurestmassen

Durch die zunehmend steigenden technischen, geologischen und ökologischen Anforderungen an eine geordnete Ablagerung von Abfällen wird es immer schwieriger, geeignete Standorte für Neuanlagen zu finden. Jede Deponieanlage stellt einen Eingriff in die Landschaft dar. Gleichzeitig müssen zum Schutz der Umwelt verbesserte Untergrund- und Seitenabdichtungen gegen das Eindringen von Sickerwasser sowie Sammeleinrichtungen zu deren Erfassung eingebaut werden. Dies wirkt sich vor allem in einer Erhöhung der Investitionskosten beim Deponiebau aus. Die Annahmegerühren orientieren sich im wesentlichen an der unterschiedlichen Ausstattung der Deponien und den Anfallmengen in einem Einzugsgebiet. Der Unterschied zwischen Regionen, die bereits heute große Deponieprobleme haben, und anderen spiegelt sich u.a. in der Bandbreite der Deponiegebühr, die zwischen 3 und 60 DM/Mg liegt, wieder [121].

Technische und rechtliche Anforderungen an Bauschuttdeponien:

An Deponien zur Ablagerung von Baurestmassen werden folgende Anforderungen gestellt [2]:

- Als Mindestlaufzeit für die Neuanlage einer Bauschuttdeponie werden 5 Jahre gefordert. Das Mindestvolumen umfaßt ca. 100.000 m³. – Die planungsrechtliche Eignung muß auch die Verfügbarkeit des Grundstückes in Abstimmung mit der vorhandenen Planung, wie z.B. dem Gebietsentwicklungsplan, der Bauleitplanung usw. entsprechen.
- Es sollten Standorte gewählt werden, bei denen durch die Maßnahme langfristig positive Auswirkungen auf die Umgebung und Landschaftspflege geschaffen werden können, z.B. bei der Wiederverfüllung von Abgrabungen.
- Wasserwirtschaftlich betrachtet, muß die hydrogeologische Eignung des Untergrundes und die Vereinbarkeit der Deponie mit der Wassergewinnung, dem Gewässer- und Hochwasserschutz gewährleistet sein.
- Während des Deponiebetriebes sowie auf den Zufahrtstraßen der Deponie müssen die Belange des Immissionsschutzes beachtet werden. Der Abstand zur Wohnbebauung sollte nicht kleiner als 100 m sein.
- Das Oberflächen- und Sickerwasser sollte durch entsprechende Maßnahmen wie Randgräben und zentrale Erfassung schadlos abgeleitet werden. Aus Sicherheitsgründen sollten Grundwasserbeobachtungsbrunnen angelegt werden.
- Für Bodenaushub- und Bauschuttdeponien sind in der Regel keine künstlichen Basisabdichtungen vorgeschrieben, so daß Standorte gefunden werden müssen, die eine geringe Durchlässigkeit mit einem K_f-Wert von 10⁻⁷ aufweisen.
- Für die abzulagernden Abfälle sind Grenzwerte für die Eluate vorgeschrieben.

Die Deponieoberfläche muß mit einer wirksamen Abdichtung versehen werden.

Tabelle 1.5: Aufteilung der aussortierten Stoffe in Gewicht und Volumen aus Bauschuttcontainern [119]

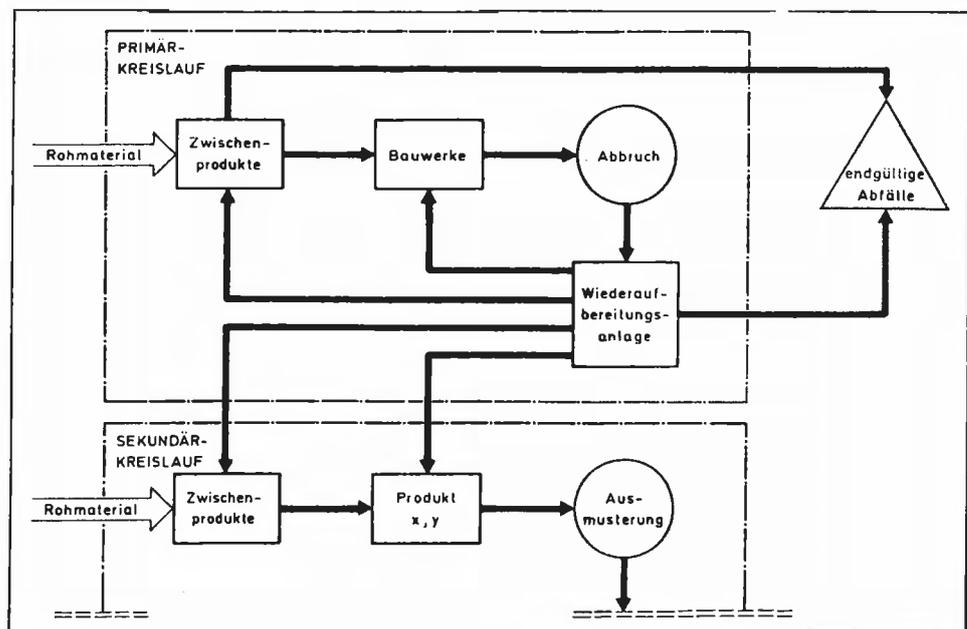
		Mg	Gew.-%	m ³	Gew.-%
1		2	3	4	5
1	Holz	32,50	5,35	340,0	19,86
2	Glas	1,80	0,30	4,5	0,26
3	NE-Metall	1,14	0,19	10,0*	0,58
4	Fe-Mischschrott	10,52	1,73	50,0*	2,92
5	Fe-Blechschrött	11,52	1,89	110,0*	6,43
6	Kunststoff, fest	0,97	0,16	5,0*	0,29
7	Kunststoff-Folie	0,97	0,16	10,0	0,58
8	Kabel	0,59	0,10	3,0*	0,18
9	Papier, Pappe	5,00	0,82	60,0	3,51
10	Reifen	0,34	0,05	3,5*	0,20
11	Brennbares	150,00	24,70	665,0	38,84
12	< 60 mm (Sand)	213,00	35,07	203,0	11,86
13	> 60 < 150 mm	68,00	11,20	113,0	6,60
14	> 150 mm (Steine)	111,00	18,28	135,0	7,89
15	Gesamt	607,35	100,00	1712,0	100,00

* Geschätztes Volumen

Probleme bei der Deponierung stellen vor allem Baustellenabfälle dar. Diese enthalten neben Bauschutt auch Kunststoffe, Kabelabfälle, Installationsabfälle und organische Abfälle [3,118,119]. Eine Analyse der Inhaltsstoffe von Containeranlieferungen ist in Tabelle 1.5 enthalten. Diese Abfälle können auf der Deponie zur Anreicherung des Sickerwassers mit Schadstoffen führen. Die Ablagerung von Baustellenabfällen sollte daher nie auf Deponien der Klasse I (Deponien für nicht-kontaminierten Bodenaushub) erfolgen.

Die generelle Verknappung des Deponieraumes in den letzten Jahren führt zwangsläufig zu einer Zentralisierung der Annahmestellen. Ein Teil der Anlieferer muß folglich größere Transportentfernungen zu den Deponien hinnehmen, wodurch die Frachtkosten entsprechend steigen. Exakte Frachtkosten lassen sich nach dem Güternahverkehrstarif ermitteln.

Bild 1.6: Schematische Darstellung des Primär- und Sekundärrecycling für Bauschutt [55]



1.2.2 Verwertung von Baurestmassen

Wie bereits in Kapitel 1.2 dargestellt, wurden 1980 ca. 2 Gew.-% der anfallenden Baurestmassen aufbereitet und weiter verwertet, während ca. 45 Gew.-% einer sonstigen Beseitigungsform zugeführt wurden.

In der Literatur sind nur wenige Angaben über den Verbleib der Baurestmassen dokumentiert. Gallenkemper berichtet von unmittelbaren Wiederverwendungen, z.B. für Rekultivierungen, Geländeaufhöhungen und Lärmschutzwälle [21]. Eine weitere Möglichkeit die unaufbereiteten Reststoffe zu verwerten, besteht in der Verfüllung ausgedienter Kiesgruben.

Während beim Primärrecycling das Material mit oder ohne Aufbereitung wieder als Baustoff für die direkte Verwendung (z.B. Tragschichten) zur Verfügung steht, bedeutet Sekundärrecycling den Einsatz des Materials nach einer Umwandlung zu einem neuen Produkt in anderen Produktionszweigen (Bild 1.6).

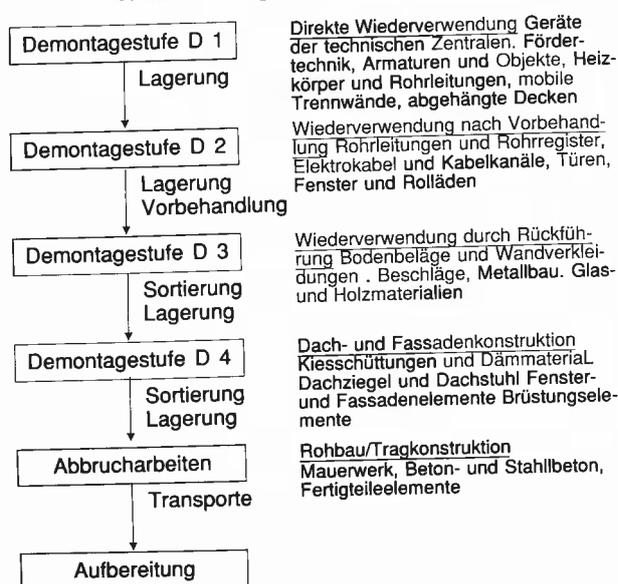
In der Tabelle 1.6 sind die Baustoffe unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Wieder- und Weiterverwertung dargestellt.

Bei inhomogen angelieferten Materialien erscheint eine Aufbereitung der Gemische zu hochwertigen Sekundärrohstoffen aufwendig, da diese mit Neumaterialien, vor allem hinsichtlich der Qualitätskriterien, konkurrieren müssen.

Andererseits zeigt die Stoffgliederung der Tabelle 1.6 unter Berücksichtigung der Wiederverwendungsmöglichkeiten durchaus eine theoretisch mögliche Nutzung aller Baurestmassen durch Wiedereingliederung in den Sekundärrohstoffkreislauf.

Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Baurestmassen an den Anfallstellen gar nicht erst als Abfall eingestuft und behandelt werden, sondern durch weitgehende getrennte Erfassung, Lagerung und Transport der einzelnen Materialien einer erneuten Verwendung zugeführt werden.

Bild 1.7: Ablaufstruktur der Demontage- und Abbaubarbeiten [97]



In diesem Zusammenhang gewinnt der Demontage- und Abbruchprozeß zunehmend Bedeutung. Hierbei sollte darauf geachtet werden, daß Materialgemische aus unterschiedlichen Bestandteilen soweit wie möglich vermieden werden.

Durch einen sinnvoll gegliederten Abbruchvorgang in Demontagestufen (siehe Bild 1.7) mit weitgehend separatem Ausbau der Baumaterialien kann im Hochbau eine relativ große Menge an reinem mineralischen Material der Rohbau- und Tragkonstruktion für eine Aufbereitung gewonnen werden [121].

Die direkte Eingliederung der ausgebauten Teile in den Rohstoffkreislauf ist angebracht, da es sich in der Regel um nicht toxische Baurestmassen handelt.

Generell sollte berücksichtigt werden, daß Baureststoffe zwar gebraucht, aber im physikalischen Sinne nicht verbraucht sind; deren Wiedereinsatz in anderer Form, an anderer Stelle als Ersatz- oder umgewandelter Sekundärrohstoff ist gerechtfertigt und je nach Aufbereitungsverfahren ökonomisch und ökologisch sinnvoll [34].

Durch das im Abfallgesetz formulierte Verwertungsgebot ist es darüberhinaus notwendig, auch die derzeitigen Bautechnologien und -materialien zu überprüfen, ob diese für eine spätere Verwendung bzw. Verwertung zugänglich sind oder ob diese aufgrund der Zusammensetzung grundsätzlich von der Wiederverwertung auszuschließen sind. Bei der Aufbereitung ist sicherzustellen, daß schädliche Verunreinigungen abgetrennt werden.

Damit eine Baustoffaufbereitungsanlage rentabel betrieben werden kann, müssen neben der Wahl des Standortes und der Kapazität der Anlage folgende Faktoren berücksichtigt werden [62]:

- Die natürlichen Rohstoffvorkommen im Einzugsbereich;
- die Preisstruktur von konkurrierenden Baustoffen;
- die Höhe der Deponiegebühren im Umkreis;
- die Quantitäten und Qualitäten der Altbaustoffe.

Für den kontinuierlichen Absatz der aufbereiteten Baustoffe müssen bestimmte Qualitäten und Zusammensetzungen eingehalten werden, da sich hieraus die Verwendungsmöglichkeiten ergeben. Als Einsatzbereiche für Sekundärbaustoffe werden im „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen“ entsprechend der Qualität, folgende genannt [85]:

- Lärmschutzwälle
- wassergebundene Verkehrsflächen und Wegebau
- Unterbau, Hinterfüllung und Überschüttung
- Bodenverfestigung, Untergrundverbesserungen, Leitungsgräben
- Oberbau:
 - Tragschichten ohne Bindemittel
 - hydraulisch gebundene Tragschichten
 - Tragschichten mit bituminösen Bindemitteln
 - bituminöse Decken
 - Beton

Neben der Umweltverträglichkeit muß die Qualität der Sekundärbaustoffe anhand bestehender Richtlinien und Normen überprüft werden.

Tabelle 1.6: Die Gliederung der Baustoffe unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Wieder- und Weiterverwertung [34]

1	2	3	4	5
Baustoff	Definition der Stoffe	Wiederverwendung	Weiterverwendung	
10	Nichteisenmetalle	Außer Eisen und Eisenwerkstoff alle Metalle. Verwendung finden Kupfer, Zink, Blei sowie Aluminium. Für Tragkonstruktion, Innenausbau, Dacheindeckung, Rinnen u.ä.	Ausgebaute Aluminiumkonstruktion, Zink- und Kupferbleche, Bleiverwahrung möglich	Neu formen, zuschneiden, aufbereiten
11	Bauholz	Als organischer Stoff in Rund- und Schnittholz. Meist Nadelholz für Roh- und Ausbau einschließlich Möbelbau	Vom Deckenbalken über das Schalungsbrett bis zur Edelholzvertäfelung direkt	Zuschneiden, hobeln, zerkleinern zerfasern, häckseln, zerspanen
12	Vergütete Holzbaustoffe	Nichtvergütetes Holz ist inhomogen, hygroskopisch und anisotrop. Bei vergütetem Holz sind diese nachteiligen physikalischen Eigenschaften eliminiert. Vergütete Vollhölzer, Verbundplatten und Lagenhölzer	Ausgebautes Sperrholz, Verbundplatten Preßschichtholz, Formvollholz ist direkt einsetzbar	Zubereitung wie bei Bauholz möglich
13	Faserbaustoffe	Mineralische oder organische Fasern im Verbund aufbereitet. Holzfasern für Platten, Spanplatte, Mineralfaser, Glasfaser, u.ä.	Meistens möglich, bei glasfaserverstärkten Polyesterharzen schwer	Durch neue Formgebung möglich
14	Papierzeugnisse	Als Papier, Karton, Pappe, aus dem Zellstoff der Hölzer hergestellt	Rückgewinnung schwierig (Tapeten, Pappen) meist nur in Resten möglich; oft im Verbund	Unter Zusätzen zu Filzpappen, Gipskartonen, Asbestpapieren aufbereitbar
15	Bautextilien	Synthetische und natürliche Faserstoffe für Bauteile und Ausstattungen, Gewebe, Planen u.ä.	Textilbeläge für Böden, Planen u.a. möglich	vereinzelt nur möglich im Verbund einer geänderten Verwendung schwer zurückführbar
16	Glas, Emaille	Als Fensterglas, Dünn-, Dick-, Tafel-, Guß-, Profilglas usw. in Verwendung. Emaille als glasig erstarrte Masse auf Werkteile aufgeschmolzen	Glas u.U. direkt möglich. Emaille im Einzelbestand möglich. Im Werkteilverbund schwierig.	Glas kaum deformierbar. Neue Zuschneidemöglichkeit. Weitere Emaillevorbehandlung kaum möglich.
17	Kunststoffe	Polymere organische Stoffe. Vielseitige Anwendung von Röhren, Tragwerken, Folien, Vergußmassen, Anstriche u.ä.	Außer in Folien, Vergußmassen oder Anstrichextrakten möglich	Umformen zum Teil möglich, granulieren
18	Bitumen, Teer, Pech	Alle drei Stoffe gelten als bituminös und verhalten sich thermoplastisch. Anwendung im Straßenbau, als Trägermaterial, Dichtungsmaterial, Spachtelmassen u.ä.	In Verbindung mit Straßenbaumaterial oder Trägermaterial nach Ausbau direkt möglich	Dichtungsmassen in neuer Aufbereitung möglich
19	Klebstoffe, Kitte, Spachtelmassen	Klebstoffe in pastenförmiger Gemengeform, Kitte in Knetform, Spachtelmassen als pastöse Stoffe	Klebstoffe und Spachtelmassen nicht direkt zurückgewinnbar. Kitte durch Versprödung genauso schwierig	Aufbereitung von Kittten kaum möglich
20	Anstrichstoffe	Stoffgemenge in flüssiger bis pastenförmiger Aufbereitung von Kalkfarben, Silikaten, Leimfarben bis Epoxidharzfarben	-	-

Tabelle 1.6: Die Gliederung der Baustoffe unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Wieder- und Weiterverwertung [34]

	Baustoff	Definition der Stoffe	Wiederverwendung	Weiterverwendung
1	2	3	4	5
1	Erdbaustoffe	Mineralische Lockerungsgesteine, industrielle Abfallprodukte wie Schlacken o.ä. bindige und nichtbindige Stoffe, für Geländeaufschüttung, Damm- und Straßenbau, Hinterfüllungen	Vom nichtbindigen Sand und Kies bis zu bindigen Stoffen wie Lehm, Schluff oder Tone direkt möglich	Trennen, Auswaschen, Reinigen, Sieben, z.B. Kiese und Sand
2	Keramische Baustoffe	Disperse natürliche oder synthetische Rohstoffe als verfestigte Formlinge gebrannt, mit dichtem und porösem Gefüge. Verwendung als Steinzeug, Schamotte, Ziegel u.ä.	Bei schadfreier Zerlegung, z.B. Dachziegel, direkt möglich	Mauerziegel mit Fugenmörtelresten reinigen; evtl. behauen, Aufbereitung zu Splitt
3	Mörtel und Betone	Plastische Massen aus Bindemitteln, Zuschlagstoffen und Anmachflüssigkeit; Mörtel als Verbindungsmittel; Putze, Estriche; Beton mit Stahl als Verbundstoff für Fundamente, Wände, Schalen	Betone in monolithischen Verbau kaum möglich. Als Fertigteile geeigneter. Großformatige Elemente für Transport und Handhabung schwerfälliger	Mörtel zermahlen, Beton zertrümmern, zerkleinern und mahlen. Betonblöcke und Tafeln für Befestigungszwecke (Deiche); Beton für Splittgewinnung
4	Natursteine	Mineralien durch geologische Vorgänge gebildet; an der Erdkruste. In Gefüge und Struktur nach Erstarrungs-, Ablagerungs-, Ausscheidungs- und metamorphen Gesteinen gegliedert	Durch Abbauen, Abnehmen, Aussieben und Sortieren möglich, z.B. Pflastersteine, Platten u.ä.	Neu bearbeiten, hauen, zuschneiden, schleifen, zerkleinern, zu Splitt und Feinzuschlagstoffen aufbereiten
5	Mineralische Bindemittel	Erhärtungswirksame Hydrate als feingemahlene Gemenge von Kalcken, Mischbindern, Gipsen bis zu Zementen als Mörtel und Bindemittel	Gips, Kalk oder Zementmischungen abgeben direkt nicht verwendbar	Zermahlen möglich - Mehl -
6	Zuschlagstoffe	Füllstoffe für die Beton- und Mörtelherstellung, vom Feinsand über Kiese, Splitt und Schotter verwendbar	In ungebundener Form gereinigt direkt verwendbar	Zerkleinerung, brechen und mahlen in abgestufter Sieblinie
7	Anmachflüssigkeit und Zusatzmittel	Als Kitt- und Wirkstoff eingesetzt in chemischer und/oder physikalischer Wirkung	In Verbindungen nicht zurückgewinnbar	-
8	Stahl	Als kristalliner Stoff; in legierte und unlegierte Stähle geteilt. Baustähle in Stab- und Mattenform; Träger, Stützen u.ä. geformt	In ausgebauter Form unter Berücksichtigung der Streckgrenzen und Verformung möglich. Verbaute Betonstähle schwer auslösbar.	Durch Umformung begrenzt möglich Zuschneiden
9	Guß Eisen	Graues Gußeisen und duktiles Gußeisen als Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, Formgebung durch Gießen. Im Bauwesen meist unlegierter Grauguß für Rohre, Heizkörper, Formstücke	In ausgebauter Form von Rohren u.ä. direkt möglich	Kalt- und Warmformen fast nicht möglich

1.3 Genehmigungsvoraussetzungen für Bauschutt-Recyclinganlagen

Anlagen zur Aufbereitung von Bauschutt sind nach dem Bundesimmissionsschutz Gesetz genehmigungsbedürftig. Da diese Anlagen nicht in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umweltauswirkungen hervorzurufen (Genehmigung nach dem § 4 BImSchG) werden diese gemäß § 19 BImSchG nach dem vereinfachten Verfahren genehmigt. In der 4. Durchführungsverordnung zum BImSchG ist weiter konkretisiert: „Die Errichtung und der Betrieb der im Anhang genannten Anlagen bedürfen einer Genehmigung ... wenn sie länger als 6 Monate an demselben Ort betrieben werden. Gemäß § 2, 4. DVO werden unter Ziffer 2.2 in Spalte 2 Anlagen zum Brechen, Mahlen oder Klassieren von natürlichem oder künstlichem Gestein einschließlich Schlacke und Abbruchmaterial ... genannt.“

Dem vereinfachten Genehmigungsverfahren unterliegen somit stationäre, semimobile und mobile Anlagen, sofern sie länger als 6 Monate an einem Ort betrieben werden.

Im allgemeinen treten die staatlichen Gewerbeaufsichtsämter als Genehmigungsbehörde auf. Für Bauschutt-Recyclinganlagen gelten zudem die Zulässigkeitsvoraussetzungen des § 35 Abs. 2 des BBauG.

Der Standort ist mindestens im Gewerbegebiet (GE-Gebiet) oder Industriegebiet (GI-Gebiet) zu wählen. Darüberhinaus sollte der Standort einen ausreichenden Abstand zu Wohngebieten haben, so daß die Tag-Lärm-Immissionsrichtwerte gemäß TA-Lärm unterschritten werden (siehe Punkt 4.1). Im anderen Fall sind Ausnahmegenehmigungen durch Einrichtungen von Lärmschutzwällen möglich.

Die Emissions-Grenzwerte für staubförmige Emissionen nach TA-Luft sind einzuhalten.

Bauschutt-Recyclinganlagen, die max. 6 Monate am selben Ort betrieben werden, gelten als Baumaschinen, auf die die Vorschriften über Baulärm Anwendung finden. Im Regelfall ist hier keine Baugenehmigung, sondern eine einfache Betriebsgenehmigung erforderlich. Ausnahmen können aufgrund der zu lagernden Menge an Bauschutt und an aufbereitetem Material notwendig werden.

Für diese Anlagen muß ein TÜV-Gutachten sowie bei von der Straßenverkehrsordnung abweichenden Anlagen eine zusätzliche Genehmigung vom Straßenverkehrsamt beigebracht werden [115].

1.4 Genehmigungsvoraussetzungen für Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe

Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen einschließlich Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen sind nach dem Bundesimmissionsschutz Gesetz genehmigungsbedürftig.

Anlagen, die länger als 12 Monate an einem Ort betrieben werden, sind nach dem Verfahren der §§ 4, 10 ff des BImSchG zu genehmigen. Semimobile und mobile Anlagen mit Standzeiten unter 12 Monaten werden nach dem vereinfachten Verfahren des § 19 BImSchG genehmigt. (Siehe 4. DVO zum BImSchG Ziffer 2.15, Spalte 1 stationäre Anlagen, Spalte 2 semimobile und mobile Anlagen).

Die Zulässigkeitsvoraussetzungen des BBauG und die Vorschriften der TA-Lärm gelten zudem. Beim Betreiben der Anlagen sind die Emissions-Grenzwerte nach der TA-Luft und die Liste der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen von 1987 zu beachten. Siehe dazu auch Kapitel 4.

2. Technische Grundlagen und Verfahren zur Aufbereitung von Baurestmassen

Ziele des Recyclings von Baurestmassen sollten sein, wertvolle Rohstoffe sowie Deponieraum einzusparen und gleichzeitig ein Produkt von hoher Qualität für den Einsatz im Hoch- und Tiefbau zu gewinnen. Die in diesem Zusammenhang eingesetzten Verfahren sollten sich schwerpunktmäßig an diesen Vorgaben orientieren.

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 alltäglichen Praxis in der Rohstoffaufbereitung gehören. Entscheidend für den Recyclingerfolg ist daher weniger die Neuentwicklung der Maschinenteknik als vielmehr die richtige Zusammensetzung der Einzelkomponenten [63].

2.1 Erdaushub

Da der Erdaushub in Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten weitgehend aus unterschiedlichen Bodenarten mit steinig oder felsigen Anteilen besteht, werden für die Aufbereitung lediglich Aufgabetrichter mit Abscheiderosten sowie Siebanlagen benötigt. Der Abscheiderost über dem Aufgabetrichter ist erforderlich, um im Erdaushub enthaltene größere Fremdbestandteile von den Siebflächen fernzuhalten. Die Absiebung erfolgt im allgemeinen bei 8 bis 10 mm, wenn ein reines Feinkorn gewonnen werden soll. Bei Verwendung des Erdaushubs für die Hinterfüllung von Bauwerken oder Auffüllung von Baugruben erfolgt die Absiebung bei 20 oder 30 mm. Transportbänder befördern das Verfüllmaterial auf Halden oder in Silos.

2.2 Bauschutttaufbereitung

Grundsätzlich lassen sich Anlagen zur Aufbereitung von Baurestmassen nach den drei folgenden Kriterien unterscheiden:

- Anlagenart (Mobilität),
- Art der Zerkleinerung,
- Verfahrenskonzept bei der Aussortierung der Fremdstoffe.

Hinsichtlich der Anlagenbauweise werden am Markt mobile, semimobile und stationäre Anlagen mit Durchsatzleistungen von 50–400 Mg/h angeboten, wobei Anlagen mit 100–150 Mg/h dominieren [22].

Für die Zerkleinerung werden vorrangig Backenbrecher, Schlagwalzenbrecher und Prallbrecher eingesetzt. Neben der einstufigen Zerkleinerung (mit einem Brecher, meist Prallbrecher) setzen sich in der Praxis zunehmend zweistufige Zerkleinerungsanlagen mit Vor- und Nachbrechern durch. Die Vorzerkleinerung erfolgt hier meist mittels eines Backenbrechers, während Prallmühlen oder Kegelbrecher die Nachzerkleinerung übernehmen [96].

Zur Aussortierung der Störstoffe werden derzeit sowohl Trocken- als auch Naßverfahren angeboten. Die Trok-

kensichtungsverfahren arbeiten nach dem Prinzip der Gleichfälligkeit, um Störstoffe aus dem Materialstrom zu entfernen. Bei dem Naßverfahren wird das vorzerkleinerte Material durch ein Wasserbad geführt. Die Trennung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Gewichte. Mineralischen Bestandteile setzen sich ab, die spezifisch leichteren Stoffe wie Papier, Holz, Kunststoff etc. schwimmen auf und können mittels Abschwemmdüsen ausgetragen werden.

In der Aufbereitungstechnik werden die Anlagen entsprechend des Grades der Transportfähigkeit (Mobilität) unterschieden:

- mobile Anlagen
- semimobile Anlagen
- stationäre Anlagen

Ob eine Anlage mobil, semimobil bzw. stationär ausgelegt wird, ist von diversen Einzelfaktoren abhängig, die im folgenden kurz angerissen werden sollen.

2.2.1 Anlagentypen

Mobile Anlagen

Mobile Anlagen sind insbesondere für den direkten Einsatz auf Baustellen (z.B. Autobahnbau, Industriebauabbruch) und für Einzugsgebiete mit geringem Bauschuttaufkommen pro Ablagerungsplatz (schneller Wechsel der Einsatzorte) geeignet. Die einzelnen Komponenten einer Aufbereitungsanlage (Absiebung, Zerkleinerung, Eisenseparation) sind hierbei auf einer Transporteinheit (Sattelaufleger, Anhänger) zusammengefaßt. Ein Radlader beschickt die Anlage und sorgt auch für die Verladung der Endprodukte. Zur Entlastung der Fahrgestelle und zur Erhöhung der Standsicherheit stehen die Anlagen während des Betriebes auf integrierten Stützen. Für den Betrieb mobiler Anlagen sind gemäß § 16 Gewerbeordnung (GewO) für befristete Zeiträume (12 Monate) Betriebsgenehmigungen einzuholen.

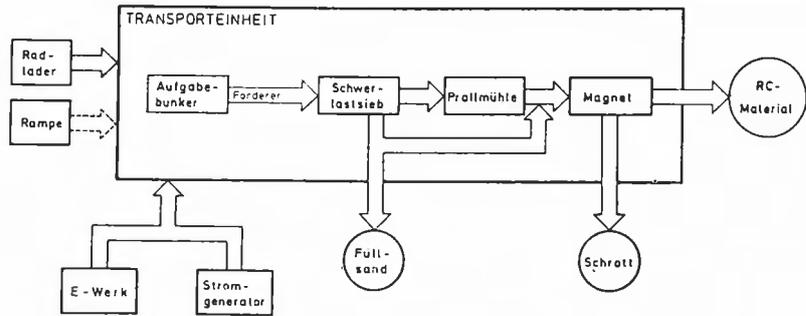
Mobile Anlagen unterliegen weiterhin den Anforderungen der Straßenverkehrszulassungsverordnung (StVZO). Für Auf- und Abbau der Anlagen können durchschnittlich 1–2 Tage veranschlagt werden.

Nachteile mobiler Anlagen sind

- die hohen Betriebskosten (Transport, Montage, Auslösung des Personals);
- die beschränkte Produktpalette;
- die schwierige Kontrolle des angelieferten Bauschutts;
- das begrenzte Anlagenkonzept (teilweise fehlende Klassier- und Sortieraggregate);
- der größere Planungsaufwand bei laufendem Einsatz
- sowie die Sicherstellung einer optimalen Ausnutzung.

In Bezug auf den Umweltschutz können insbesondere durch Staub- und Schallemissionen größere Probleme auftreten.

Bild 2.1:
Funktionsschema einer mobilen Anlage [92]



Demgegenüber stehen diverse Vorteile, wie z.B. [96]

- geringer Aufwand für die Platzvorbereitung;
- vereinfachtes Genehmigungsverfahren;
- geringe Transportkosten des Altmaterials und des wiederaufbereiteten Recyclingbaustoffes;
- Möglichkeit des Einbaus an Ort und Stelle (Straßenbau) oder der Verfüllung des Baugeländes (Industriebau).

In Bild 2.1 ist das Funktionsschema einer mobilen Anlage dargestellt.

Diese Anlagen bestehen meist aus einem Aufgabebetrieb-

ter mit Fördereinrichtung sowie teilweise integrierter Vorabsiebung und der Brecheinheit.

In Bild 2.2 ist eine mobile Bauschutttaufbereitungsanlage der Fa. Orenstein & Koppel dargestellt.

Der Aufgabebunker der Anlage vom Typ S-5-C 100/125 besitzt einen Rauminhalt von 7 m³. Als Zuförderer zur Vorsiebstation ist ein Obertraggörderer installiert. Über ein Schwingsieb wird das Feinkorn abgetrennt, während das Überkorn in den nachgeschalteten Prallbrecher gelangt. Das Transportgewicht der 4-achsigen Anlage beträgt ohne Zugmaschine 48 Mg.

Bild 2.2:
Mobile Bauschutttaufbereitungsanlage der Fa. Orenstein & Koppel mit einem Durchsatz von 100–120 Mg/h.

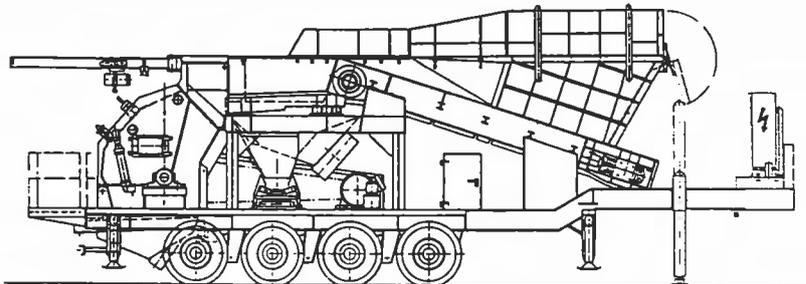
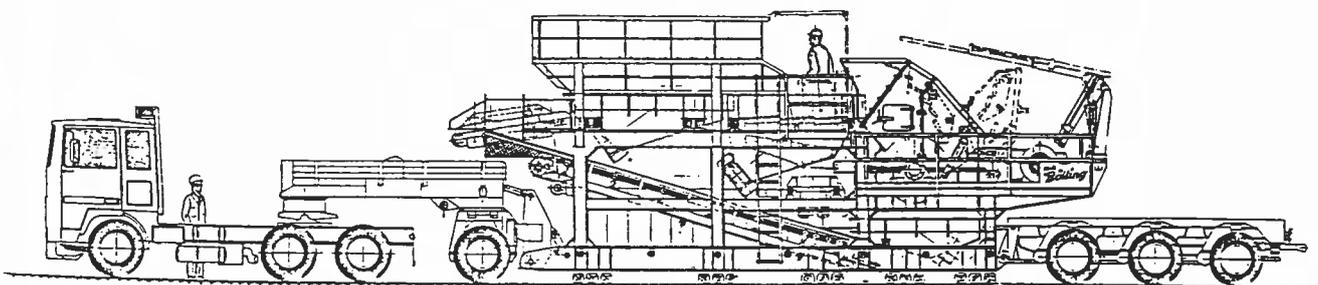


Bild 2.3 zeigt eine mobile Bauschutttaufbereitungsanlage der Fa. Aulmann & Beckschulte. Die Anlage ist auf eine Stahlkonstruktion montiert, die auf einen Tieflader gestellt transportiert werden kann. Entsprechende Versorgungsleitungen für die Hydraulik und Pneumatik sind integriert. Die Anlage ist auf einen Durchsatz von maximal 150 Mg/h ausgelegt. Das Transportgewicht beträgt ohne Tiefladersattelanhänger 45,2 Mg.

Eine Weiterentwicklung der mobilen Anlagenkonzeption stellen die vollmobilen Bauschutttaufbereitungsanlagen dar, die auf Raupenfahrwerken montiert sind. Diese können durch den Eigenantrieb im schreitenden Betrieb z.B. bei der Autobahnsanierung eingesetzt werden. Bild 2.4 zeigt die Recyclingraupe der Fa. Orenstein & Koppel. Durch das Raupenfahrwerk ist eine eigenständige Fortbewegung der Anlage je nach Fortgang der Ab-

Bild 2.3: Mobile Bauschutttaufbereitung von Aulmann & Beckschulte auf einem Tieflader mit einem Durchsatz bis ca. 150 Mg/h



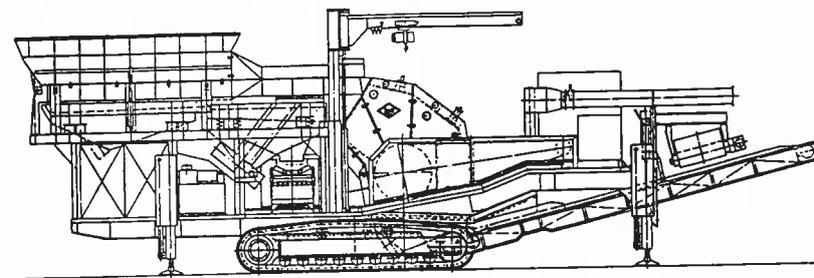


Bild 2.4:
Mobile Recyclinganlage mit Raupenfahrwerk der Fa. Orenstein & Koppel

bruchbaustelle (z.B. Straßenbau) möglich. Der Transport der Raupe kann auf branchenüblichen Tiefladern erfolgen (s. Bild 2.5).

Das aufzubereitende Material wird mit einem Bagger oder Lader auf eine Schwingförderrinne aufgegeben. Ein Schwingsieb sibt das Feingut aus, während das Überkorn mit einer Prallmühle auf die gewünschte Korngröße zerkleinert und mit einer Schwingförderrinne in Drehrichtung des Rotors ausgetragen wird. Von dort aus gelangt das Material auf einen Gurtförderer und kann zur weiteren Klassierung einer Siebmaschine zugeführt werden. Über dem Förderbandkopf ist ein Magnetscheider in För-

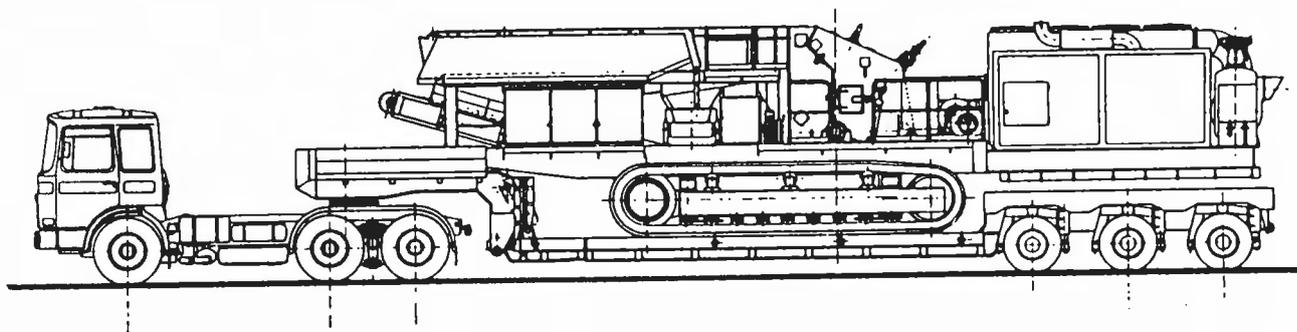
derrichtung angeordnet. Das Überkorn kann vom Bagger wieder der Prallmühle aufgegeben werden.

Semimobile Anlagen

Semimobile Anlagen bestehen aus mehreren transportfähigen Einheiten. Die Hauptaggregate (Vorabscheidesieb und Brecher) sind auf eine Stahlkonstruktion mit Kufen montiert. Für den Transport werden die Einzelteile demontiert und mittels Kränen auf Tieflader gezogen bzw. verladen.

Hinsichtlich der Genehmigung gelten in der Bundesrepublik Deutschland dieselben Vorschriften wie für mobile Anlagen.

Bild 2.5: Transport der Recyclinganlage mit Raupenfahrwerk auf einem Tieflader (Fa. SMAG Hazemag)



Obwohl generell von den Herstellern keine Fundamente für erforderlich gehalten werden, haben Betriebserfahrungen mit mobilen und semimobilen Anlagen gezeigt, daß aus Standsicherheitsgründen der Einbau von Fundamenten sinnvoll ist.

Vor- und Nachteile der semimobilen Anlagen entsprechen denen der mobilen. Allerdings treten bei ersteren

niedrigere Investitionskosten auf. Auf der anderen Seite muß jedoch mit einer längeren Montagezeit gerechnet werden.

Bild 2.6 zeigt das Funktionsschema einer semimobilen Anlage. Durch die Möglichkeit der Installation von manuellen Lesestationen, Nachsieveinheiten und Magnetscheidern können in semimobilen Anlagen höhere Produktqualitäten erreicht werden.

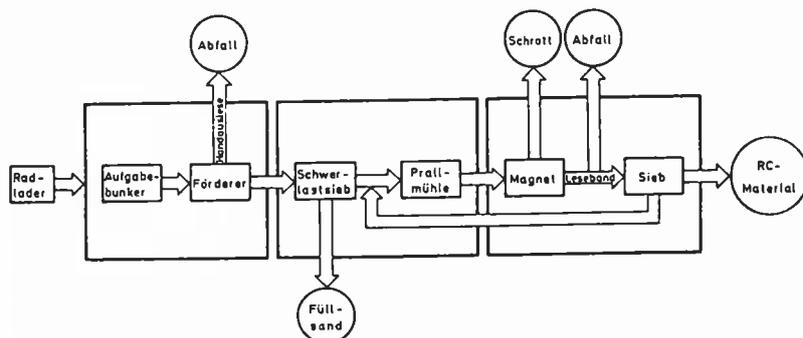
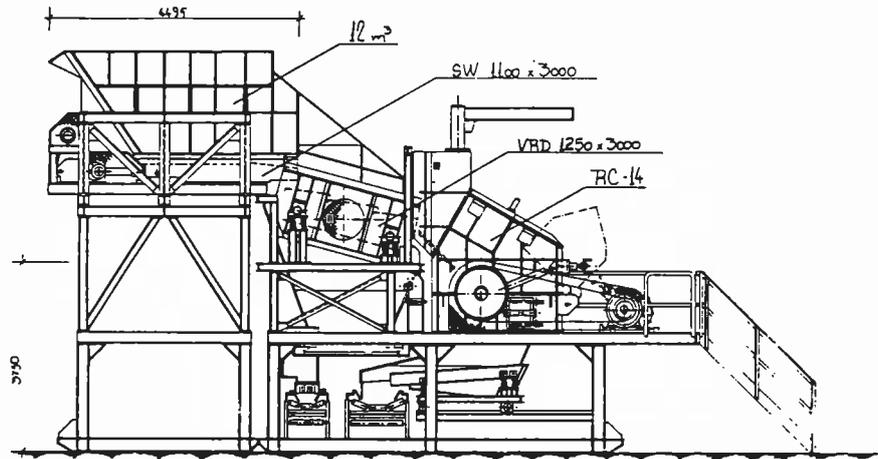


Bild 2.6:
Funktionsschema einer semimobilen Anlage [92]

Bild 2.7:
Semimobile Bauschutttaufbereitungsanlage auf Kufen der Fa. Böhlinger & Ratzinger



In Bild 2.7 ist eine semimobile Baustoffrecyclinganlage der Firma Böhlinger & Ratzinger dargestellt. Bei einem Endkorn von 0 bis 56 mm erreicht die Anlage, die eine installierte Gesamtleistung von 160 kW besitzt, eine Durchsatzleistung von 200 Mg. Der Aufgabetrichter hat eine Größe von 12 m³, die Oberkante liegt etwa 7,3 m über Flur, so daß zur Beschickung des Trichters mit Radladern eine Auffahrrampe angelegt werden muß.

Das Aufgabegut wird mit einem Schubwagen dem Trichter entnommen und dem Vorsieb zugeführt. Der obere Siebbelag dieser Doppeldeck-Vibrationsiebmaschine ist stufenförmig ausgebildet, damit sich auf plattigem Material keine Feianteile ablagern können. Der Siebdurchgang des unteren Siebdecks wird im Regelfall mit einem

Bandförderer direkt zu einer Halde transportiert, während der Siebüberlauf meistens dem vom Brecher kommenden Materialstrom hinzugefügt wird.

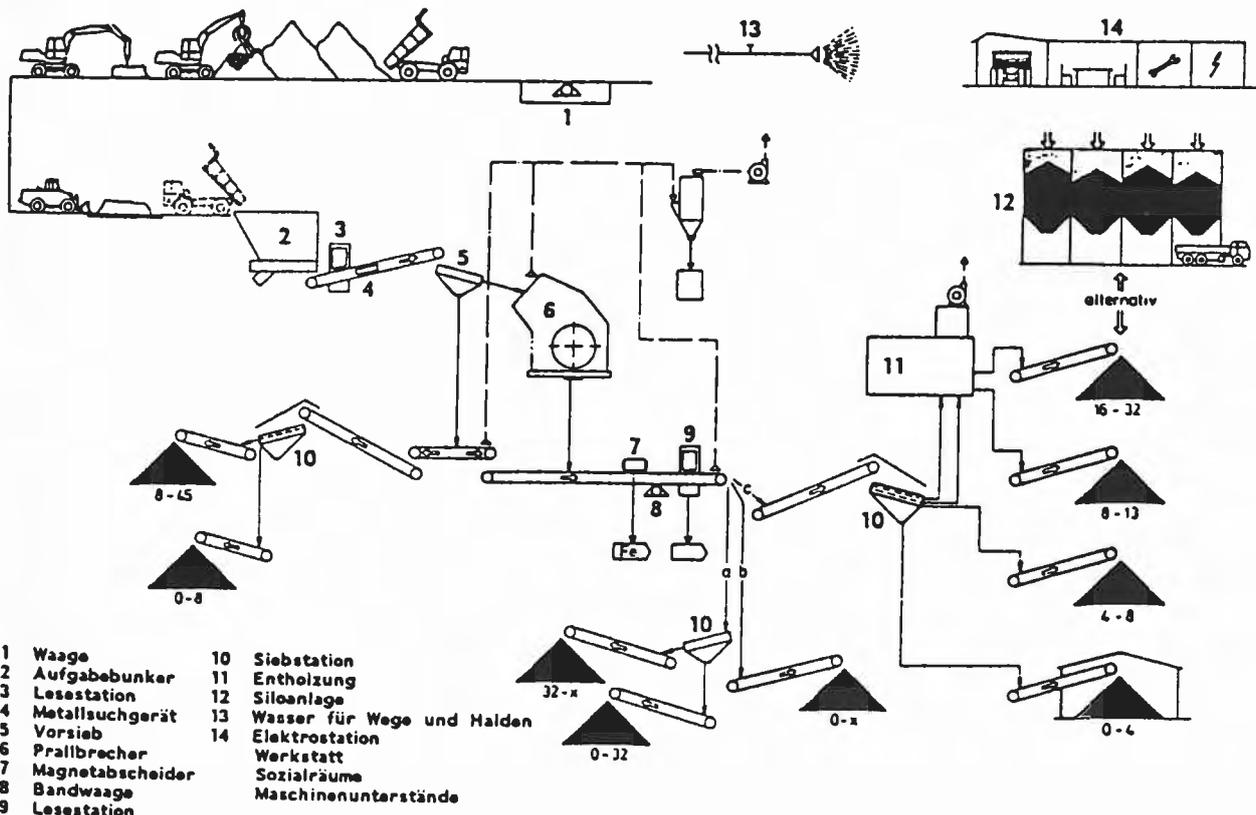
Als Zerkleinerungsmaschine dient die Prallmühle.

Stationäre Anlagen

Stationäre Anlagen erlauben aufgrund ihrer Baugröße und qualifizierter Aufbereitungstechniken die Erzeugung guter Produktqualitäten mit hohen Durchsatzleistungen. Sie sind in mobilen und semimobilen Anlagen nicht vergleichbar.

Der Einsatz von Vor- oder Nachbrechern reduziert einerseits den Verschleiß an den Zerkleinerungsaggregaten

Bild 2.8: Stationäre Recyclinganlage [49]



und erzeugt andererseits ein exakteres Kornspektrum. Darüberhinaus können durch Einbau mehrerer Lesestationen sowie zusätzlicher Sortieraggregate (Naß- und Trockensichter) Fremdstoffe wie Holz, Leichtbaustoffe und Kunststoffe, die zu einer Qualitätsminderung führen, abgetrennt werden [32,110].

Gleichzeitig lassen sich durch den Einsatz zweistufiger Brecher die Durchsatzleistungen in stationären Anlagen wesentlich erhöhen (Bild 2.8).

Für den Betrieb stationärer Anlagen, die auf Fundamenten fest installiert werden müssen, ist in der Bundesrepublik eine Baugenehmigung sowie eine Genehmigung gemäß Bundesimmissionsschutz-Gesetz oder ein Planfeststellungsverfahren gemäß Abfallgesetz erforderlich [63,115].

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 Bewässerung der Halden und Wege;
- geringere Betriebskosten, bessere Lagerung und einfachere Terminplanung durch die höhere Verfügbarkeit und bessere Ausnutzung der Anlage;
- keine Transport- und Auslösekosten für das Betriebspersonal;
- Möglichkeit der Vorsortierung auf dem Grundstück und damit gleichbleibende Zusammensetzung des Recyclingmaterials;
- die Herstellung, Bevorratung und der Vertrieb der Sekundärbaustoffe läßt die als zur Beseitigung anfallenden Baurestmassen zu einem Wirtschaftsgut werden.

Diesen Vorteilen stehen als Nachteile der nicht immer gesicherte Absatz der Produkte innerhalb des Einzugsgebietes, die aufwendigen Genehmigungsverfahren sowie die hohen Investitionskosten gegenüber.

2.2.2 Verfahrenstechnische Komponenten von Bauschutt-Recyclinganlagen

Anlagen zur Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufrubru setzen sich im Prinzip aus folgenden Einzelkomponenten zusammen:

- Aufgabebunker mit Beschickungseinheit und Brecher;
- Siebanlage zur Trennung unterschiedlicher Korngrößenklassen und Rückführeinrichtungen des Überkorns zum Brecher;
- Überbandmagnet zur Abtrennung von Bewehrungsstählen;
- Transporteinrichtungen (Förderbänder, Radlader) zur Beschickung der Anlage sowie zur Verbindung der Komponenten und zum Abtransport der Fertigprodukte.

Darüberhinaus werden folgende weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen zur Erreichung höherer Produktqualitäten beschrieben [56]:

- Aussortierung grober Teile (Balken, Bewehrungsstahl) vor der Aufgabe in den Brecher;

- Entfernung unerwünschter Stoffe wie Holz und Kunststoffe durch Naß- oder Trockensichtung.

2.2.2.1 Zerkleinerungsaggregate

Die angebotenen Zerkleinerungsaggregate stammen ursprünglich 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.

In Abhängigkeit von der Festigkeit der aufzubereitenden Materialien wird in Hart-, Mittel- und Weichzerkleinerung unterschieden. Wegen der Inhomogenität der Baurestmassen (Mischung verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Festigkeitsgraden) ergeben sich bei der Zerkleinerung mit den aus der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe übernommenen Aggregaten unterschiedlich gute Ergebnisse.

Hinsichtlich der Korngrößenbereiche des zu zerkleinerten Gutes hat sich folgende Gliederung durchgesetzt [106]:

- Grobzerkleinerung (Grobbrechen) etwa bis 100 mm obere Korngröße des zerkleinerten Gutes
- Mittelzerkleinerung (Feinbrechen) etwa bis 10 mm obere Korngröße des zerkleinerten Gutes
- Feinzerkleinerung (Mahlen) Zerkleinerung im Bereich unterhalb 10 mm als obere Aufgabekorngröße

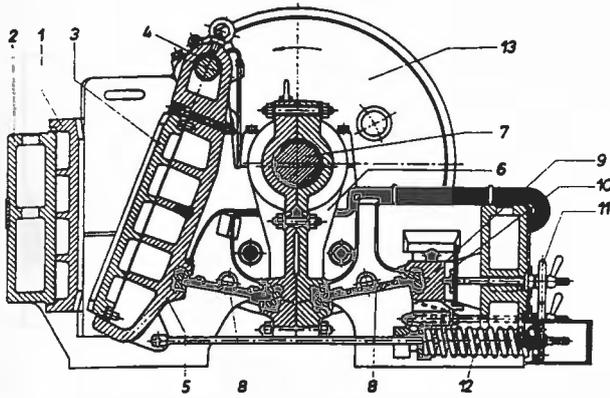
Backenbrecher

Backenbrecher werden weitgehend in stationären Anlagen eingesetzt, die über zwei Zerkleinerungsstufen verfügen, wobei der Backenbrecher als erstes Aggregat für die Vorzerkleinerung eingesetzt wird. Für die Zerkleinerung von Bauschutt werden Pendelschwingenbrecher (Doppelkniehebelbrecher), Einschwingen-Backenbrecher und Schlagbackenbrecher installiert.

Pendelschwingenbrecher

In Bild 2.9 ist schematisch ein Pendelschwingenbrecher dargestellt. Die Zerkleinerung erfolgt vor allem durch Druckbeanspruchung zwischen der festen Brechbacke (1), die im Brechergehäuse arretiert ist, und der beweglichen Brechbacke (3). Diese ist auf der um die Achse (4) drehbaren Schwinge (5) befestigt. Die Zugstange (6), die auf dem exzentrischen Teil der Antriebswelle (7) gelagert ist, bildet zusammen mit den beiden Druckplatten (8) das Kniehebelsystem. Bei einer Umdrehung der Exzenterwelle wird die Zugstange einmal gehoben und gesenkt. Dabei bewegt sich die pendelnd aufgehängte Schwinge auf die fest arretierte Brechbacke zu (Brechen des Materials). Beim Rückwärtshub rutscht das Brechgut tief in den keilförmigen Brechspalt hinein, während das zerkleinerte Material den Brecher durch den Austragspalt verläßt. Mit Hilfe einer Stellvorrichtung (11) kann die Lage des Gleitklotzes (9) und damit die Austragspaltweite verändert werden. Über die Rückholfeder (12) steht das System unter Spannung. Die Kniehebelplatten können so bemessen sein, daß diese gleichzeitig einen Überlastungsschutz darstellen. Die schweren Schwungscheiben (13) (Antriebscheiben) gleichen die stoßarti-

Bild 2.9: Pendelschwingebrecher (Doppelkniehebelbrecher) [106]



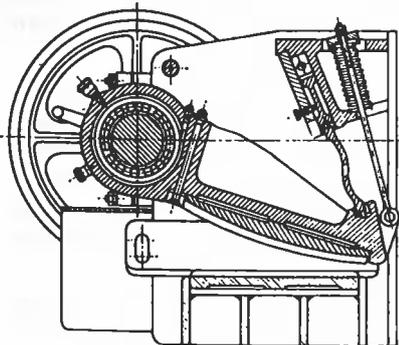
- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| (1) Gehäusebrechbacke, | (8) Druckplatten, |
| (2) Brechergehäuse, | (9) Gleitklotz, |
| (3) Schwingenbrechbacke, | (10) Zwischenlegplatten, |
| (4) Schwingenachse, | (11) Verstellvorrichtung, |
| (5) Schwingenkörper, | (12) Rückholfeder, |
| (6) Zugstange, | (13) Schwungscheiben |
| (7) Antriebswelle, | |

gen Belastungen während der Vorwärtsbewegung der Schwinge aus. Die Hubzahl der Schwinge liegt bei 180 bis 250 min^{-1} . Die Austragsspaltweite ist für die maximale Korngröße des Gutes maßgebend. Aufgrund der Zerkleinerung durch Druckbeanspruchung ist der Pendelschwingebrecher weitgehend für die Zerkleinerung von harten und mittelharten Gestein (bewehrter und unbewehrter Beton, Ziegel etc.) geeignet. [106]

Einschwinge-Backenbrecher

Ein Einschwinge-Backenbrecher (Bild 2.10) besitzt keine Zugstange. Die Schwinge ist direkt an der Kurbel der Antriebswelle aufgehängt. Am unteren Ende ist die Schwinge mit einer Druckplatte gegen einen verstellbaren Gleitklotz abgestützt. Daher führt die Schwinge im oberen Teil eine elliptische und am Austragsspalt eine beinahe lineare auf- und abwärtsgerichtete Bewegung aus, die einen schnelleren Durchfluß des Materials gewährleistet. Im Vergleich zu den Doppelkniehebelbrechern zeichnen sich die Einschwingebackenbrecher

Bild 2.10: Einschwinge-Backenbrecher [106]

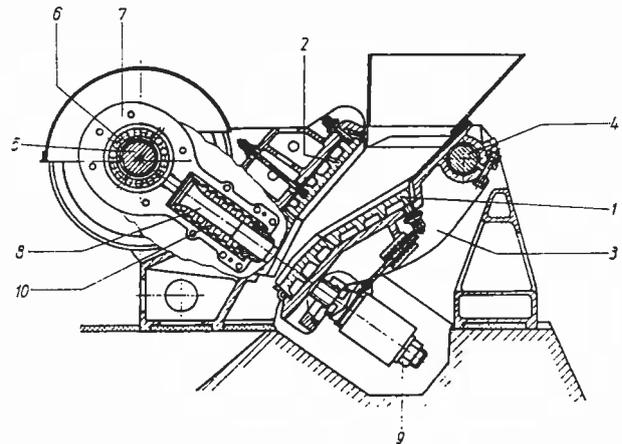


durch einen höheren Verschleiß der Brechbacken aus. Aufgrund der relativ geringen Masse und der gedungenen Bauweise werden die Einschwingebackenbrecher auch für fahrbare Brechanlagen verwendet [106].

Schlagbackenbrecher

Beim Schlagbackenbrecher erfolgt die Zerkleinerung bevorzugt durch Schlagwirkung (Bild 2.11). Den Brechraum bildet die verhältnismäßig flach liegende Schwingenbrechbacke (1) und die „überkippt“ angeordnete Gehäusebrechbacke (2). Die Schwingenbrechbacke ist auf der um die Achse (4) beweglichen „Schwinge“ (3) gelagert. Die Schwinge wird durch die Exzenterwelle (5) mittels beidseitiger Zugstangen (8) in Auf- und Abwärtsbewegungen versetzt. Die Kraftübertragung erfolgt über ein vorgespanntes Federsystem (10), wodurch ein Überlastungsschutz bei Eintritt nicht zerkleinerbarer Bestandteile gegeben ist. Die Spaltweite kann durch die Verstellmutter (9) geregelt werden. Die Hubzahl des Brechers liegt bei 400 min^{-1} . Die Wölbung der Backen sowie die zum Austragsspalt hin wachsende Hubbewegung bewirken eine gute Auflockerung des Gutes und verhindern damit ein Verstopfen im Brechraum. Durch ein mehrfaches Wenden des Gutes im Brechraum soll die Erzeugung von kubischem und scharfkantigem Korn positiv beeinflusst werden. Schlagbackenbrecher sind ursprünglich für sehr hartes Gestein konzipiert worden [106].

Bild 2.11: Schlagbackenbrecher [106]

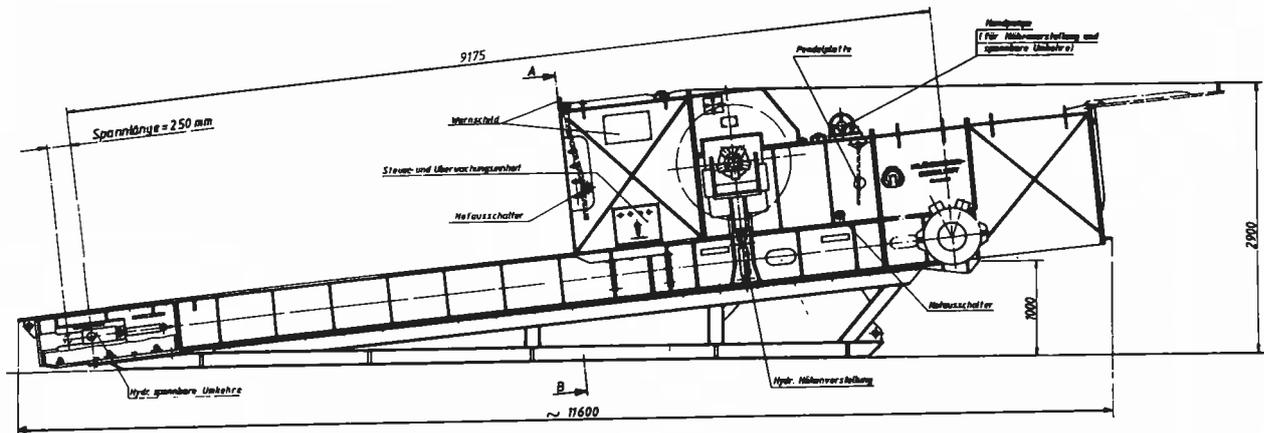


- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| (1) Schwingenbrechbacke, | (6) Pendelrollenlager, |
| (2) Gehäusebrechbacke, | (7) Zugstangengehäuse, |
| (3) Schwinge, | (8) Zugstange, |
| (4) Schwingenachse, | (9) Spaltverstellmutter, |
| (5) Exzenterwelle, | (10) Überlastungsfeder |

Backenbrecher eignen sich wegen der weitgehenden Verschleißarmut als auch wegen des verhältnismäßig geringen Zerkleinerungsgrades insbesondere für die Vorzerkleinerung von Bauschutt. Die Standzeiten der Brecherbacken liegen bei ca. 1–1,5 Jahren (ca. 300.000 Mg/a).

Die Verschleißkosten sind mit 0,04–0,05 DM/Mg Durchsatz für das Recycling relativ niedrig [88].

Bild 2.12: Schlagwalzenbrecher Fa. Klöckner-Becorit



Bei der Zerkleinerung wird ein kubisches Produkt erzeugt. Während integrierte Stähle gut freigeschlagen werden und keine Probleme bereiten, sollen bei armiertem Beton die herausstehenden Stähle vor der Aufgabe entfernt werden, um Verstopfungen im Brechmaul zu vermeiden. Nachteilig ist, daß mit Backenbrechern keine zähen Materialien wie Asphalt zerkleinert werden können, da diese insbesondere bei Sommertemperaturen zu einem Verkleben der Backen führen. Des Weiteren hat sich als nachteilig erwiesen, daß Materialien wie z.B. Gehwegplatten durch den Spalt rutschen, ohne gebrochen zu werden. Außerdem besteht eine potentielle Brandgefahr, wenn Kanthölzer zwischen den Backen hängen bleiben.

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 Pendelschwingenbrechern z.B. um 15–20% größer als die maximale Aufgabekorngröße), kann die Austragsspaltweite variiert werden [106].

Schlagwalzenbrecher

Im Gegensatz zu den Backenbrechern und den Prallbrechern handelt es sich beim Schlagwalzenbrecher (s. Bild 2.12) um einen horizontalen Brecher. Das Material wird im horizontalen Förderfluß gebrochen. Hauptkomponenten eines Schlagwalzenbrechers sind [67]

- ein Kettenkratzerförderer; dieser fördert einerseits das Haufwerk in den Arbeitsraum der über dem Förderer angeordneten Schlagwalze und transportiert gleichzeitig das gebrochene Gut aus dem Brecher heraus;
- die Schlagwalze, deren Gehäuse und Verlagerung in Verbindung mit dem Förderer stehen;
- der Regeleinrichtung, die beide Teile verbindet.

Der Kratzkettenförderer nimmt das Rohmaterial auf und führt es im horizontalen, flachen Förderstrom der Schlagwalze zu. Der Außenmantel der Schlagwalze ist mit speziellen Schlagelementen bestückt.

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 bei einigen Anlagen in Abhängigkeit von der Belastung der Schlagwalze zwischen 0 und einem Maximalwert gesteuert werden [67].

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 U/min. 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 damit nicht mit der Walze in Berührung.

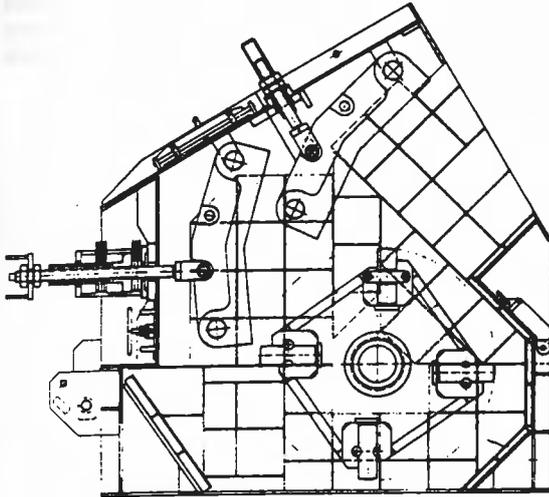
Schlagwalzenbrecher werden vornehmlich für die Vorzerkleinerung eingesetzt. Die Endkörnungen liegen in einem Bereich von 0 bis 250 mm. Um unterschiedliche Endkörnungen zu erzielen, wird die Schlagwalze in der Durchlaufhöhe angehoben bzw. abgesenkt. Zum Verstellen der Durchlaufhöhe werden die Arretierbolzen in der Verstellkonsole der Schlagwalze herausgeschlagen und die gesamte Lagerung einschließlich Walze über Hydraulikzylinder verstellt.

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. Gleichzeitig kann mit diesem Aggregat auch Asphalt zerkleinert werden.

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. Hierdurch können zeit- und kostenaufwendige Maschinenstillstände vermieden werden und eine höhere Anlagenverfügbarkeit erreicht werden.

Die Verschleißkosten für die Schlagwalzenbrecher werden mit 0,40–0,50 DM/Mg angegeben [68].

Bild 2.13: Prallbrecher Fa. Böhlinger



Prallbrecher

Der Prallbrecher (Bild 2.13) besteht aus einem mehrteiligen, aus Blech oder Profilstahl geschweißten Gehäuse, dessen Innenflächen mit Verschleißplatten (Prallplatten) belegt sind. Die schnell umlaufende Walze (500 bis 1.000 U/min) ist mit mehreren auswechselbaren Pralleisten aus verschleißfestem Stahl bestückt. Die Walze läuft in Wälzlagern, die an der Gehäusewand arretiert sind. Die Prallplatten sind hängend über Spindeln verstellbar gelagert. Sowohl der Abstand zwischen den Prallplatten und den Pralleisten als auch die Neigung der Prallplatten kann verändert werden. Bei Eintritt von nicht zerkleinerbaren Bestandteilen in den Prallraum können die Prallplatten nach oben ausweichen und die Teile nach unten ausgetragen werden. Prallbrecher werden von oben beschickt, wobei das gebrochene Gut nach unten ausgetragen wird [106].

In Bild 2.14 ist die Zerkleinerungswirkung eines Prallbrechers dargestellt.

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.

Problematisch bei der Prallzerkleinerung ist vor allem, einen möglichst hohen Anteil der Energie in Zerkleinerung umzusetzen und gleichzeitig den Reibanteil beim Eintreffen des Materials auf die Prallflächen möglichst gering zu halten. Hierdurch kann ein Verschleiß jedoch nicht ausgeschlossen werden. Die Entwicklung geht daher hin zu zwei Bauarten mit einfacherem Austauschmöglichkeiten bzw. höheren Standzeiten der Schleißteile [44].

Im Verhältnis zu Backenbrechern und Schlagwalzenbrechern sind die Anschaffungskosten für Prallbrecher bei gleicher Aufgabekorngröße und gleichem Durchsatz geringer. Allerdings ist der Verschleiß insbesondere der Pralleisten und der damit verbundene Wartungsaufwand höher. Die Standzeiten liegen bei der Aufbereitung von Bauschutt bei ca. 500 bis 800 h. Die Verschleißkosten des Prallbrechers für Altbaustoffe liegen zwischen 0,10–1,50 DM/Mg [49].

Anders als beim Backenbrecher findet jedoch beim Prallbrecher eine Zerkleinerung ohne Formzwang statt. Das Gestein zerfällt gemäß der inneren Struktur, so daß vorhandene Schwachstellen beseitigt werden [11].

Prallbrecher sind für die Zerkleinerung von Baurestmassen einschließlich Asphalt geeignet. In den meisten Veröffentlichungen bzw. Firmendruckschriften werden die Brecher als Prallmühlen bezeichnet. Es handelt sich aber aufbereitungstechnisch um Brecher und nicht um Mühlen.

Für einstufige Anlagen zur Zerkleinerung von Bauschutt und Straßenaufbruch können insbesondere Prallbrecher, die unempfindlich gegen Holz und Metallteile sind, eingesetzt werden. In zweistufigen Anlagen werden vielfach Backenbrecher bzw. Schlagwalzenbrecher installiert, während Prallbrecher die Nachzerkleinerung übernehmen. Um eine gut abgestufte Kornlinie ohne zu hohe

Bild 2.14:
Theoretische Darstellung der Prallzerkleinerung [49]

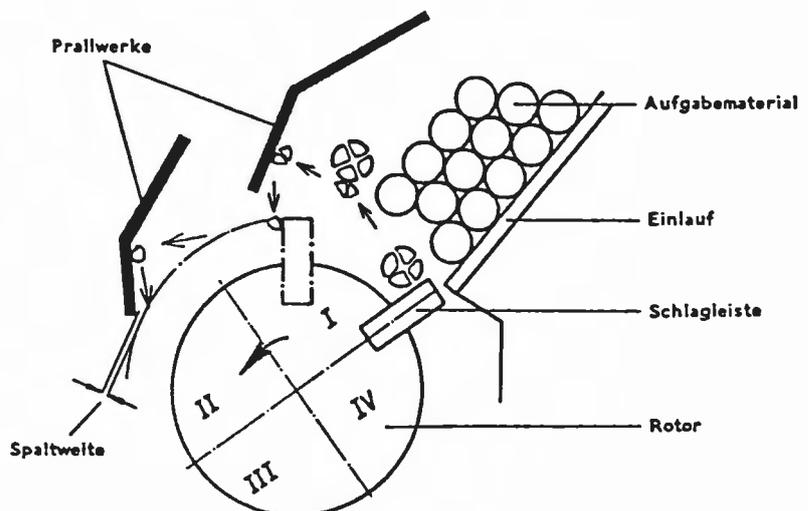
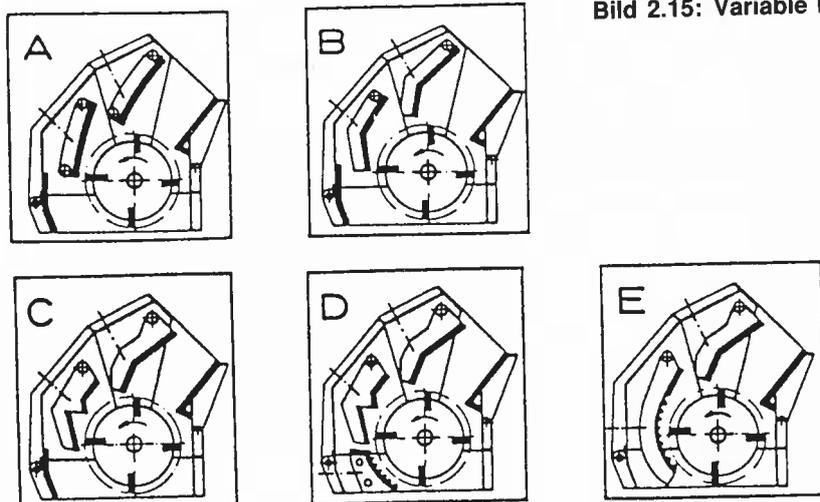


Bild 2.15: Variable Prallraumgestaltung [49]



Überkornanteile zu erhalten, sollten möglichst zwei Brecherstufen in eine Anlage installiert werden. Dabei sind jedoch die zusätzlichen Investitionskosten sowie die notwendige Energie zu kalkulieren. Darüber hinaus sind die Verschleißkosten bei einer zweistufigen Brechanlage für den zweiten Brecher geringer.

Vor- und Nachteile der Prallzerkleinerung sind im folgenden dargestellt:

Vorteile

- günstiger Energiebedarf,
- hohes Zerkleinerungsverhältnis,
- günstiges Volumen/Durchsatzverhältnis,
- große Aufgabestückgröße bei relativ kleiner Maschinenmasse,
- kubisches Produkt,
- Unempfindlichkeit gegen Fremdkörper,
- kurze Stillstandzeiten bei Verschleißteilwechsel,
- Variationsmöglichkeit der Schleißteilwerkstoffe.

Nachteile

- relativ hoher Verschleiß,
- häufige Wartungsintervalle.

Die Anpassung an das Aufgabenmaterial und das gewünschte Zerkleinerungsverhältnis wird durch eine variable Gestaltung des Prallraumes (siehe Bild 2.15) erreicht.

Der Kornaufbau kann auf einfache Weise mittels einer Verstellung der Prallwerke eingestellt werden. Wie aus Bild 2.16 zu erkennen ist, hat eine Vergrößerung des Spaltes zwischen Rotor und Prallwerk eine Vergrößerung des Kornes zur Folge [49].

Ein größerer Anteil an Feinmaterial läßt sich allerdings nur durch den Einsatz anderer Prallwerke bzw. auch mittels höherer Rotorumfangsgeschwindigkeiten erreichen. Der Einfluß der diversen Prallwerkskombinationen auf das Kornband ist aus Bild 2.17 ersichtlich.

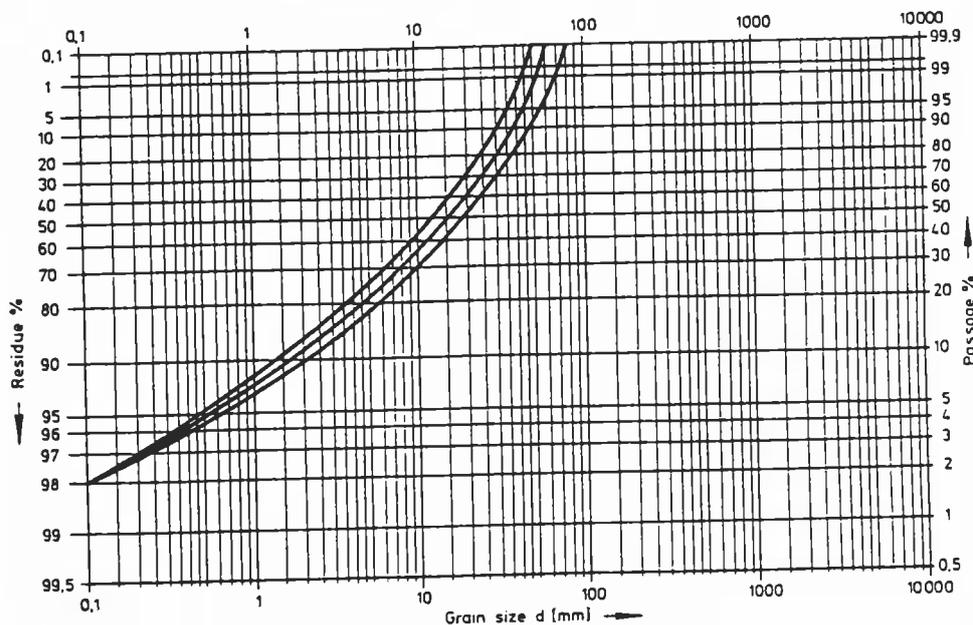
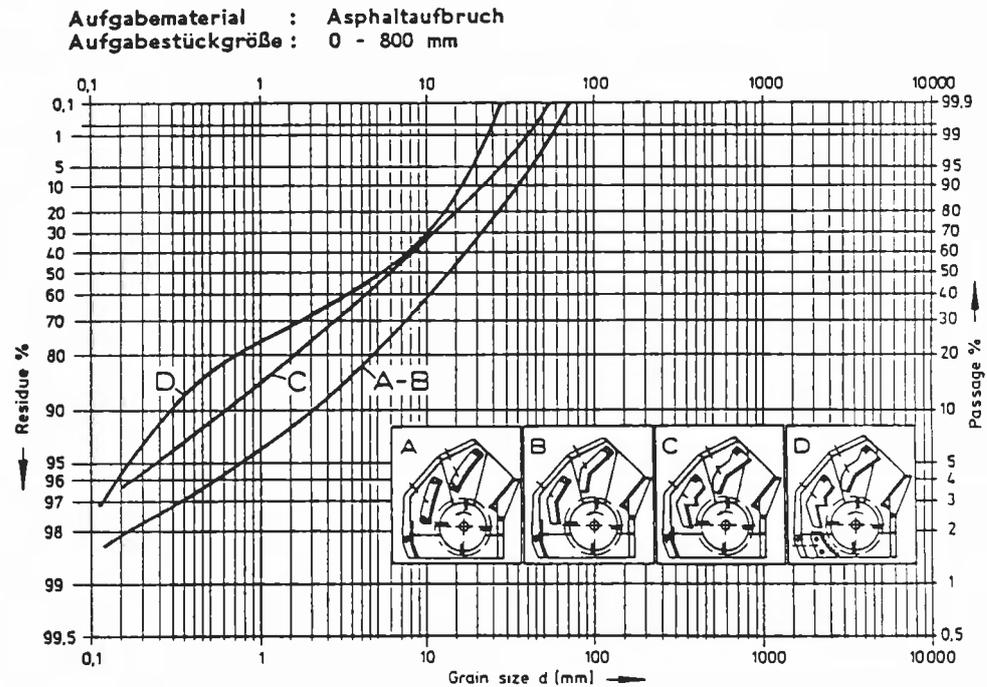


Bild 2.16: Fertigtutkörnung bei unterschiedlicher Spaltweite [49]

Bild 2.17:
Fertiguttkörnung bei
unterschiedlicher Prall-
werkskombination [49]

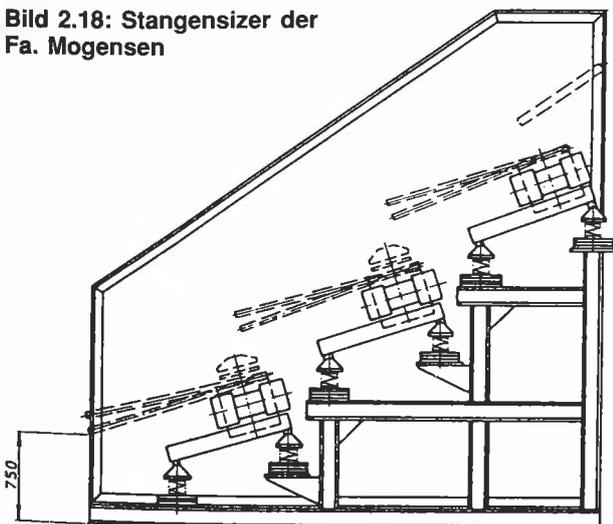


2.2.2.2 Siebanlagen

In der Bauschutttaufbereitung werden Siebaggregate sowohl zur Vorabscheidung feinkörniger Bestandteile als auch zur weiteren Klassierung (und somit Veredelung) des gebrochenen Materials in verschiedene Kornfraktionen eingesetzt.

Zur Vorsiebung wird das Material auf Vibrationsrinnen mit ein- bzw. mehrstufigen Vorabscheidern gegeben, so daß das nicht zu brechende Feinmaterial ausgetragen wird. Als Vorabscheider finden Stangensizer, Stangensizer bzw. Vibro-Stangensizer sowie Schwerlastsiebmaschinen Verwendung. In Bild 2.18 ist ein Vibro-Stangensizer der Fa. Mogensen dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine mit mehreren Stangendecks ausgerüstete Siebmaschine in einem kompakten Gehäuse, die durch Unwuchtmotoren in lineare Schwingungen versetzt werden.

Bild 2.18: Stangensizer der
Fa. Mogensen



Zur weiteren Klassierung der gebrochenen Gutes werden im allgemeinen schwingende Flachsiebe eingesetzt, die je nach Anzahl der gewünschten Korngrößenfraktionen als Eindecker, Zweidecker und in Ausnahmefällen auch als Dreidecker ausgebildet sind (siehe Bild 2.19). Der Siebkasten, der mit Bügel bzw. Spiralfedern auf dem Grundrahmen abgestützt ist, wird durch das festgelagerte Antriebsorgan in Schwingungen versetzt. Je nach Form der Schwingungsbahn wird in Kreisschwinger, Ellipsenschwinger und Linearschwinger unterschieden. Durch eine Unwuchtwellenkonstruktion wird die Siebmaschine angeregt. Hierbei kann das Sieb mittels variabler Einstellung der Schwingweite und Erregerfrequenz den speziellen Anforderungen des Siebgutes angepaßt werden.

Bei der Sortierung von Baustellenabfällen kommen speziell für diesen Anwendungsbereich konzipierte Siebtrommeln zum Einsatz, die mit Einbauten zum Fördern, Umwälzen und Sieben des Aufgabegutes ausgerüstet sind. Durch unterschiedlich gestaltete Mitnehmer werden schwere Teile intensiv umgewälzt und leichtere (Papier, Kunststoff) aus dem Materialbett herausgehoben. Der Siebwirkungsgrad kann durch Verstellung des Neigungswinkels beeinflußt werden.

Am Trommelanfang können je nach Erfordernissen verschiedene Siebroste installiert werden. Im Regelfall ist die Trommelsiebmaschine mit innen- und außenliegenden Reinigungsbürsten versehen. Als nachteilig muß der erschwerte bzw. aufwendige Zugang in das Trommelinnere bei Wartungs- und Reparaturarbeiten angesehen werden.

Zur Trennung von unsortierten Baustellenabfällen ist wegen des problemlosen, verstopfungsfreien Betriebsablaufs von der Fa. Bezner ein Bechersieb entwickelt worden. Das abzutrennende Feingut fällt nicht durch Siebmaschen, sondern wird in Bechern (rechteckigen Kassetten) aufgenommen und am höchsten Punkt der Maschine über eine Rutsche ausgetragen.

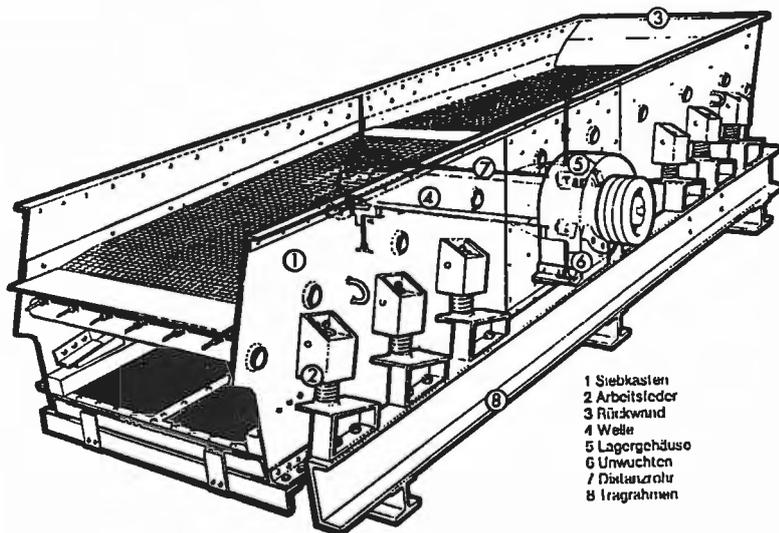


Bild 2.19:
Niagara-Freischwinger als Zwei-
decker mit Tragrahmen
(Fa. Haver & Boecker)

Die Arbeitsweise des Aggregates entspricht der einer Siebmaschine. Im Gegensatz zu Trommelsiebmaschinen ist das Bechersieb nach oben offen und im Bereich der wirksamen Siebfläche in Form einer Welle ausgebildet.

Das Grobgut rutscht in Neigungsrichtung des 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 (siehe auch Kapitel 2.4).

2.2.2.3 Transporteinrichtungen

Bei der Beschickung der Zerkleinerungsaggregate sowie für den Transport des gebrochenen bzw. gesiebten Materials innerhalb der Aufbereitungsanlage finden Kratzkettenförderer, Plattenbänder und Gurtförderer sowie Schwingförderrinnen Anwendung.

Die Aufgabe des zu brechenden Gutes erfolgt weitgehend mit Radladern. Bei einer Beschickung ohne Rampe tritt ein Höhenunterschied zwischen dem Aufgabetrichter und dem Brecher bzw. der Vorsiebstation auf, der nur mittels eines kostenintensiven Stahlplattenbandes zu überwinden ist. Entfällt durch Einbau einer Rampe diese Höhendifferenz, können als Zuteilgeräte auch Schwingförderrinnen oder Schubaufgeber installiert werden. In vielen Fällen ist der Aufgabetrichter bereits mit Stufenrosten zur Vorabsiebung ausgestattet, so daß das zu brechende Material direkt über Schurren in den Brecher gelangt. Die Einrichtung eines Lesebandes vor der Siebung bzw. dem Brecher ist als günstig anzusehen, da dies zum frühzeitigen Ausscheiden von großen Holzstücken, Metallteilen etc. und daher zur Verbesserung der Produktqualität beiträgt [11].

Bei Installation eines Prallbrechers ist darauf zu achten, daß die Zuförderer in der Lage sind, mindestens das 1,5-fache der Nennleistung des Prallbrechers zu transportieren, um auch bei leicht brechbarem Material eine optimale Ausnutzung des Brechers zu gewährleisten. Abförderer sollten in der Leistung auf das 2-fache der Prallbrecher Nennleistung ausgelegt werden [49].

2.2.2.4 Magnetscheider

Elektro-Magnet-Bandscheider werden über dem Materialstrom angeordnet und ermöglichen die Ausscheidung der durch den Zerkleinerungsvorgang freigeschlagenen Bewehrung sowie Eisenteile.

Der Magnetscheider kann sowohl quer als auch längs zur Förderrichtung angeordnet sein. Das Eisen wird demnach entweder in Fortsetzungsrichtung des Förderbandes oder zur Seite in einen Container ausgetragen.

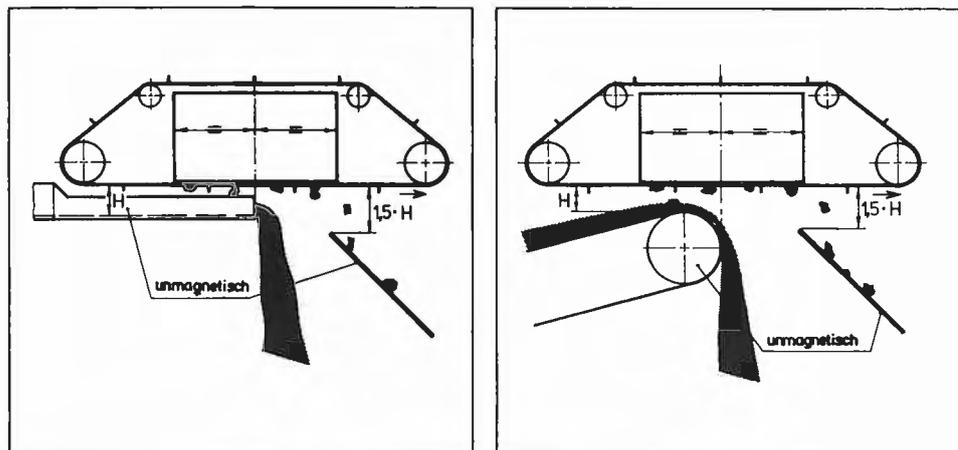
Die in Bild 2.20 dargestellte Anordnung des Magneten längs über der Schwingförderrinne gestattet eine günstige Eisenausscheidung durch Materialauflockerungen und geringe Fördergeschwindigkeit. Bei Vorkommen langer und sperriger Eisenteile wird die in Bild 2.20 gezeigte Anordnung empfohlen. Die Anordnung quer über dem Förderband ist in Bild 2.21 dargestellt. Bei Förderbandneigungen bis 30° ist ein Einbau ohne Schwierigkeiten möglich. Der Wirkungsgrad ist bei Längsanordnung höher, da die Entfernung von Eisenbestandteilen aus dem fallenden Gut an einer Übergabestelle in Förderrichtung erfolgt.

In Anlagen mit zweistufiger Zerkleinerung kommen vielfach zusätzlich Metallsuchgeräte zum Einsatz, die zur Anzeige von metallischen (auch nichtmagnetischen) Fremdkörpern dienen. Hierdurch sollen nachfolgende Zerkleinerungseinrichtungen (z.B. Prallbrecher) vor Beanspruchung und Schäden geschützt werden. Die Störstoffe werden durch kurzfristiges Anhalten des Förderbandes oder durch akustisches Signal angezeigt und manuell entfernt.

2.2.3 Abscheidung von unerwünschten Bestandteilen

Das Ziel einer weitergehenden Aufbereitungstechnik besteht hauptsächlich in der Abtrennung störender Leichtfraktionen. Als Verfahrenskonzepte zur maschinellen Aussortierung stehen derzeit das Trocken- und das Naßverfahren zur Auswahl. Die Installation derartiger Aufbereitungstechniken ist dringend erforderlich, wenn eine höherwertige Verwendung des Körnungsgemisches z.B. als Betonzuschlag oder als Frostschutztragschicht angestrebt wird [39].

Bild 2.20:
Anordnung längs
über der Schwung-
rinne und unmagne-
tischer Endbandrolle



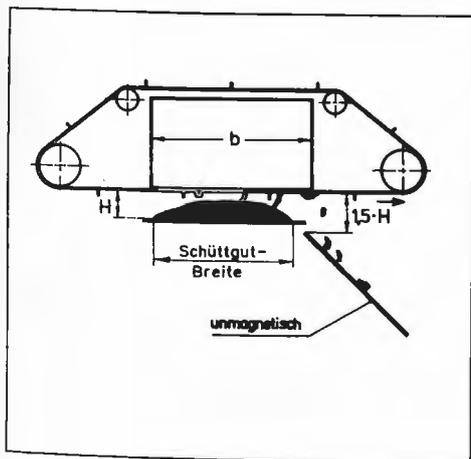
2.2.3.1 Naßsichtung

Bei den Verfahren zur Naßaufbereitung werden physikalische Eigenschaften zur Trennung von leichten und schweren Stoffen angewandt. Die Sinkgeschwindigkeit der Partikel ist vom Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen abhängig. Die unterschiedlichen Dichten der Partikel können zur weiteren Trennung ausgenutzt werden. Der Bauschutt wird mittels Förderbändern bzw. einer mit Spiralen und Schwertern besetzten Schneckenwelle in Gegenstromrichtung durch ein Wasserbett geführt, in dem die spezifisch leichten Stoffe (Holz, Kunststoffe, Papier, Leichtbaustoffe etc.) aufschwimmen. Durch installierte Düsen werden diese abgespült und ausgetragen, während Teilchen mit einer Dichte $> 1 \text{ g/cm}^3$ (mineralische Fraktion, Glas, Keramikstücke) absinken und an anderer Stelle abgeführt werden können.

Die Trennung bzw. Verweilzeit kann durch Variation der Strömungsgeschwindigkeit und des Wasserstandes eingestellt werden.

Die für den Waschvorgang benötigte Wassermenge darf, um ein Verstopfen der Düsen zu verhindern nur kleinere Verunreinigungen bis zu einem Korndurchmesser von 4–5 mm enthalten. Das Wasser wird in einem oder mehreren Becken gesammelt und im Kreislauf geführt.

Bild 2.21: Anordnung quer über dem Förderband



Aquamator

Das zur Sichtung aufzugebene Material sollte auf 6–45 mm beschränkt werden. Beim Aquamator (Bild 2.22) gelangt das Bauschutt-Wassergemisch über eine Einspülschurre in das Trenn- bzw. Waschbett des Aquamators. Dieses setzt sich aus seitlich aufvulkanisierten Wellkanten und unter dem querstabilen Gurt angeordneten, einstellbaren Tragrollenstationen zusammen.

Die leichten, aufschwimmenden Anteile werden mittels installierter Düsen zum Fuß des Aquamators (Spanntrommel) geschwemmt und über ein Entwässerungssieb ausgetragen. Die mineralischen Bestandteile bleiben auf dem Gurtband liegen und werden entgegen der Wasserfließrichtung gleichfalls über ein Entwässerungssieb auf einen Gurtförderer geleitet.

Der spezifische Bedarf an Kreislaufwasser eines Aquamators wird mit $1 \text{ m}^3/\text{Mg}$ Baustoff angegeben [12]. In Abhängigkeit von der Größe des Kreislaufbeckens und der durchgesetzten Menge muß der Schlamm nach ca. 1–4 Wochen abgepumpt werden. Die durch Verdunstung und Haftwasser dem Kreislauf entzogene Menge muß in Form von Frischwasser nachgeliefert werden. Die Reinigung des Washwassers ist ein mehrstufiger Prozeß, der beispielhaft in Bild 2.23 dargestellt ist.

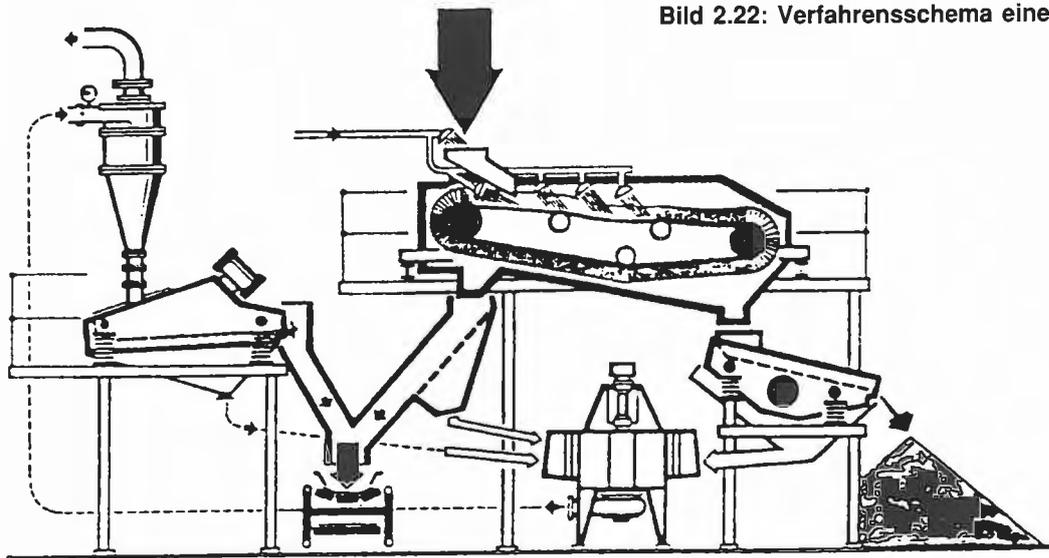
Die Unterläufe des Produktionsaustrages sowie des Washwassers werden einer Feststoffpumpe zugeführt, die das Gemisch mit Druck in einen höherstehenden Zyklon fördert. Während der Zyklon-Überlauf als Washwasser aufbereitet wird, gelangt der Unterlauf zur Entwässerung und wird wahlweise der gewaschenen Körnung zugeschlagen.

Schnecken-Aufstrom-Sortierer

Der Schnecken-Aufstrom-Sortierer besteht hauptsächlich aus dem schräg ansteigenden Schnecken- oder Wassertrog, der darin laufenden Schneckenwelle und dem Antrieb durch Getriebemotor.

Durch die Bestückung der Schneckenwelle mit Schnecken und Schneckenspiralen wird eine intensive Durchmischung und Auflockerung des zu trennenden Materials gewährleistet. Mittels Aufström- und Wasserbeschleunigungsdüsen gelangen die Störstoffe an die Wasserober-

Bild 2.22: Verfahrensschema eines Aquamators [12]



fläche, von wo diese entgegen der Materialförderichtung über ein variables Überstromblech ausgetragen werden. Das gereinigte mineralische Produkt wird durch die im letzten Drittel der Welle angebrachte Schneckenspirale herausbefördert und gleichzeitig entwässert [78]. In den Bildern 2.24 und 2.25 sind zwei angebotene Schnecken-Aufstrom-Sortierer dargestellt.

Bei der nassen Aufbereitung wird ein Material gewonnen, das zu mehr als 99,5 Gew.-% frei von Störstoffen wie Holz, Plastik, Papier, Leichtbeton ist. Da u.a. auch anhaftende Lehm- und Schmutzreste ab gespült werden, ist der gewonnene Baustoff im Straßenbau ohne unerwünschte Nebenwirkungen wieder einsetzbar. Der Wassergehalt des gewaschenen Materials liegt mit 9–10 Gew.-% im optimalen Bereich. Als weiterer Vorteil der Naßsichtung ist die Vermeidung von Staubemissionen zu nennen, da bereits bei der Aufgabe des Materials und nach den einzelnen Brechstufen eine Bedüsung erfolgen kann.

Als nachteilig zu beurteilen ist der kostenverursachende Wasserverbrauch, insbesondere dann, wenn keine na-

türlichen Entnahmestellen vorhanden sind. Weitere Kosten entstehen durch die Beseitigung bzw. Deponierung der Restschlamm [72].

Als störend wird von den Anlagenbetreibern die extreme Schaumbildung und die Verstopfungsanfälligkeit der Düsen angesehen. Die anfallenden Schlämme können schädliche Bestandteile beinhalten, die besondere Anforderungen an die Beseitigung stellen.

2.2.3.2 Trockensichtung

Bei der Trockensichtung werden die schädlichen Bestandteile nach dem Prinzip der Gleichfälligkeit von dem Produkt im Luftstrom abgeschieden. Kernstück einer Anlage zur Trockensichtung ist der Windsichter. Durch die Regelung der Windgeschwindigkeit kann der Sichter entsprechend dem Einsatzgut optimal betrieben werden.

Das zu sichtende Material wird beispielsweise über eine Schwingförderrinne oder einen Gurtförderer in dünner Materialschicht in das nach unten geöffnete Sichterrohr eingetragen (siehe Bild 2.26). Teilchen, die seitlich in das

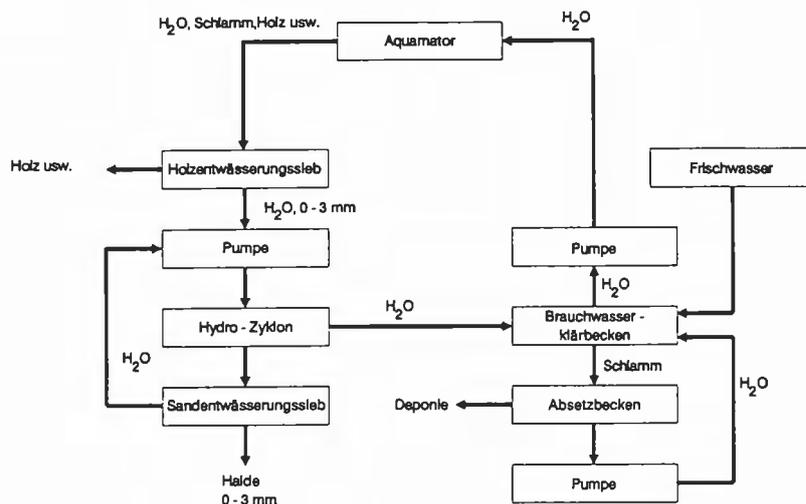
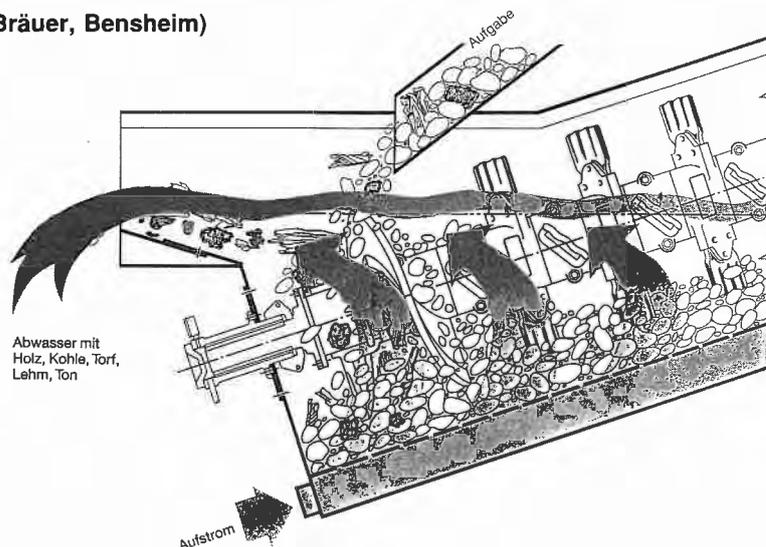


Bild 2.23: Wasserkreislauf [72]

Bild 2.24: Schneckenauftromsortierer (Bräuer, Bensheim)



Sichterrohr eintreten, werden zu Beginn quer zu der Förderrichtung angeströmt. Im unteren Teil des Rohres erfolgt die Trennung im Gegenstrom. Die Nachsichtung der Leichtstoffe im oberen Bereich findet im Gleichstrom statt. Die leichten Stoffe werden in Filtern, die dem Sichterrohr nachgeschaltet sind, abgeschieden und über Zellenradschleusen bzw. Doppelpendelklappen ausgeschieden.

Grobe und splittrige Bestandteile wie z.B. Holzstücke werden in einer Vorkammer dem Luftstrom entzogen, um eine Beschädigung der Filterschläuche zu vermeiden.

Eine effektive Abscheidung im Windsichter erfordert im allgemeinen den Einsatz begrenzter Korngrößenklassen. Daher sollte das Eingangsmaterial bereits in Einzelkörnung aufgetrennt sein [65].

Bei zu hoher Eigenfeuchte des eingesetzten Materials nehmen die Durchsatzleistung und die Qualität der Trock-

kensichtung stark ab. Gleichzeitig steigt der Anteil an unerwünschtem Haftkorn bei zu feuchtem Material. 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 die hohen Energiekosten, verursacht durch Saugzuggebläse und Zellenradschleusen aus. Die Umweltbelastungen einer Sichteranlage können als gering eingestuft werden, da die leichten Stoffe und Staubbestandteile über Zyclone und Tuchfilter abgeschieden werden. Als Vorteile der trockenen Aufbereitung werden genannt [32]:

- kein Anfall von Sondermüll (Klärschlamm),
- fremdstoffreies Material in allen Fraktionen,
- Witterungsunabhängigkeit.

Eine trockene Sichtung sollte vor allem dann in Erwägung gezogen werden, wenn gleichzeitig hohe Endpro-

Bild 2.25: Schematische Darstellung des Schneckenauftromsortierers (IBAG, M&F, Neustadt)

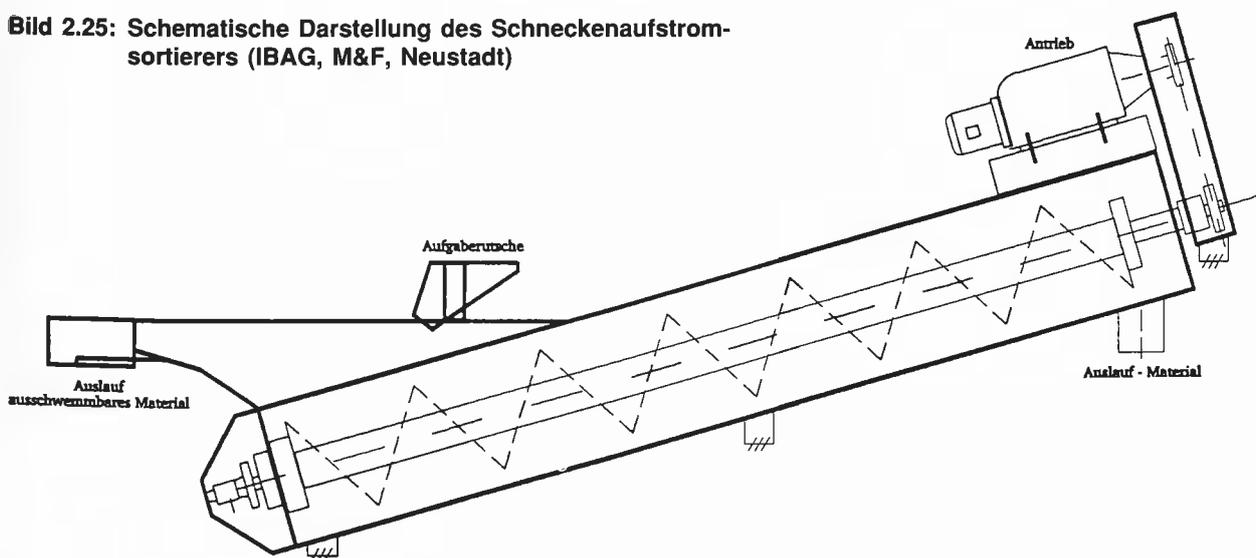


Bild 2.26: Prinzip der Bauschuttsichtung im Luftstrom

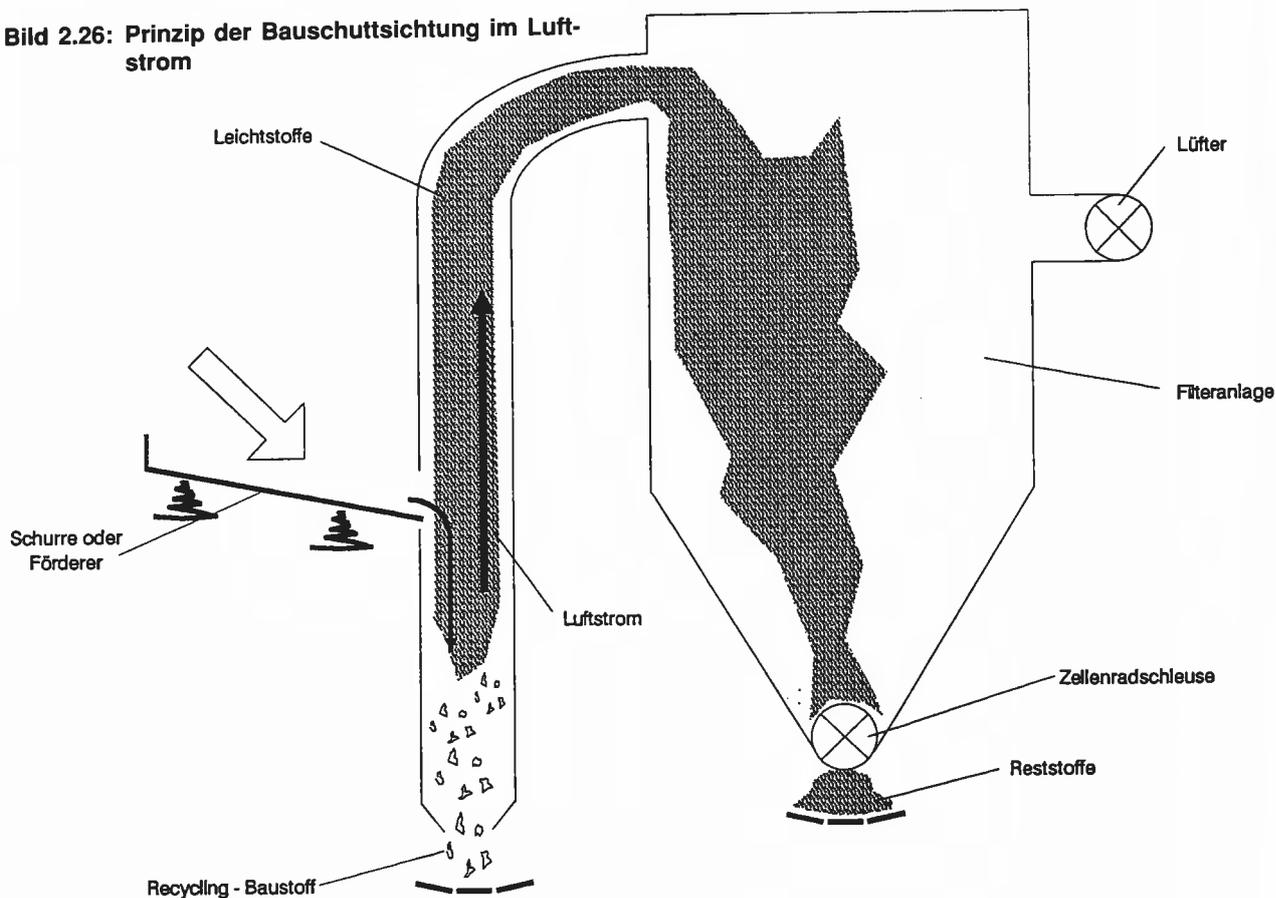
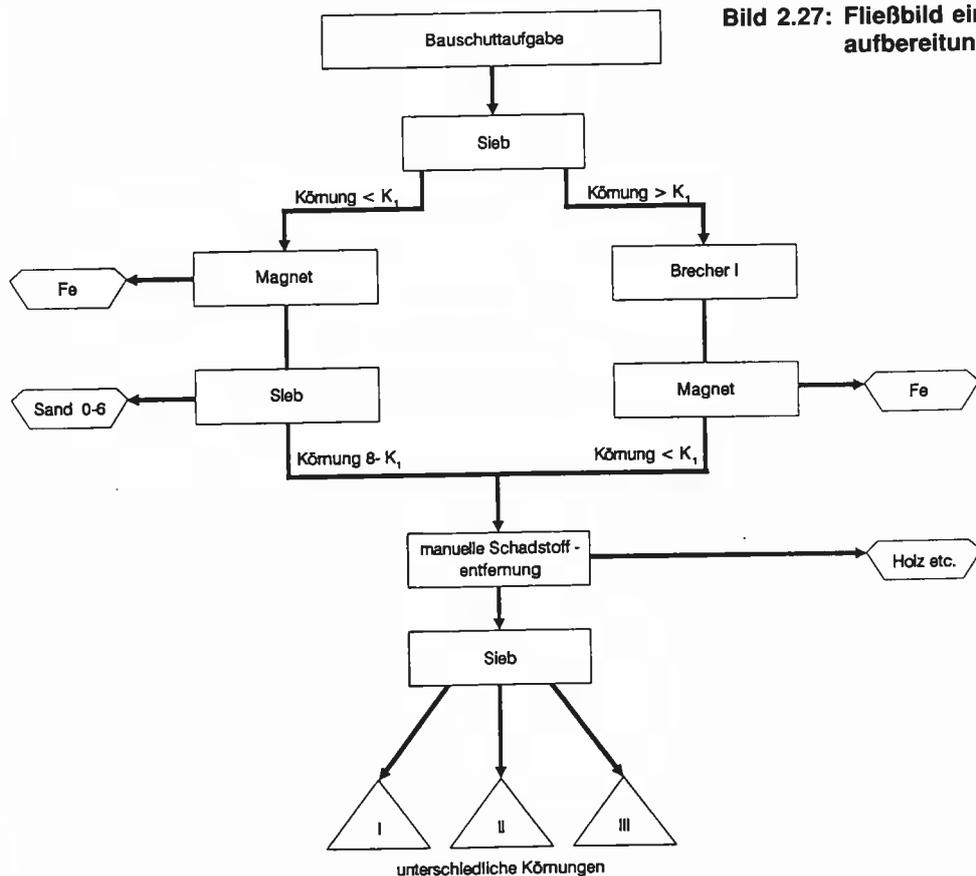


Bild 2.27: Fließbild einer einfachen Bauschutt-aufbereitungsanlage [92]



dukt-Qualitäten erreicht werden sollen und die Naßaufbereitung aufgrund fehlender Wasserversorgung nicht zum Einsatz kommen kann.

2.2.4 Betriebserfahrungen

Art und Umfang der Bauschuttrecycling-Anlagen werden in erster Linie durch die Qualitätsanforderungen, die an das Endprodukt gestellt werden, bestimmt. Bei Erzeugung von Produkten minderer Qualität (z.B. Tragschichtmaterial im untergeordneten Straßenbau) kann sich die Aufbereitung im wesentlichen auf das Zerkleinern und die Abscheidung von Eisenmetallen beschränken (Bild 2.27). Sollen jedoch höherwertige Produkte (Material für Frostschutz- oder Tragschichten, Verwendung als Betonzuschlagstoff) hergestellt werden, dann ist eine aufwendige Aufbereitungstechnik notwendig, die hinsichtlich der Recycling-Baustoffe den durch die einschlägigen Regelungen definierten Qualitätsanforderungen an Primärbau- stoffe gerecht wird [58].

Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb von Recyclinganlagen ist eine kontinuierliche Anlieferung des Bauschutts. Bei mobilen Anlagen liegt die untere Grenze der Wirtschaftlichkeit bei einer Gesamtverarbeitungsmenge von ca. 5.000 bis 6.000 Mg [65]. Da sich für mobile Anlagen in vielen Fällen Probleme bezüglich der Standortauswahl aufgrund der Schall- und Staubemissionen ergeben, werden derartige Anlagen mit Dieselgeneratoren betrieben. Dies ermöglicht eine Installation ohne Stromversorgung in ausreichendem Abstand von Wohn- gebieten.

Bei mobilen Anlagen sollten vor und nach dem Brecher- einlauf Möglichkeiten zur händischen Sortierung uner- wünschter Stoffe vorgesehen werden.

Für stationäre Anlagen empfehlen sich dagegen Naß- oder Trockensichter zur Verringerung des Störstoffgehal- tes. Gleichzeitig müssen in stationären Anlagen ausrei- chend Lagerplatzflächen für das angelieferte Rohmateri- al vorgesehen werden. Bei in etwa gleichen Kosten für die Aufhaltung bzw. Silolagerung der Recycling-Materia-

Bild 2.28: Fließbild einer komplexen Bauschutt- aufbereitungsanlage [92]

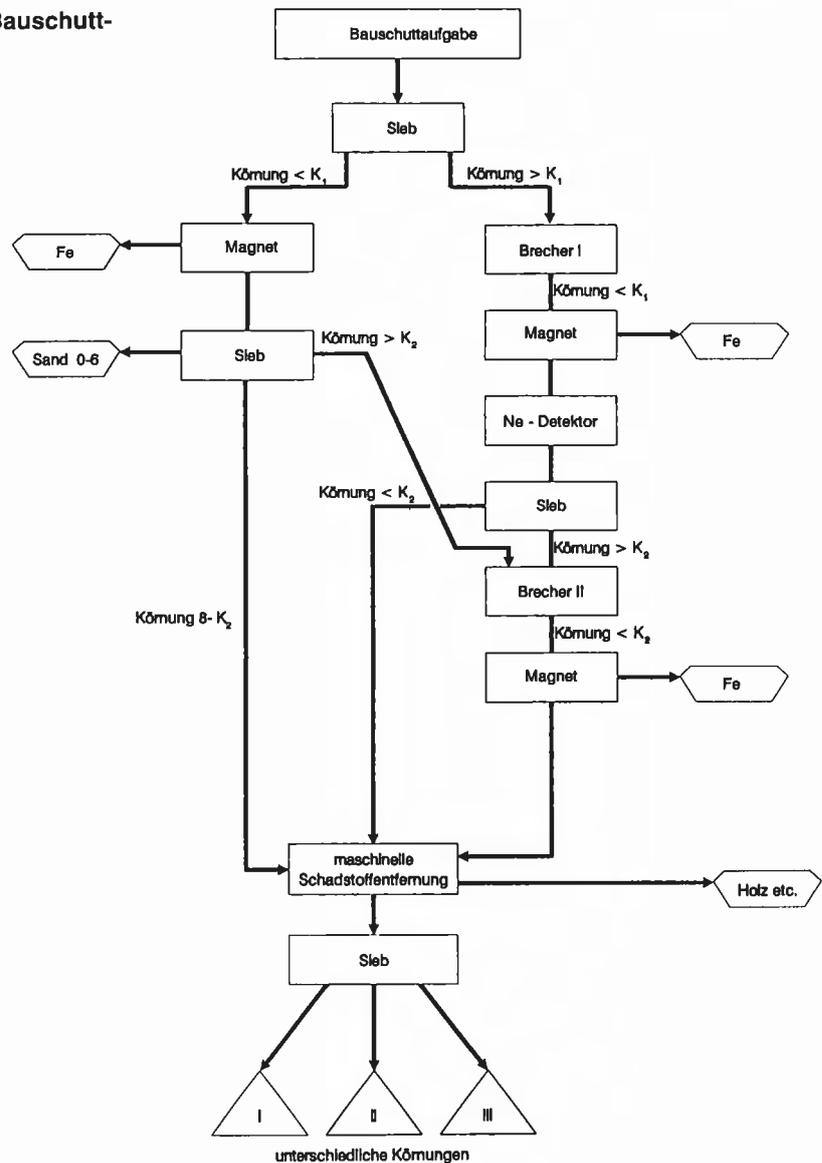
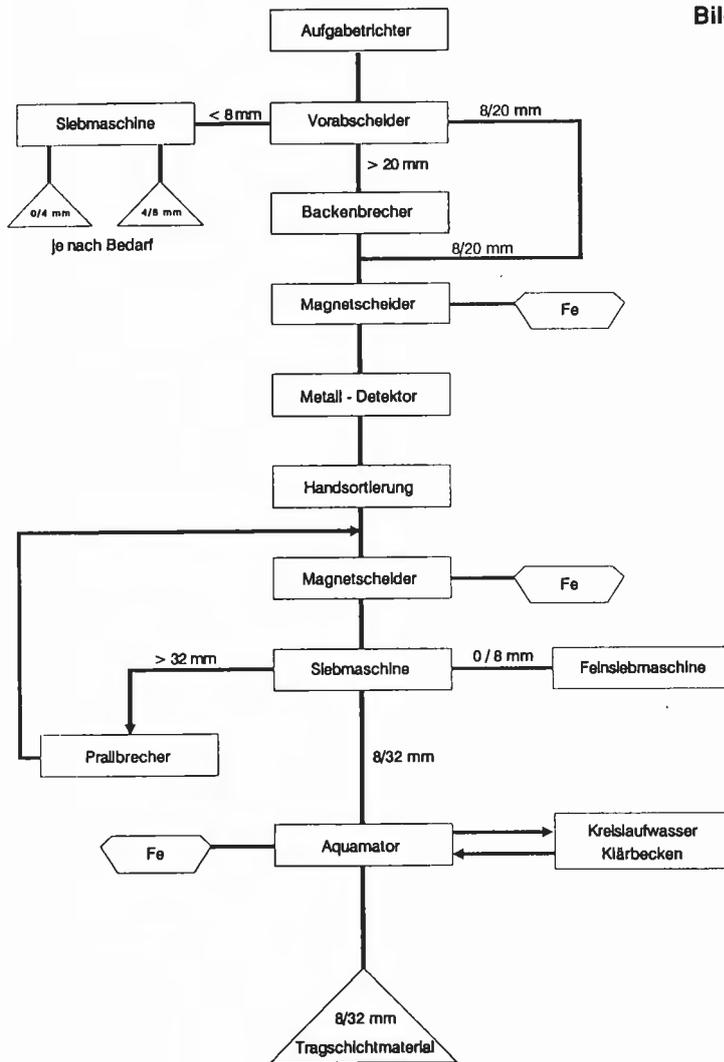


Bild 2.29: Verfahrensstrombaum der Bauschutt-aufbereitungsanlage der Fa. BWA in Ludwigsburg



lien in größeren Anlagen ist der Silolagerung aufgrund der hierdurch gesicherten Produktqualität der Vorzug zu geben (Bild 2.28) [92].

Bei der Auswahl der Aggregate sollten eventuell zu erwartende Probleme durch im Rohmaterial enthaltene Nebenbestandteile wie Holz, Eisen, Ne-Metalle, Kunststoffe, Berücksichtigung finden. Eine Vorsortierung größerer Holz- und Kunststoffteile sowie die Entfernung von Betonarmierungen mit Durchmesser > 15 mm vor der Prallmühle ist im Hinblick auf einen reibungslosen Betrieb der Anlage und auf die Verhinderung zusätzlicher Verunreinigungen der Produkte anzustreben.

Ausgeführte Beispiele aus der Praxis sind im folgenden dargestellt.

Anlage der Fa. BWA – Bauschutt-Wiederaufbereitungs GmbH

Standort der Anlage: Ludwigshafen - Rheingönheim
Bauschuttdeponie der Stadt Ludwigsburg

Die Anlage der Fa. BWA steht auf der einzigen Bauschuttdeponie, die der Stadt Ludwigsburg derzeit zur Verfügung steht. Betreiber der Deponie ist die Stadt, wobei sich deren Aufgaben auf die Eingangskontrolle (Einord-

nung in die nachfolgenden Kategorien) und Verwiegung des angelieferten Materials beschränkt.

Die angelieferten Baurestmassen werden in die Kategorien aufbereitungsfähig, bedingt aufbereitungsfähig und nicht aufbereitungsfähig eingeordnet und mit unterschiedlichen Gebühren belegt (Stand: 1987). Diese gestaffelte Gebührenordnung soll die Anlieferer zu einer möglichst weitgehenden Vorsortierung auf den Baustellen anhalten.

Die Anlage ist seit September 1983 in Betrieb. Im Jahr 1986 wurden allein 280.000 Mg/a angeliefert, wovon nach der Aufbereitung 260.000 Mg/a als Produkt zur Verfügung standen.

Anlagenbeschreibung:

Das Inputmaterial wird mittels Radlader oder direkt per Lkw dem Aufgabetrichter zugeführt. Ein Schubwagenaufgeber beschickt kontinuierlich eine Vorabscheidersieb-anlage (Doppeldeckersieb). Das Feinkorn (Auffüllmaterial) wird aufgehaldet. Zur weiteren Trennung des Feinkorns steht eine Siebanlage zur Verfügung. Das Mittelkorn 8–20 mm wird an dem Vorebrecher vorbeigeführt und anschließend mit dem vorgebrochenen Gut vereinigt (Bild 2.29).

Die Vorzerkleinerung des Grobmaterials erfolgt in einem Backenbrecher, der das Material auf eine Größe von ca. 80 mm bricht.

Nach Passieren des ersten Überbandmagneten gelangt das Gut in eine Holzsiebanlage, deren Siebebene aus unterschiedlich großen sowie geformten Lochungen besteht.

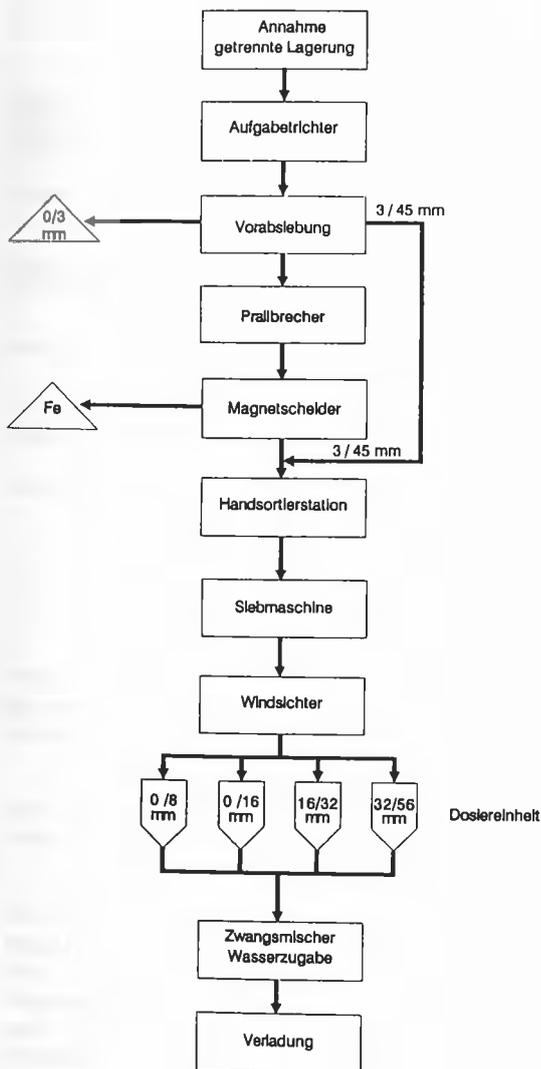
Zur Separierung von Holzteilen und mineralischen Bestandteilen wird das gesamte Material über ein Leseband geleitet, wo mittels eines Metallsuchgerätes auch Nichtmetalle manuell aussortiert werden.

Im Anschluß an das Leseband gelangt das Material über eine Magnetstation zu einer 2. Siebanlage (Doppeldecksieb). Diese trennt das Gut in die Korngrößen 0/8 mm, 8/32 mm und 32/x mm. Das Feinkorn wird anschließend auf eine Powerscreen-Kiessiebanlage (ca. 50° Neigung) in die Fraktionen 0/3 mm und 3/8 mm aufgeteilt. Letztere besteht hauptsächlich aus scharfkantigem Splitt. Die Fraktion 0/3 mm wird dem Produkt 0/32 zu Herstellung der erforderlichen Siebkörnung beigemischt.

Bild 2.31: Gesamtansicht der Anlage [142]



Bild 2.30: Verfahrensfließbild der Anlage der Fa. Schempp [142]



Das Überkorn aus der 2. Absiebung gelangt direkt in eine Prallmühle zur Zerkleinerung auf die Korngröße < 32 mm. Das zerkleinerte Material wird über ein Förderband dem Steigband vor der 2. Absiebung wieder zugeführt, so daß das Material direkt in den Produktstrom eingegliedert wird und nochmals die Siebanlage passiert. Die Fraktion 8/32 mm gelangt nach der Absiebung zu einem Aquamator zur Abtrennung von Verunreinigungen. Das gewaschene Korn wird mit der abgesiebten Fraktion 0/3 mm sowie dem Sand aus der Sandrückgewinnung des Hydrozyklons (Aquamator) gemischt und als Frostschutzmaterial verkauft.

Die Verunreinigungen, die im Aquamator abgeschieden werden, gelangen in einen bereitstehenden Container. Das Abwasser wird in dem direkt neben dem Aquamator stehenden Klärbecken stufenweise gereinigt und anschließend in den Kreislauf zurückgeführt. Das Gesamtwasservolumen beträgt ca. 80 m³, wobei täglich ca. 5 m³ Frischwasser benötigt werden. Der wöchentliche Schlammfall liegt bei 7–8 m³. Das Produkt aus dem Aquamator erfüllt die Anforderungen an Frostschutzmaterial für den Straßenbau.

Anlage der Fa. Karl Schempp GmbH & Co.KG

Standort der Anlage: Karlsruhe

Die angelieferten Baurestmassen aus dem Hoch- und Tiefbau werden zunächst einer Eingangskontrolle unterzogen. Potentiell kontaminierte Mengen, wie z.B. Abbruchmaterialien aus Brauereikühlhäusern, Gaswerken, Raffineriegebäuden usw., werden zurückgewiesen. Lieferant und Herkunftsort des angenommenen Materials werden neben dem Kennzeichen des Transportfahrzeuges im Zuge der Verwiegung gespeichert (Bild 28, 2.30,31).

Der angelieferte Bauschutt wird separat nach Beton, Asphalt, Ziegel sowie sonstigen Materialien zwischenge-

lagert. Dies erlaubt eine gezielte Steuerung der gewünschten Qualitätsstufen der Produkte [142].

Mittels eines Radladers wird das aufzubereitende Material in einen Aufgabetrichter gegeben. Ein Vibrationsplattenband transportiert das Gut zur Vorabsiebung. Diese trennt die Fraktion 0/45 mm vor der Prallmühle von der Fraktion 45/x mm, wodurch ein verschleißarmer Betrieb der Prallmühle gewährleistet ist.

Über eine Absiebung wird aus dem vorabgesiebten Material 0/45 mm die Fraktion 0/3 mm getrennt und über ein Band auf Halde produziert. Dieses erste Produkt kann beispielsweise zur Verfüllung von Leitungsgräben oder zur Sanierung von Sportplätzen verwandt werden.

Die Fraktion 45/x mm wird in einer Prallmühle gebrochen. Das zerkleinerte Material wird über ein Magnetabzugsband vom Eisen gereinigt, welches dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt wird. Das Zwischenschalten einer Handauslesestation für Verunreinigungen ist möglich. Dieses Produkt kann ohne weitere Bearbeitung für untergeordnete Auffüllzwecke eingesetzt werden.

Die Fraktion 3/45 mm aus der Vorabsiebung sowie das gebrochene Gut werden über eine Siebstation zusammengeführt. Zunächst wird das Überkorn 56/x mm ausgeschieden. Es kann beispielsweise als stabilisierende Packlage im Straßenbau eingesetzt werden.

Über diese Siebstation ist das Ausscheiden der Fraktion 0/56 mm und deren weitere Lagerung auf Halde möglich. Dieses Material kann u.a. für Auffüllzwecke oder für Tragschichten untergeordneter Qualität eingesetzt werden.

Über ein Steigband ist der Transport der Fraktion 0/56 mm in die weitere Aufbereitung möglich. Dort erfolgt die Reinigung des Materials über eine Windsichteranlage. Holz, Papier, PVC etc. werden entfernt und in einem separaten Silo zwischendeponiert. Die Beseitigung der Verunreinigungen erfolgt auf einer öffentlichen Deponie. Über eine Absiebung erfolgt die Lagerung des Materials in Silos der Fraktionen 0/8 mm, 0/16 mm, 16/32 mm sowie 32/56 mm. Mittels elektronisch gesteuertes Doseure sowie eines kombinierten Abzugs- und Verladebandes kann ein siebliniengetreues Produkt, welche seine Verwendung beispielsweise als Tragschichtmaterial findet, hergestellt werden.

Dem reversierbaren Abzugsband werden Zwangsmischer und Wasserzugabe nachgeschaltet.

Der gesamte Produktionsprozeß ist videoüberwacht. Dies garantiert optimalen Personaleinsatz und Betriebssicherheit. Die elektronische Verladeeinrichtung schaltet ein Unter- oder Überladen der Fahrzeuge aus.

Über die mit der Zentraleinheit der DV-Anlage sowie einem Drucker gekoppelte Wiegeeinrichtung erfolgt die Abgabe der Produkte. Die Speicherung von Kundennamen, Zielort usw. runden die Kontrolle des Materialflusses ab. Die erzeugten Produkte werden unter dem Namen „KaRec[®]“ vermarktet. Eigen- und Fremdüberwachung gewährleisten den gleichbleibenden Qualitätsstandard der Produkte [142].

2.3 Asphaltaufbereitung

Beim Recycling von Asphalt werden generell zwei Primärrohstoffgruppen gewonnen: die Mineralstoffe Kies, Sand und Füllstoffe sowie das Bindemittel „Bitumen bzw. Teer“.

Unter den vielen Eigenschaften, die das Bitumen als Bindemittel für den Aufbau einer Straßendecke geeignet machen, tritt dessen Regenerierbarkeit für das Recycling zukünftig immer stärker in den Vordergrund [87].

In der Bundesrepublik Deutschland sind auf Initiative der Straßenbauverwaltung bereits vor Jahren erste Versuche zur Wiederverwendung von Ausbauasphalt bei der Erneuerung von Straßendecken durchgeführt worden [13].

Bild 2.32 gibt einen Überblick über Verfahren der Aufbereitung und die Verwendung von Ausbauasphalt.

Obwohl heute die bestehenden Technologien nicht abschließend beurteilt werden können, läßt sich bereits erkennen, daß die Methoden vielversprechende Anwendungsbereiche finden werden.

Sekundärasphalt läßt sich durch die verschiedenen Aufbruch- bzw. Ausbauarten unterscheiden.

Asphaltmaterial, das einer Wiederverwertung zugeführt werden soll, muß soweit aufbereitet sein, daß es als Granulat mit einem fest vorgegebenen Korngrößenspektrum vorliegt. Als Ausgangsstoff für das Asphaltgranulat dient dabei

- Asphaltaufbruch, der beim Schollenaufbruch anfällt und vor einer Wiederverwendung aufbereitet werden muß;
- Ausbauasphalt, der durch Fräsen (kalt oder warm) entsteht und direkt wiederverwendet werden kann.

Im Detail läßt sich das Material wie folgt definieren [103]:

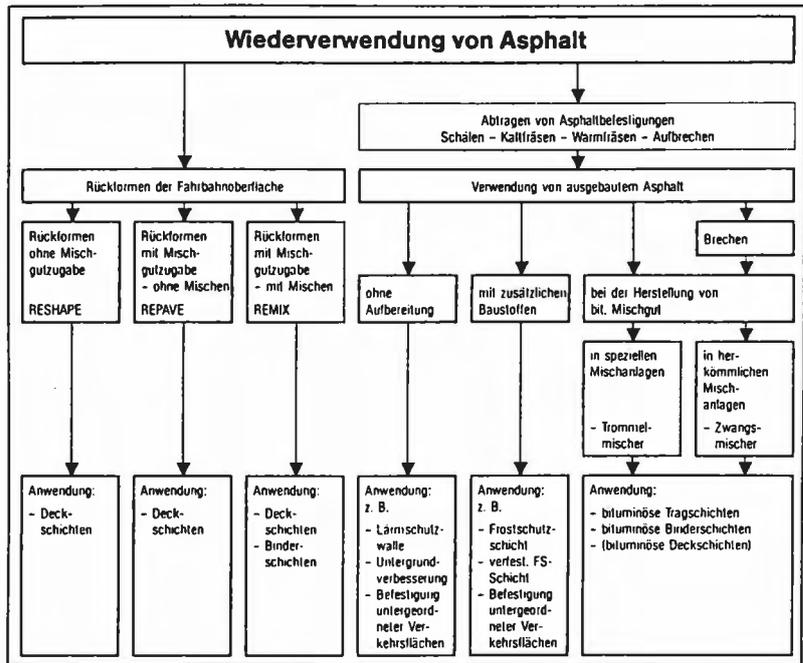
- Asphaltaufbruchmaterial unterteilt sich in
 - Aufbruch von reinen Walzasphaltgemischen, aus Deck-, Binder- und Tragschichten;
 - Aufbruch von Gußasphaltdeckschichten in Verbindung mit Walzasphaltnischgut aus Binder- und Tragschichten;
 - Aufbruch von reinen Gußasphaltdeckschichten ohne Binder- und Tragschichten.
- Ausbauasphalt unterteilt sich in
 - Fräsgut aus Warmverfahren und
 - Fräsgut aus Kaltverfahren.

Der Ausbau und die Aufnahme der schadhafte Schicht bzw. Schichten wird als Removing bezeichnet, wobei die Bezeichnung Hot-Removing für warme und Cold-Removing für kalte Verfahren verwendet wird.

Das Vorwärmen der schadhafte Schicht dient zur Replastifizierung des bituminösen Bindemittels und dem nachfolgenden Wiederaufbau.

Hierzu werden verschiedene Verfahren angewandt, die sich im Hinblick auf Leistungsfähigkeit, Veränderungen am Mischgut, Materialverschleiß, Energieverbrauch, Umweltbelastungen, Witterungsabhängigkeit oder anfallende Nebenarbeiten zum Teil erheblich unterscheiden. Eine Reihe von Recycling-Verfahren sind jedoch an bestimm-

Bild 2.32 :
Verfahren der Aufbereitung
und die Verwendung von
Ausbauasphalt [53]



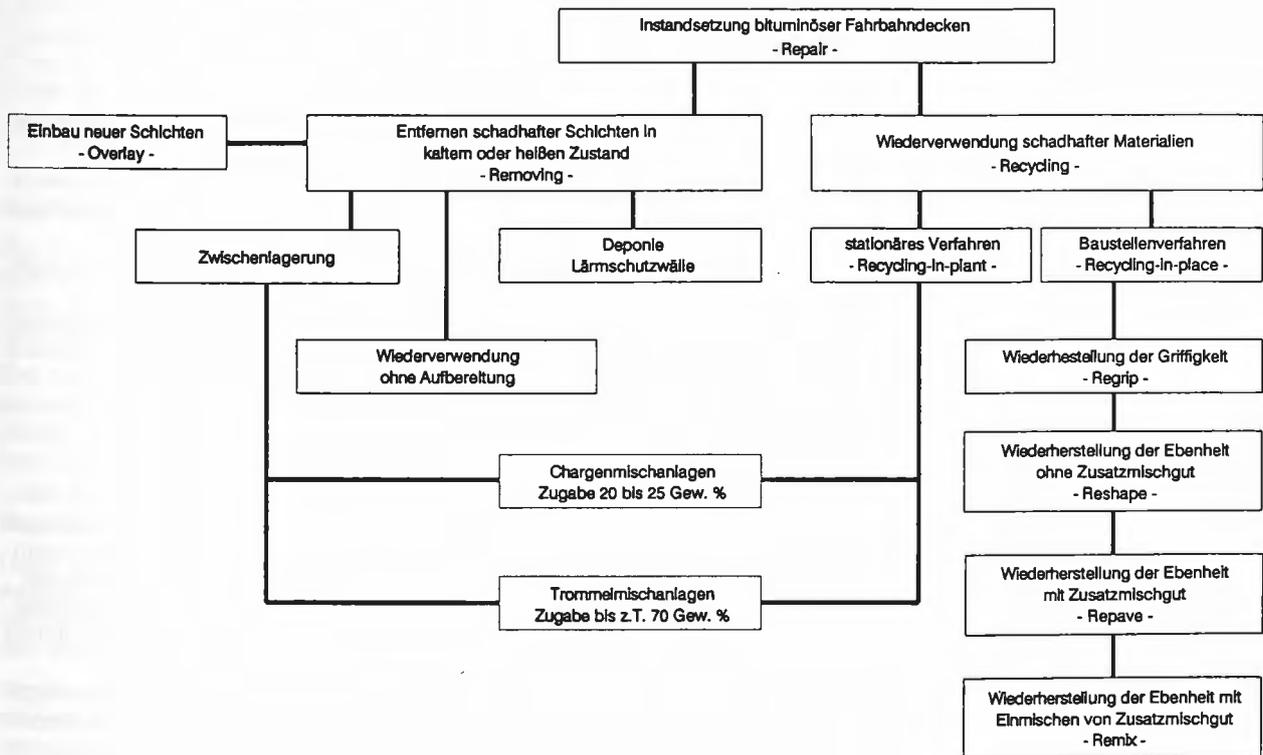
te Vorbereitungsverfahren gebunden. Die gebräuchlichsten Methoden werden nachfolgend beschrieben.

In Abbildung 2.33 sind die einzelnen Verfahren im Rahmen der Instandsetzung bituminöser Fahrbahndecken (Repair) als Removing- bzw. Recycling- Verfahren dargestellt.

Schollenaufbruch

Der Schollenaufbruch kann ohne weitere Spezialgeräte durchgeführt werden. Die entstehenden Asphalttschollen (bis ca. 1 m²) werden von einem Bagger oder Radlader aufgenommen und auf LKW verladen. Die Asphalttschollen können vor der Aufbereitung zwischengelagert

Bild 2.33: Verfahren zur Vorbereitung der Instandsetzung bituminöser Fahrbahndecken (Repair) nach [73]



werden, da die Feuchtigkeitsaufnahme der Schollen gering ist. Die Zerkleinerung in einer Brecheranlage sollte erst zwei bis drei Tage vor dem Aufschmelzen erfolgen, damit das Material keine witterungsbedingte Feuchtigkeit aufnimmt. Durch die Zerkleinerung werden die Schollen in Asphaltgranulat überführt.

Das Aufnehmen der Schollen nach der Zwischenlagerung bereitet keine größeren Schwierigkeiten, da die Schollen nicht verkleben und sich aus eventuellen Verkantungen leicht lösen lassen.

Nachteile des Verfahrens ergeben sich aus der Art des Materialausbaus und dem aufwendigen Aggregateinsatz für die nachfolgende Aufbereitung.

Durch die intensive Verbindung der Schichten ist jedoch ein Ausbau einzelner Schichten beim Aufbruch mit einem Bagger kaum und mit einem Aufbruchmeißel praktisch nicht möglich [107].

Ausbauasphalt durch Kaltfräsen

Beim Kaltfräsen von Fahrbahndecken wird das Belagsmaterial in vorgegebener Tiefe und Lage durch spanabhebende Werkzeuge abgetragen. Das entstehende Fräsgut wird je nach Bauart der Fräse direkt auf LKW verladen bzw. mit einem zusätzlichen Ladegerät aufgenommen. Das kleinstückige Fräsgut liegt als Asphaltgranulat vor und kann nach entsprechender Aufbereitung (Nachsichtung) Mischanlagen aufgegeben werden. Das Asphaltgranulat durch Kaltfräsen ist gröber als nachzerkleinertes Granulat aus Schollenaufbruch. Die mechanische Beanspruchung des Asphaltes durch den Fräsvorgang führt zu Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Materials, wobei vor allem die Kornverteilung des Mineralstoffgemisches von dem jeweiligen Fräsvorgang beeinflusst wird. Beim Kaltfräsen werden die einzelnen Schichten durch direkte mechanische Einwirkung ohne Aufheizung der Oberfläche ausgebaut. Dadurch sind in Abhängigkeit von den Fräsbedingungen, z.B. der Vortriebsgeschwindigkeit, der Asphaltart und Gesteinsqualität teilweise erhebliche Unterschiede in der Kornverteilung zu berücksichtigen. Die Leistungen von Kaltfräsen liegen bei 150 bis 200 Mg/h, teilweise bis zu 800 Mg/h, bei Frästiefen bis ca. 200 mm [16,108].

Die wesentlichen Vorteile des Verfahrens sind:

- hohe, witterungsunabhängige Fräsleistung ohne Tiefschnitt zur Abgrenzung,
- keine Verhärtung des Bindemittels durch Erwärmung,
- Einsatzmöglichkeiten auch an Betonflächen,
- sofortige Verkehrsfreigabe nach dem Fräsen ist möglich,
- kein Energieverbrauch zum Aufheizen des Belags,
- Kaltfräsgut verbackt auch bei längerer Zwischenlagerung nur gering.

Die Nachteile des Kaltfräsens sind:

- hohe Antriebsleistungen, hoher Treibstoffbedarf, hohes Maschinengewicht,
- starke Lärm- und Staubentwicklung, hoher Materialverschleiß,
- Fräsgut nimmt bis über 10 % Feuchtigkeit bei der Lagerung auf,

- Sieblinienverfeinerung durch Zerschlagen von Mineralstoffen, ausgemagertes Fräsgut, hoher Stützkornbedarf,
- erschwerte Fräsarbeiten bei Fahrbahneinbauten (z.B. Entwässerungsschächte etc.).

Ausbauasphalt durch Warmfräsen

Seit Anfang der 70iger Jahre werden für Instandsetzungsmaßnahmen an bituminösen Fahrbahnen Warmfräsverfahren eingesetzt. Diese können als integrierter Bestandteil in Baustellenverfahren („Recycling-in-place“) eingesetzt werden.

Bei den Warmfräsverfahren werden die thermoplastischen Eigenschaften bituminöser Materialien ausgenutzt. Durch das Aufheizen der Belagsoberfläche werden die kohäsiven und adhäsiven Kräfte im bituminösen Belag herabgesetzt, wodurch geeignete Voraussetzungen für den eigentlichen Fräsvorgang geschaffen werden. Das Fräsgut ist in seiner Struktur gegenüber dem Ausgangsmaterial kaum beeinträchtigt; das Korn wird minimal zerkleinert, die Verhärtung des Bindemittels ist geringfügig [16].

Mittels propangasbetriebener Infrarot-Heizgeräte wird die zu bearbeitende Schicht vorsichtig erwärmt. In Abhängigkeit vom Belagsmaterial liegen bei den Recycling-Verfahren die Oberflächentemperaturen zwischen 100–280° C, in 15 mm Tiefe zwischen 80–200° C.

Zum reinen Ausbau der Schicht werden beim Fräsen nur Temperaturen von 80–100° C angewandt, um das Ablösen des Materials zu erleichtern und ein Verkleben des Fräsgutes an der Fräswalze zu verhindern. Die Fräsleistungen liegen je nach Witterung bei 50–80 Mg/h, der Flüssiggasverbrauch schwankt zwischen 10 und 200 kg/h. Die Frästiefe beträgt max. 40 mm [99].

Es lassen sich folgende Vor- und Nachteile des Warmfräsens nennen [108]:

Vorteile

- materialschonender Ausbau von Asphalt bei geringem Werkzeugverschleiß,
- geringere Antriebsleistung, geringeres Gerätegewicht,
- keine Lärm- und Staubentwicklung während des Fräsvorgangs
- wesentlich geringere Kornzerkleinerung als beim Kaltfräsen,
- warmes Fräsgut kann unter günstigen Bedingungen auf untergeordneten Verkehrsflächen ohne weitere Aufbereitung wiedereingebaut werden.

Nachteile

- starke Witterungsabhängigkeit, bis zu 50% der Wärmeleistung können bei naßfeuchtem Bearbeitungsgut als Verdunstungswärme verloren gehen. Wind beeinflusst die Fräsleistung durch erhöhte Wärmeverluste,
- Warmfräsgut verbackt bei Lagerung ohne Trennmittel,
- Schädigungen des Bindemittels treten bei zu hohen Verarbeitungstemperaturen auf,
- bei unebener Decke ergibt sich ein ungleichmäßiger Isothermenverlauf, der ungleiche Voraussetzungen beim Wiedereinbau hervorruft,

- eine warmgefräste Fahrbahn kann erst nach dem Auskühlen wieder befahren werden,
- eine Warmfräsung ist meist nicht für Beton-Fräsarbeiten geeignet.

Die Art der Gewinnung des Asphaltgranulats durch Brechen oder Fräsen und die dafür verwendeten Schichten bedingen die spätere Verwertbarkeit in Trag-, Binder- oder Deckschichten [29].

2.3.1 Recycling-in-place

Wie unter Punkt „Warmfräsen“ erwähnt, wird dieses Verfahren in modifizierter Form bei den Baustellenverfahren „Recycling-in-place“ verwendet. Baustellenverfahren sind prinzipiell nur anwendbar, wenn die Analyse der Schadens-Ursache und des wiederzuverwendenden Asphaltes eine korrigierbare und vor allem gleichmäßige Zusammensetzung des wiederzuverwendenden Baustoffes ergibt. Insgesamt lassen sich vier Verfahrensvarianten (Regrip, Reshape, Repave, Remix) unterscheiden [19].

Beim Einsatz der Recycling-in-place-Verfahren sind folgende Anforderungen und Einflußgrößen zu berücksichtigen [27,51,83,107]:

- Für alle vier Verfahren bestehen Abhängigkeiten von der Witterung (rel. Feuchtigkeit, Regen, Nebel, Temperatur, Windstärke).
- Zur Vermeidung von Aufheizschäden des Bitumens (Verkoken der Fahrbahnoberfläche) sind die Plastifizierungstiefen auf max. 40 mm begrenzt. Entsprechend ist die zu regenerierende Schicht in deren Stärke eingeschränkt.
- Zwischen der Deckschicht und der Tragschicht sollte eine Binderschicht liegen, damit beim Aufreißen der Deckschicht keine Vermischung mit dem Tragschichtmaterial auftritt.
- Vor der Durchführung eines Recyclingsprozesses muß geprüft werden, ob der Asphalt wiederverwendet werden kann. Mögliche Verhärtungen des Bitumens infolge von Alterung und unzureichende Homogenität der alten Schicht können dem entgegenstehen. Der Erweichungspunkt RuK liegt für Walzasphalt bei $< 65^{\circ}\text{C}$ und bei $< 72^{\circ}\text{C}$ für Gußasphalt.

Regrip-Verfahren

Zur Erhöhung der Fahrbahngriffigkeit wird die Asphaltoberfläche mit Infrarotstrahlern erhitzt und bituminiertes Splitt in die durch die Aufheizung plastifizierte Deckschicht eingewalzt.

Das Regrip-Verfahren wird selten angewandt, da die Voraussetzungen an die Deckschicht (Dicke der Deckschicht sowie spezielle Eigenschaften - Standfestigkeit, Ebenheit, Querprofil) nur in wenigen Fällen erfüllt werden [27].

Reshape-Verfahren

Unter Reshape-Verfahren wird das Profilieren der oberen Asphaltschicht durch Aufheizen mittels eines Infrarotstrahlers und Verfestigen ohne Zugabe von Neumaterialien verstanden [38].

Die Aufheizung umfaßt die Decke bis in die vorbestimmte Tiefe, so daß ein Aufreißen des alten Belages ohne nennenswerte Kornzerstörung möglich ist.

Die Oberflächentemperaturen liegen bei ca. 180 bis 200° C, die sich beim Überfahren durch das Reshape-Aggregat auf ca. 120 bis 140° C vor dem Aufreißer abkühlen. In der mittleren Aufreißtiefe – ca. 20 mm – liegt die Temperatur während des Aufreißvorganges bei ca. 100 bis 120° C.

Die Arbeitsbreiten beim Reshape-Verfahren betragen bis zu 4,5 m, wobei die Vortriebsgeschwindigkeit je nach Witterung bis max. 5 m/min beträgt; der Durchschnittswert liegt bei ca. 3,5 m/min [51].

Mit stab- oder pflugscharförmigen Aufreißzinken wird die aufgewärmte Deckschicht zunächst angerissen. Im zweiten Arbeitsschritt wird das aufgelockerte Material durch Schnecken- oder Schwertverteiler über den Bearbeitungsquerschnitt verteilt, wobei es zum Umwälzen des Materials kommt.

Dies führt zu einer Erhöhung der Griffigkeit und zu einem verbesserten Temperatenausgleich im Mischgut. Überschüssiges Material kann seitlich am Gerät herausgefördert und aufgenommen werden.

Zur Verdichtung werden statische Walzen oder Vibrationswalzen direkt hinter dem Reshape-Gerät eingesetzt, da eine sofortige Verdichtung des Mischgutes aufgrund der raschen Auskühlung des bituminösen Materials erforderlich ist [107].

Repave - Verfahren

Unter dem Repave - Verfahren wird das Profilieren der Asphaltdecke unter Zugabe von Heißmischgut verstanden.

Die Fahrbahnoberfläche wird mit Infrarot-Strahler über die gesamte zu bearbeitende Verkehrsfläche durch Aufheizen plastifiziert und damit eine Auflockerung der Asphaltschicht ermöglicht. Die vorhandenen Spurrinnen sollten mindestens bis 10 mm unterhalb des Tiefpunktes der Asphaltschicht aufgelockert werden, wobei die Auflockerung maximal bis zur zweiten Schicht erfolgen sollte.

Kornzerstörungen sowie thermische Schädigungen des Bindemittels sind weitgehend zu vermeiden.

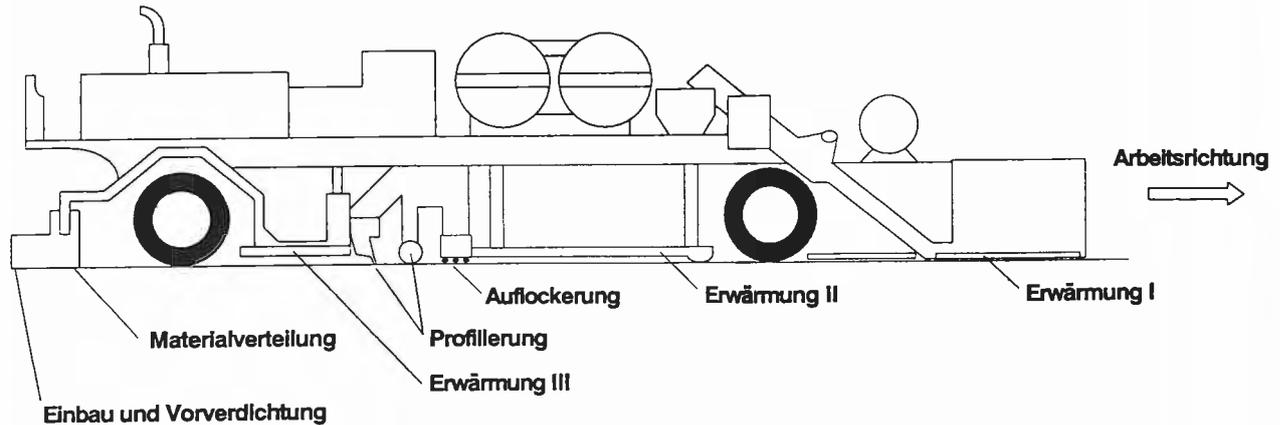
Das aufgelockerte Material wird mit Schnecken oder Verteilerschaufeln geebnet. Anschließend wird neues Asphaltmischgut gleichmäßig als zweite Fahrbahndecke aufgebracht und verdichtet.

Die Menge und Zusammensetzung des neu eingebrachten Asphalts richtet sich nach den Anforderungen, den geometrischen Gegebenheiten und dem ermittelten Verschleiß. Die zusätzlich aufzubringenden Mengen an Neuasphalt liegen zwischen 10 und 40 kg/m². Bei Asphaltbeton sollte aus technischen Erfordernissen eine Menge von 15 kg/m² nicht unterschritten werden [38].

Verfahrenstechnisch lassen sich zwei Varianten differenzieren [107]:

- Repaven mit Kompaktgeräten, d.h. der Asphalt wird mit einem Gerät plastifiziert, profiliert, neues Material zugegeben und beide Schichten gemeinsam verdichtet. Die Endverdichtung erfolgt mit nachfolgenden Walzen.

Bild 2.34: Kompaktreparver



- Repaven mit getrennten Geräten. Ein Aggregat übernimmt das Aufheizen, Aufreißen, Profilieren und Verdichten der alten Fahrbahndecke. Unmittelbar danach wird mit einem üblichen Fertiger eine neue, zusätzliche Schicht aufgebracht. Beide Schichten werden dann mit nachlaufenden Walzen endverdichtet.

Das Bild 2.34 zeigt schematisch einen Kompaktreparver mit den entsprechenden Arbeitszonen.

Bei einer zweiteiligen Anlage wird durch das erste Aggregat (Reformer) die Asphaltdecke aufgeheizt und mit einem Schwertverteiler angerissen. Hinter dem Fahrwerk des Reformers wird das alte Mischgut verteilt und verdichtet.

Unmittelbar hinter dem „Reformer“ wird das neue Mischgut auf die neuprofilierte und vorverdichtete Deckschicht mit einem herkömmlichen Fertiger (ca. 40 kg/m²) aufgebracht und mittels Walzen verdichtet. Hierbei wird die aufbereitete, noch warme Decke von den Mischgutfahrzeugen und dem Fertiger überfahren. Aufgrund der hohen Vorverdichtung des „Reformers“ entstehen keine Eindrücke in der Fahrbahn [51]. In Bild 2.35 ist der Gerätezug zur Belagserneuerung mit dem Repave-Verfahren dargestellt.

Für das zweiteilige Repave-Verfahren lassen sich folgende Vorteile nennen [14,51,99]:

- geringe Abmessungen, dadurch bedingt 50 % geringeres Gewicht des Reformers gegenüber Kompaktgeräten,
- erhöhte Wendigkeit des Gerätes, insbesondere bei engeren Kurven,
- bessere Ebenheit des getrennten, zweiseichtigen Einbaus
- Eignung für kleinere und mittlere Baustellen,

- Einsatzmöglichkeit des Reformers beim Reshape-Verfahren sowie anderweitigen Verwendungsmöglichkeiten des häufig bereits vorhandenen Fertigers im konventionellen Straßenbau,
- Überhitzungsschäden vor dem Aufbringen der zweiten Schicht sind zu erkennen,
- geringerer Preis des „Reformers“ gegenüber Kompaktgeräten
- Transport auf Tiefladern möglich.

Andererseits lassen sich für die einteiligen Kompaktgeräte entsprechend nachfolgende Vorteile aufzählen [52,107]:

- Sanierung der Decke in einem Arbeitsgang,
- Ausführung aller thermischen und mechanischen Arbeitsgänge (ohne Walzen) mit einem Gerät,
- kürzere Baustellen,
- keine Abstimmungsprobleme bei unterschiedlichen Vortriebsgeschwindigkeiten oder bei Betriebsstörungen am Fertiger oder „Reformer“ wie beim zweiteiligen System,
- geringerer Kraftstoffverbrauch,
- eventuell geringerer Personaleinsatz; beim Vergleich des Personaleinsatzes ist zu berücksichtigen, daß Kompaktgeräte häufig durch speziell geschultes Personal der Gerätehersteller betrieben werden,
- Transport des Gerätes auf einem Spezialtieflader.

Gegenüber den konventionellen Sanierungsverfahren ergeben sich für die Repave-Verfahren bis zu 50% kürzere Bauzeiten und damit erheblich geringere Verkehrsbehinderungen [14].

Das Repave-Verfahren wird hauptsächlich für die Beseitigung von Spurrinnenschäden (schlecht verdichtete oder abgemagerte Deckschichten) und zur Sanierung von Verschleißschäden eingesetzt.

Bild 2.35: Geräteinsatz zur Belagserneuerung mit dem Repave-Verfahren

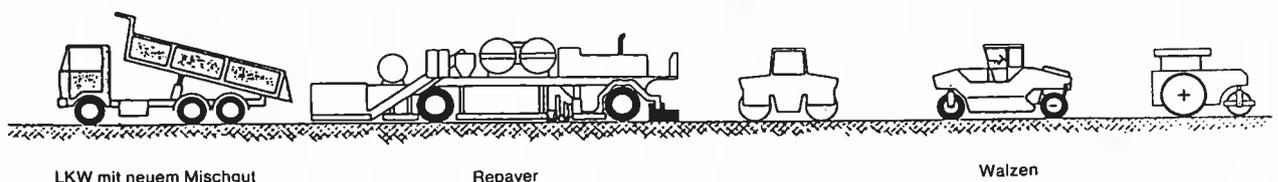
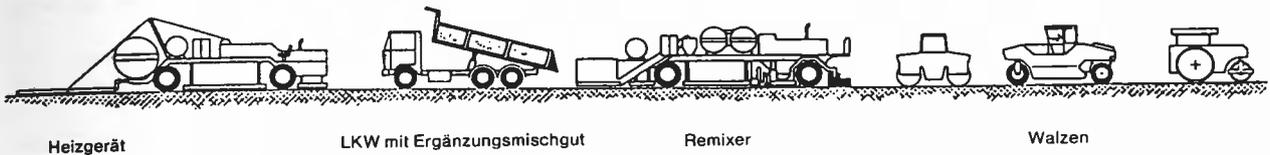


Bild 2.36: Mehrteiliges Remix-Verfahren [100]



Bevor die Verfahren zur Anwendung kommen, müssen neben den allgemeinen Anforderungen bezüglich der Standfestigkeit und Tragfähigkeit von Binder- und Tragschichten und der Art der Replastifizierung des bituminösen Materials, spezielle Anforderungen bezüglich ausreichender Standfestigkeit der vorhandenen Deckschicht berücksichtigt werden. Weiterhin ist die Eignung des Deckmaterials zuvor zu prüfen [99].

Die Anforderungen an die sanierte Deckschicht sind im Merkblatt für die „Erhaltung von Asphaltstraßen, Teil 2.4 Rückformen der Fahrbahnoberfläche“ festgelegt [83].

Hiernach sind bituminöse Schichten, die eine gleichmäßige Zusammensetzung aufweisen und deren Bindemittel durch Alterung nicht zu stark verhärtet ist, für das Repaving geeignet. Der Erweichungspunkt RuK soll bei Walzasphalt nicht über 65°C, bei Gußasphalt nicht über 72°C liegen.

Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die rückgeformte Schicht bezüglich Ebenheit, profilgerechter Lage, Verdichtungsgrad, Erhöhung des Erweichungspunktes sowie den in der TV bit 3 bzw. 6 vorgeschriebenen Prüfungen genügen muß. Bei Temperaturen unter 10° C sollen Repave-Arbeiten nicht durchgeführt werden. Auch bei höheren Umgebungstemperaturen und ungünstiger Witterung oder Seitenwind kann die mögliche Aufreißtiefe von den üblichen ca. 50 mm auf ca. 15 mm absinken.

Beim Aufheizen der Fahrbahnoberfläche sollten die Temperaturen unterhalb von 200° C liegen, um thermische Schädigungen des Bindemittels zu vermeiden.

Remix-Verfahren

Bei dem Remix-Verfahren wird die Deckschicht analog zu den genannten Recycling-in-place-Verfahren aufgeheizt (replastifiziert) und anschließend aufgerissen. Das aufgelockerte Asphaltmischgut wird aufgenommen und in einem mitgeführten Mischer mit neuem Mischgut durchmischt. Anschließend wird das Material auf konventionelle Weise eingebaut und mit Walzen verdichtet [38,107].

Das Remix-Verfahren ist eine Weiterentwicklung des Repavings. Jedoch sind beim „Remixing“ zur Mischung des Altmaterials mit neuem Mischgut höhere Temperaturen des aufgelockerten Deckmaterials notwendig.

Der abgefräste Asphalt wird durch eine Schnecke aufgenommen und zur Maschinenmitte gefördert. Anschließend gelangt das Material in den Zwangsmischer. Das Neumaterial wird von oben über eine Dosiereinrichtung in den Mischer gegeben. Die Temperaturen des Zusatzmischgutes betragen ca. 170–180° C, wobei eine ausreichende Einbautemperatur gemäß TV bit 3 von 130° C für das aufbereitete Mischgut gewährleistet sein muß. Beide Materialien werden in dem Zwangsmischer vollständig vermischt und als aufbereitetes Material mit einer Schnecke ausgetragen und eingebaut [38].

Das ausgebaute Material kann auf diese Weise entsprechend dem Anwendungszweck gezielt verändert werden. Dies hat den Vorteil, daß das resultierende Mischgut den technischen Vorschriften und Richtlinien angepaßt werden kann.

In Bild 2.36 ist schematisch ein mehrteiliges Remix Gerätezug dargestellt. In Bild 2.37 ist ein einteiliges Verfahren dargestellt.

Als Zwangsmischer kommen Gleichstromtrommeln zum Einsatz, die eine Mitverwendung von Ausbaupasphalt mit Anteilen von 50 Gew.-% und mehr erlauben. Dabei entstehen jedoch erhöhte Emissionen an Öldämpfen, Gesamtkohlenstoff und Kohlenmonoxid; die Gesamtkohlenstoffemission liegt über den Grenzwerten der TA-Luft. Die Öldämpfe im heißen Abluftstrom stellen eine Brandgefahr für die Filtersäcke dar. Diese Probleme lassen die notwendige Aufheizung des Ausbaupasphalts auf 170° C, bzw. des Gußasphalts auf 240–260° C nicht zu.

Es kommen nun Anlagenkonzeptionen zum Einsatz, die um eine zweite Gegenstrom-Trockentrommel erweitert wurden und damit den Paralleltrommelsystemen stationärer Mischwerke gleichen. Der Materialstrom wird dabei getrennt, das Ausbaumaterial wird in der Gleichstromtrommel, das Frischmaterial in der Gegenstromtrommel auf jeweils 160° C erhitzt. Im nachgeschalteten Durchlaufzwangsmischer erfolgt unter Zugabe von Frischbitumen und evt. Füller eine Vermischung. Das Abgas der Gleichstromtrommel wird durch die Gegenstromtrommel geleitet und verbrannt; die Abgastemperatur reduziert sich auf 100–120° C. Dieses System läßt die Erhitzung des Materials auf max. 400° C zu und ermöglicht so die Herstellung von Gußasphalt aus Ausbaupasphalt und Frischmaterial. Der Ausbaupasphaltanteil kann 75%, in

Bild 2.37: Einteiliges Remix-Verfahren [51]

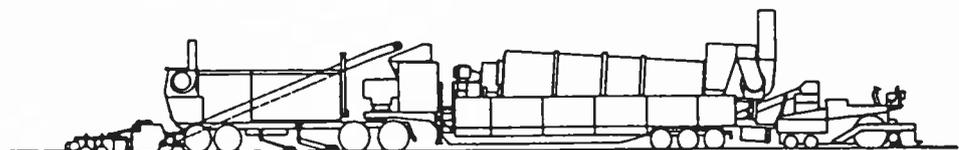
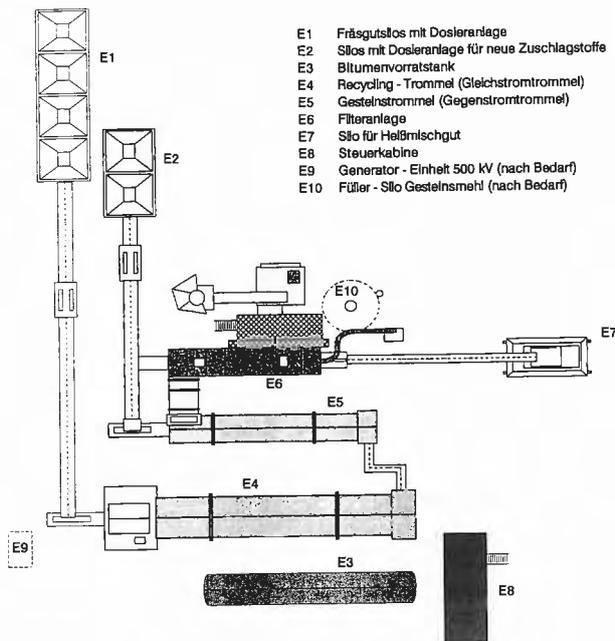


Bild 2.38: Semimobile Doppeltrommel-Mischanlage [29]



- E1 Fräsgutlos mit Dosieranlage
- E2 Silos mit Dosieranlage für neue Zuschlagstoffe
- E3 Blütemvorratsstark
- E4 Recycling - Trommel (Gleichstromtrommel)
- E5 Gesteinstrommel (Gegenstromtrommel)
- E6 Filteranlage
- E7 Silo für Halbmischgut
- E8 Steuerkabine
- E9 Generator - Einheit 500 kW (nach Bedarf)
- E10 Füller - Silo Gesteinsmehl (nach Bedarf)

Ausnahmefällen 95% und mehr betragen. Der Einsatz von Ausbauasphalt in Deckschichten mit einem Fräsgut-zusatz von bis zu 75% wird erfolgreich angewandt [29]. Siehe auch Kap. 3.2 und 5.2.

Bild 2.38 zeigt eine semimobile Aufbereitungsanlage mit Paralleltrommel.

Hinsichtlich der Anforderungen zur Anwendung dieses Verfahrens läßt sich folgendes nennen:

Für das Material der Deckschichten gelten die allgemeinen Anforderungen an eine sorgfältige Plastifizierung sowie an eine ausreichende Standfestigkeit der tieferliegenden Schichten.

Im „Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstraßen – Rückformen der Fahrbahnoberfläche“ sind die Baugrundsätze, Ausführungsgrundsätze, Anforderungen und Prüfungen auch für das Remix-Verfahren enthalten [83].

Dementsprechend sind folgende Punkte zu berücksichtigen [83]:

- das aufbereitete Mischgut soll den Vorschriften der ZTV-bit entsprechen;
- zusätzlich sind die Anforderungen hinsichtlich Standfestigkeit und Griffigkeit zu erfüllen;
- das Ergänzungsmischgut kann von den Anforderungen der TV-bit abweichen;

Material	Einheit	Schwankungsbereich		arith. Mittel	Standard-abweichung
		min.	max. Eignungsprüfung		
Füller	Gew.-%	11,90	12,50	12,70	0,50
Sand	Gew.-%	22,60	27,50	26,50	1,22
Splitt	Gew.-%	58,30	60,00	65,60	1,58
Höhlraumgehalt	Vol.-%	1,12	2,62	3,67	0,75
Stabilität	kN	8,50	9,10	9,20	0,26
Bindemittelgehalt	Gew.-%	4,95	5,30	5,87	0,24
R+K-Wert	°C	51,30	--	53,90	0,89

- die profilgerechte Lage gemäß TV bit 3 und die Ebenheit innerhalb der 4 m Meßstrecke < 4 mm, bei Ortsstraßen < 7 mm sollten erreicht werden;
- ein Verdichtungsgrad von 97 % ist zu erzielen;
- die Erhöhung des Erweichungspunktes soll unter 5° C liegen;
- für alle Prüfungen gelten die Vorschriften der TV-bit.

Bei Ausbesserung von Spurrinnenschäden gilt analog zum Repaven, daß die Spurrinntäler ca. 1 mm tief aufgelockert werden müssen [107].

Um eine gezielte Verbesserung der Zusammensetzung des Asphaltmischgutes zu erreichen, sind ausreichende Voruntersuchungen erforderlich.

Durch eine entsprechende Analyse der zu sanierenden bituminösen Schicht und der Angabe der gewünschten Mischgutzusammensetzung nach der Sanierung, läßt sich die Rezeptur für das Zusatzmischgut bestimmen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Remix-Verfahrens ist die Sanierung von Binderschichten. Bei nicht standfesten Binderschichten kann nach Abfräsen der obersten Schicht die Binderschicht in der Zusammensetzung gezielt verändert werden, so daß eine ausreichende Standfestigkeit gegeben ist. Der nach konventionellen Verfahren notwendige Ausbau der sanierungsbedürftigen Binderschicht kann bei Anwendung des Remix-Verfahrens entfallen [8].

Mit welcher Genauigkeit die Zusammensetzung des resultierenden Mischgutes erreicht werden kann, zeigt die Tabelle 2.1

2.3.2 Recycling-in-plant

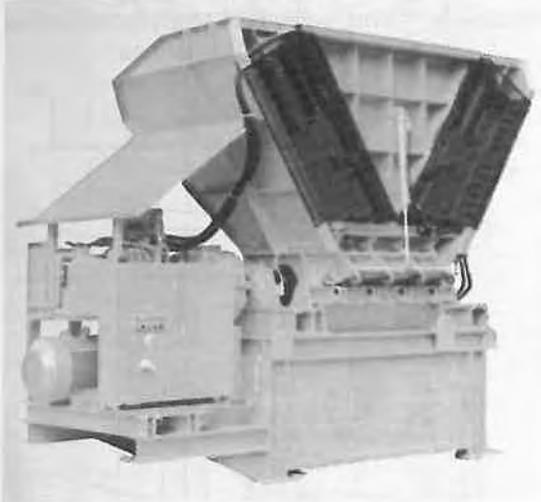
Wenn die Asphaltbefestigungen den bautechnischen Erfordernissen nicht mehr entsprechen, ein Recycling an Ort und Stelle unwirtschaftlich oder technisch nicht möglich ist, kann der Ausbauasphalt in einer stationären Anlage einer Wiederverwendung zugeführt werden.

Grober Schollenaufbruch wird in einer Prallmühle, einem Schlagwalzenbrecher oder einem Fräsbrecher zerkleinert.

Fräsbrecher wurden speziell zur Aufbereitung von bituminösem Straßenaufbruch entwickelt. Asphalt-schollen bis 120 cm Länge werden ohne Vorzerkleinerung direkt aufgegeben. Durch einen auswechselbar eingebauten Kornbegrenzungsrost wird ohne weitere Kontrollabsiebung ein Endprodukt mit definierter Korngröße hergestellt. Fräsbrecher gibt es in mobiler und stationärer Bauweise. Vorteil des Fräs-Brechverfahrens ist die Zerkleinerung des Asphaltaufbruchs ohne nennenswerte Kornzertrümmerung. Dadurch eignet sich das Granulat auch für höherwertiges Mischgut. In Bild 2.39 ist ein stationärer Fräsbrecher dargestellt.

Tabelle 2.1: Statistische Auswertung eines Mischgutes mit 75% Fräsgutanteil [29]

Bild 2.39: Fräsbrecher der Firma STRABAG



Um die Zerkleinerungskosten nicht zusätzlich zu steigern, sollte die Aufbereitung nicht an heißen Sommertagen durchgeführt werden, da der Asphalt aufgrund erhöhter Temperaturen eine zähe Konsistenz aufweist, und damit die Zerkleinerungsfähigkeit negativ beeinflusst [38].

Die Lagerung des Ausbausphalts ist entscheidend für die Homogenität des Mischgutes. Die Anlieferungen sollten eine Eingangskontrolle passieren, wobei Fahrzeuge mit für die Aufbereitung nicht geeignetem Material oder mit einem unzulässig hohen Anteil an Fremdstoffen gesondert gelagert werden. Weiterhin sollte das Material je nach Ausbauart (Kalt-, Warmfräsgut oder Schollenaufbruch) getrennt gelagert werden. So stammt z.B. Kaltfräsgut in der Regel von Verschleißschichten und ist dementsprechend bindemittelreich. Die getrennte Lagerung gestattet bei der Rezeptierung des Recyclingmischgutes die Berücksichtigung der Korngrößenverteilung und des Bindemittelgehaltes [4].

Der Schollenaufbruch wird auf eine Korngröße von 0/20 bis 0/40 mm zerkleinert. Beim Brechen findet eine unterschiedliche Kornzerkleinerung statt. Es ergibt sich eine Korngrößenverteilung, die sich gut im weiteren Aufbereitungsverfahren einsetzen läßt.

Bei der Aufbereitung des Ausbausphalts sind 2 Punkte für die Qualität des Mischgutes sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens entscheidend [4]:

- Durch zweckmäßiges Beschicken des Brechers und geeignete Zwischenlagerung ist zu gewährleisten, daß das in der Mischanlage einzusetzende Material von homogener Zusammensetzung ist.
- Die Feuchtigkeit des aufbereiteten Materials ist so niedrig wie möglich zu halten, da bei einem Materialanteil von 20 Gew.-% jedes zusätzliche Gewichtsprozent Wasser eine Temperaturerhöhung des Neumaterials um 8° C erforderlich macht.

In der Regel wird der aufbereitete Ausbausphalt zwischengelagert, bevor eine Weiterverarbeitung stattfindet. Dies hat den Vorteil, daß das zerkleinerte Material durch die mehrfache Bewegung (Aufgabe zum Brecher, Lagerung, Wiederaufnahme des Materials) intensiv durch-

mischt wird. Hierdurch können bestehende Schwankungsbreiten der Zusammensetzung reduziert werden.

Nachteilig wirkt sich die Zwischenlagerung auf den Wassergehalt aus. Um das Material vor einer Sorption von Feuchtigkeit zu schützen, empfiehlt sich eine Abdeckung oder Überdachung der Lagerfläche. Außerdem sollte eine Begrenzung der Schütthöhe von ca. 3 m sowie ein Fahrverbot auf der Halde eingehalten werden. So kann eine zusätzliche Verdichtung durch das Gewicht der Fahrzeuge und ein Zusammenkleben des Granulats vermieden werden.

Bei längeren Lagerzeiten oder direkter Sonneneinstrahlung insbesondere bei bindemittelreichen Asphaltmaterialien, empfiehlt sich zur Vermeidung von Verklebungen eine Behandlung mit Gesteinsmehl oder Sand. Diese Vorbehandlung wird bei Warmfräsgut generell vorgenommen [4,16].

Die Wiederverwendung von aufbereitetem Ausbausphalt bei der Herstellung von neuem bituminösem Mischgut wird im wesentlichen von maschinentechnischen und dem bautechnischen Parametern beeinflusst [16]:

I. Maschinentechnische Voraussetzungen

- ausreichende Energiezufuhr zur Trocknung des Asphaltgranulats,
- sorgfältige Erwärmung, so daß das Bindemittel verflüssigt, jedoch nicht geschädigt wird,
- schadlose Ableitung des bei der Trocknung entstehenden Wasserdampfes,
- homogene Durchmischung aller Komponenten,
- Nichtbeeinträchtigung der Mischerleistung,
- ausreichende Einbautemperatur des resultierenden Mischgutes.

II. Bautechnische Voraussetzungen

- Einhaltung der Kennwerte der Eignungsprüfungen und der ZTV,
- Vermeidung von Schäden am Bindemittel aus dem Asphaltgranulat sowie des neuen Bindemittels,
- gute Einbau- und Verdichtungseigenschaften des resultierenden Mischgutes.

Die Erfüllung dieser Forderungen bestimmt und begrenzt die Höhe des Anteiles an gebrochenem oder gefrästem Asphalt, der an den bestehenden Mischanlagen bei der Mischgutherstellung zudosiert werden kann.

2.3.2.1 Maschinentechnische Voraussetzungen

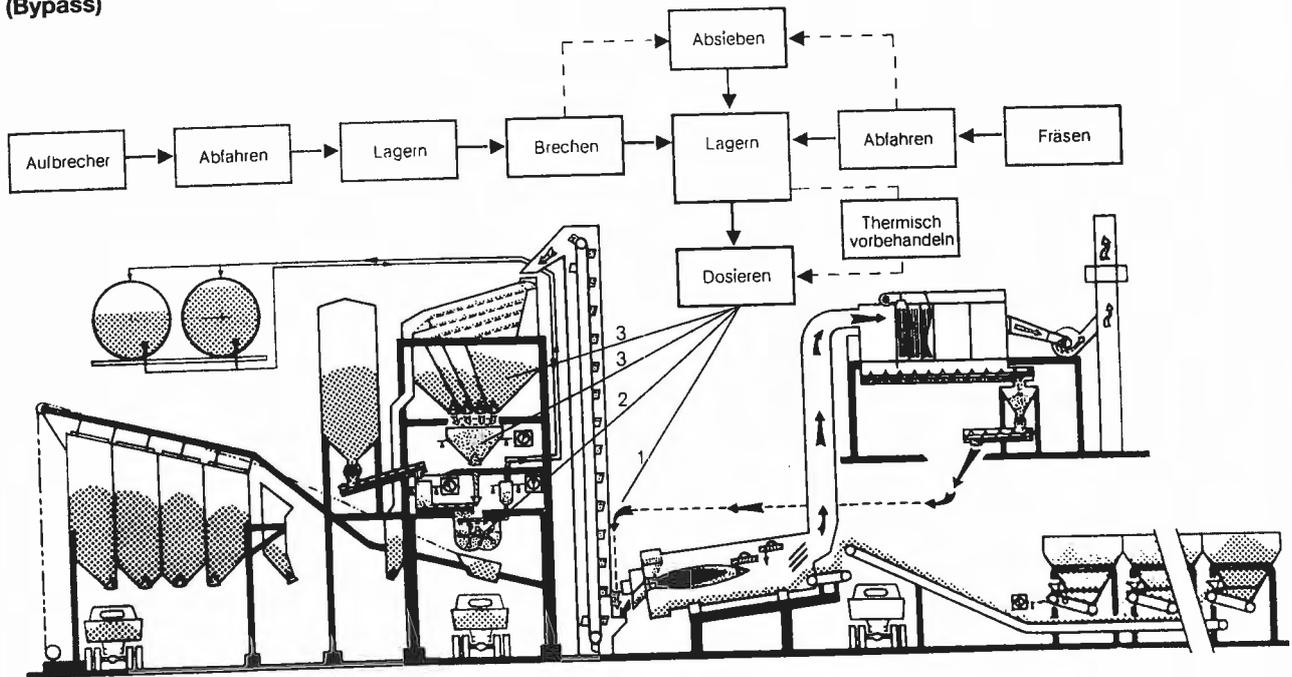
Chargenmischanlagen

Die Zugabe von Altmaterial in konventionellen Chargenmischanlagen (hauptsächlich Zwei-Wellen-Zwangsmischer) ist naheliegend, da nahezu alle vorhandenen Mischanlagen in der Bundesrepublik Deutschland als Zwangsmischanlagen ausgeführt sind.

Aufgrund von Problemen bei der Erwärmung des Asphaltgranulats kann in konventionellen Mischanlagen nur bis zu ca. 20 Gew.-% zugegeben werden.

Aufgrund der thermischen Eigenschaften des Ausbausphaltes müssen bei der Aufheizung mehrere Faktoren

Bild 2.40.
Chargenmischanlage mit Zugabestellen für Asphaltgranulat (17)
 1. in den Heißelevator, 2. in den Mischer, 3. in das Wiegegefäß bzw. in die Siebumgehungstasche (Bypass)



berücksichtigt werden. Unter Temperatureinfluß neigt das Asphaltgranulat zum Kleben und verursacht in den Silos, Fördereinrichtungen und Waagen Brückenbildungen und Verstopfungen. Dies erfordert für die Aggregateteile eine entsprechende Auslegung (steile Wandungen, große Austrageeinrichtungen) [47].

In Bild 2.40 sind die möglichen Zugabestellen von Asphaltgranulat in eine Chargenmischanlage aufgezeigt.

Das Granulat wird über eine Dosiereinrichtung und Transportband dem Heißmineral im Elevator zugeführt. Die Dosiereinrichtung ist mit einem integrierten Rost zur Abtrennung des Überkorns sowie mit steilen Wandungen und entsprechend grossen Austrittsöffnungen ausgestattet, um Brückenbildungen des Materials zu verhindern. Mittels eines zweiten Elevators wird das Granulat einem Zwischenbunker zugeführt und über eine vorhandene Gesteinswaage oder separate Wiegeeinrichtung dem Mischer zugegeben [17].

Eine Absiebung des heißen Materials ist i.d.R. nicht möglich, da sich die Siebe zusetzen können. Während des Transportes über die Siebumgehungstasche (Bypass) in den Mischer findet bereits eine Erwärmung sowie Vortrocknung des Asphaltgranulats statt.

Bei Direktzugabe in den Mischer wird der gebrochene oder gefräste Asphalt über eine Band- oder Chargenwaage dem Mischer zugeführt. Die Förderung erfolgt mittels Aufzugskübel oder Becherwerke.

Bei diesem Verfahren ist die Heißabsiebung der Mineralstoffe und eine Zudosierung aus den Mineralstoffchargen uneingeschränkt möglich. Auf diese Weise kann eine exakte Steuerung der Korngrößenverteilung des resultierenden Mischgutes vorgenommen werden. Die Entstehung von Wasserdampf beim Zusammentreffen der überhitzten Mineralstoffe mit dem kalten und feuchten Aus-

bauasphalt erfordert am Mischer zusätzliche konstruktive Maßnahmen.

Eine Verlängerung der Mischzeit ist i.d.Regel notwendig, um den Wasserdampf abzuleiten und die Durchmischung aller Bestandteile sicherzustellen.

Bei der Zugabe des Asphaltgranulats über den Bypass bzw. direkt in das Wiegegefäß kann die Zwischenschaltung einer Chargenwaage entfallen (Bild 2.41).

Bild 2.41: Chargenmischanlage mit Bypass [16]

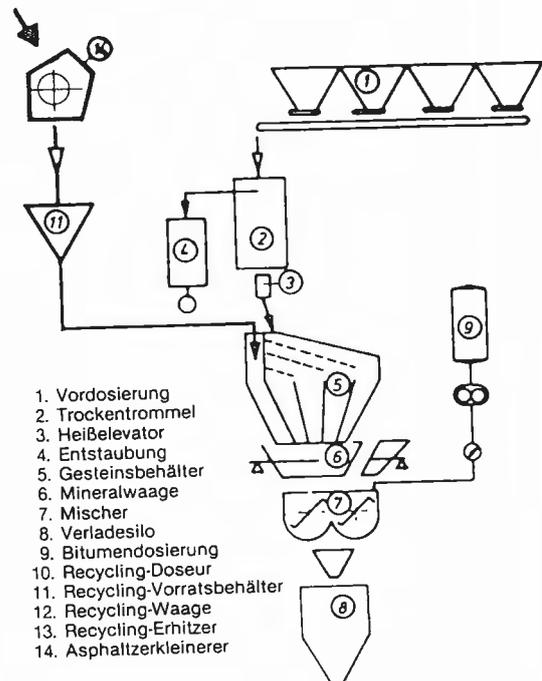
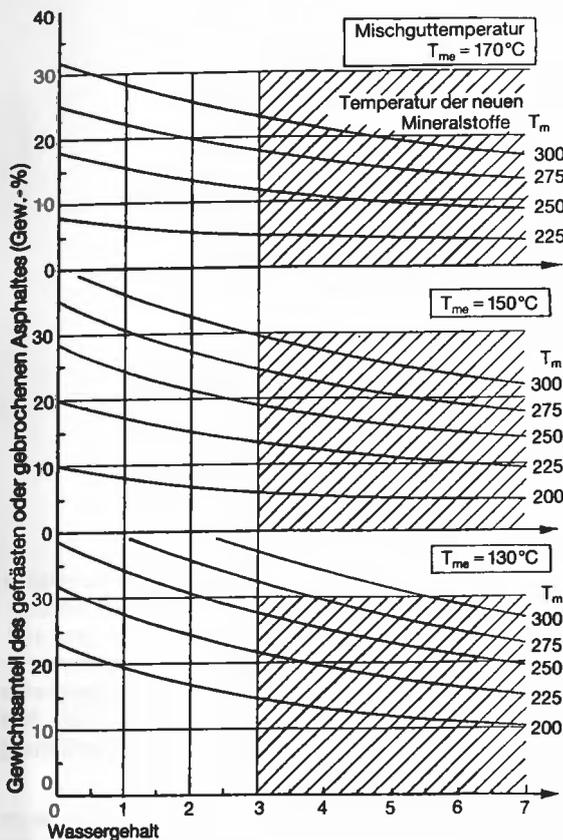


Bild 2.42: Temperatur des Mineralstoffgemisches in Abhängigkeit von der Zugabemenge und des Wassergehaltes des Ausbaumasphaltes [84]



Da bei den Chargenmischanlagen die Erwärmung des Asphaltgranulats über die erhitzten Mineralstoffe erfolgt, ist die Zugabemenge durch die zur Verfügung stehende Wärmekapazität der Mineralstoffe begrenzt.

Bei weitgehend trockenem Asphaltgranulat, mit Wassergehalten unter 3 Gew.-%, beträgt die Zugabemenge maximal bis 40 Gew.-%. Mit zunehmendem Wassergehalt muß jedoch die Zugabemenge erheblich reduziert werden.

Der Anteil an Asphaltgranulat wird auch im Hinblick auf die erforderliche schonende Behandlung des Bindemittels begrenzt, da höhere Zugabemengen höhere Gesteinstemperaturen erfordern. Bei Mineralstofftemperaturen von über 300°C treten thermische Schädigungen vor allem des frischen Bindemittels auf [16].

Während den relativ kurzen Mischzeiten in Chargenmischanlagen lassen sich insbesondere bei direkter Asphaltgranulatzugabe Inhomogenitäten im feinen Bereich nicht vollständig vermeiden. Mögliche Auswirkungen auf das Langzeit- und Verformungsverhalten sowie auf das Kälteverhalten des Asphaltes sind noch nicht ausreichend untersucht. Bei Verfahren, die eine zusätzliche Trocknung und Erwärmung des Asphaltgranulats ermöglichen, sind diese Prozessbedingungen weitgehend bekannt [18].

In der Abbildung 2.42 sind für 3 verschiedene Mischguttemperaturen Anhaltswerte für die Temperatur der Mineralstoffe in Abhängigkeit von der Zugabemenge und des Wassergehaltes des Ausbaumasphaltes dargestellt.

Trommelmischanlagen

Bei Trommelmischanlagen ist eine Zugabe von Asphaltgranulat in die Trockentrommel nur nach entsprechenden Ein- und Umbauten möglich. Hierbei kam der Anteil des eingesetzten Granulats höher als bei Chargenmischanlagen sein. Die Dosierung hängt jedoch von der Qualität und Gleichmäßigkeit des Ausbaumasphaltes ab. Das Granulat wird zusammen mit den neuen Mineralstoffen im Gleichstrom verarbeitet. Das Mineralstoff-Asphaltgranulatgemisch wird mit ergänzendem Bitumen versehen und gemischt. In einem nachgeschalteten Durchlaufmischer kann zusätzlich Füller zugegeben werden [13]. Eine nachträgliche Absiebung des Mineralstoff-Asphaltgranulatgemisches ist nicht möglich, wodurch sich nachträgliche Korrekturen der Mischgutzusammensetzung nur in Ausnahmefällen realisieren lassen [17].

Mehrere Verfahren wurden erprobt, bei denen eine Steigerung des Granulatzusatzes über 40 Gew.-% hinaus möglich sind (Bild 2.43) [16]:

- Zugabe in der Mitte der Trockentrommel
- Zugabe über eine Wurfbandanlage

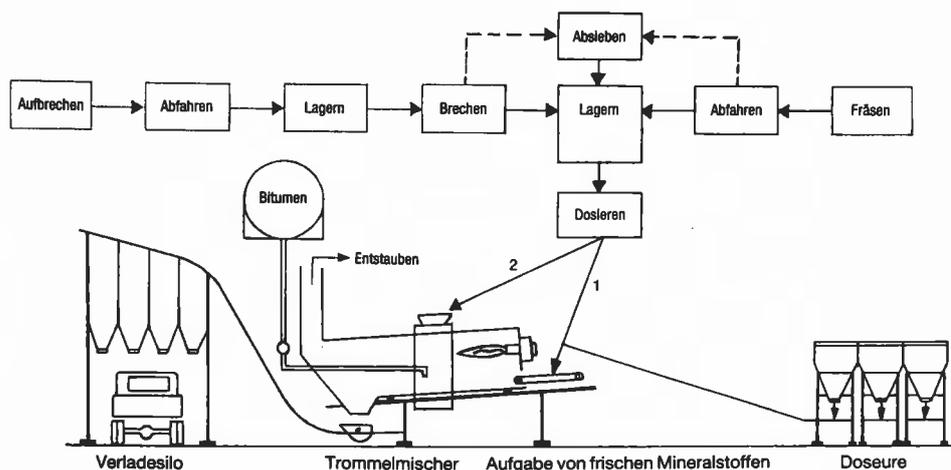


Bild 2.43: Zugabe von Ausbaumasphalt in eine Trommelmischanlage: [84]
 1. Zugabe über eine Wurfbandanlage zusammen mit den neuen Mineralstoffen
 2. Zugabe in die Trommelmitte

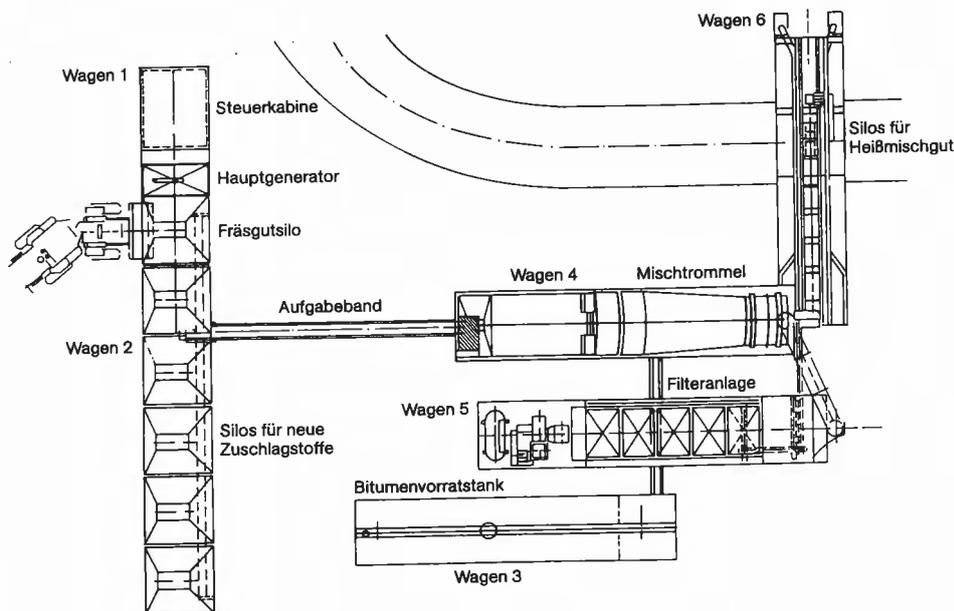


Bild 2.44:
Aufbau einer mobilen
„Drum-Mix-Anlage“ [87]

- Einsatz einer Paralleltrommel
- Aufheizen mit einem Infrarotgerät

Bei einigen Anlagen konnte mit Zugabemengen von Ausbauasphalt bis zu 70 Gew.-% ein Mischgut hergestellt werden, das den Anforderungen der technischen Vorschriften für Trag- und Binderschichten entspricht [16].

Bei Zugabemengen von 50 Gew.-% und mehr in Trommelmischanlagen muß jedoch sichergestellt werden, daß das Bindemittel des Asphaltgranulats vor Schädigung durch Flammenstrahlung oder hohe Gastemperaturen geschützt wird [18].

Trommelmischverfahren können auch als mobile Einheiten ausgeführt werden. Bei diesen „Drum-Mix-Verfahren“ sind die Einzelteile der Anlage auf Sattelaufleger installiert. In Bild 2.44 ist ein Schema einer solchen Anlage in Arbeitsstellung gezeigt.

Im einzelnen sind die insgesamt 6 Sattelaufleger mit folgenden Aggregaten bestückt [87]:

- Nr.1: Aufgabesilos für das gebrochene Asphaltgranulat und für evtl. notwendige zusätzliche Mineralstoffe, Hauptgenerator, Kabine für Steuerungs- und Überwachungseinrichtung der gesamten Anlage.
- Nr.2: Vier weitere Aufgabesilos für Mineralstoffe.
- Nr.3: Bitumenvorratstank mit Heizeinrichtung und eigener Stromversorgung.
- Nr.4: Mischtrommel mit der Aufgabeeinrichtung für die Zuschlagstoffe und Bitumen sowie einem Doppelwellenzwangsmischer.
- Nr.5: Rauchgasreinigungsanlage mit Gewebefilter und Rückführung des abgeschiedenen Staubes in die Mischtrommel.
- Nr.6: Silo für das Heißmischgut einschließlich eines Kettenförderers.

Trommelmischanlagen mit Paralleltrommel

Der Gleichstromtrommel zur Erhitzung des Asphaltgranulats ist eine Gegenstromtrommel zur Erhitzung des

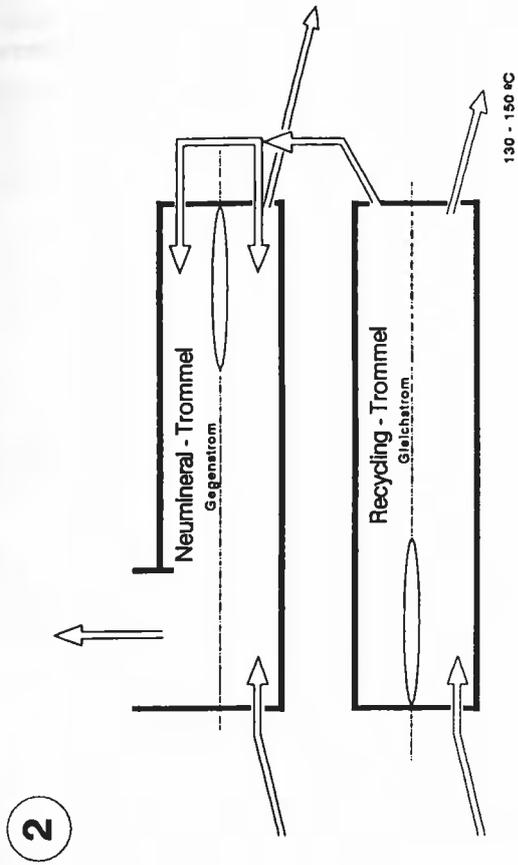
Neuminerals parallel angeordnet. Im nachgeschalteten Durchlaufmischer werden die getrennt erhitzten Mineralstoff- bzw. Asphaltgranulatströme durchmischt und evtl. mit Bitumen oder Füllern ergänzt. Der Abluftstrom der Gleichstromtrommel wird durch die Gegenstromtrommel geleitet, dabei abgekühlt und den Filtern zugeführt. Bild 2.45 zeigt die verschiedenen Systeme der Abgasführung bei Paralleltrommelsystemen.

Diese Systeme der Abluftführung gewährleisten beim Einsatz von 50–60% Ausbauasphalt die Einhaltung der TA-Luft. Eine Reduzierung des Kohlenwasserstoff-Gesamtgehaltes unter 50 mg/m^3 (bezogen auf 17% O₂) scheint technisch möglich. Die Qualität und der Wartungszustand des Brenners sind für die Schadstoffgehalte der Abluft von großer Bedeutung [66].

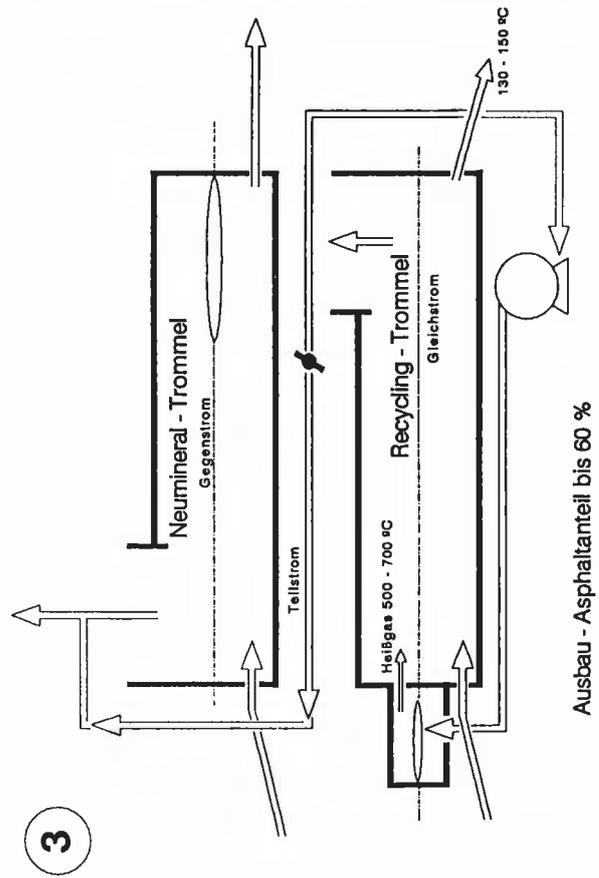
In der Bundesrepublik wurden ca. 30 Asphaltmischwerke mit Paralleltrommelsystemen nachgerüstet bzw. erweitert: Die technische Entwicklung ist dabei in vielen Bereichen noch nicht abgeschlossen [9,66,109]:

- Abgasbehandlung und -führung, d.h. Einfangen oder Nachverbrennen des Blue Smoke (Blaurauch),
- Mischtürme, in denen der warme/heiße Ausbauasphalt siliert und abgabebereit vorgehalten wird, lassen zeitweise höchste Zugabeprozentsätze ohne erhöhte Emissionen zu,
- Materialfreie Feuerungsräume und getrennt wirksame Unterdruckregelungen an beiden Trommeln,
- Trommeln, deren Neigung verstellbar und/oder deren Drehzahl geregelt werden kann,
- Weiterentwicklung der „weißen“ Gegenstromtrommel um Mengenspreizungen von 80:20 (alt:neu) bis hin zu 25:75 (alt:neu) oder auch 100 % Neumaterial bei der Herstellung von Sonder- und Deckenmischgut gerecht zu werden,
- Hochfrequenzerwärmung von Asphaltgranulat zur schonenden Bindemittelbehandlung mit günstigen Emissionsauswirkungen
- indirekte Erwärmung durch Heizgase in der Darre (Bild 2.46); diese besteht aus einer wärmeisolierenden

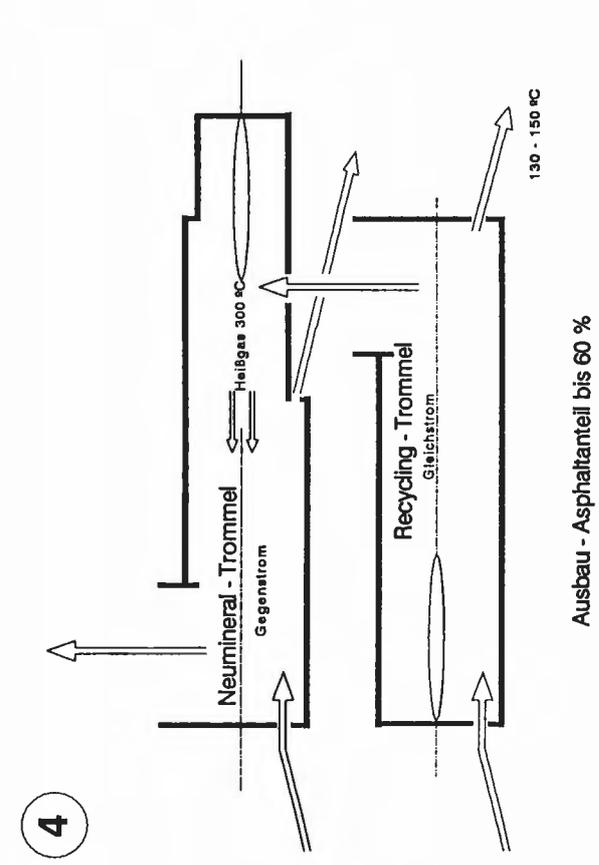
Bild 2.45: Systeme der Abgasführung bei Paralleltrommelsystemen [66]



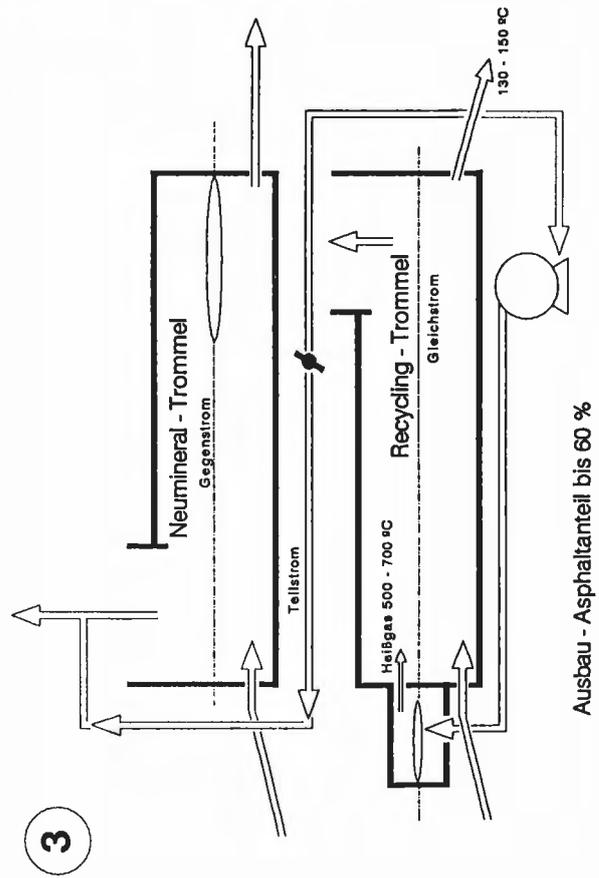
Ausbau - Asphaltanteil bis 60 %



Ausbau - Asphaltanteil bis 60 %



Ausbau - Asphaltanteil bis 60 %



Ausbau - Asphaltanteil bis 60 %

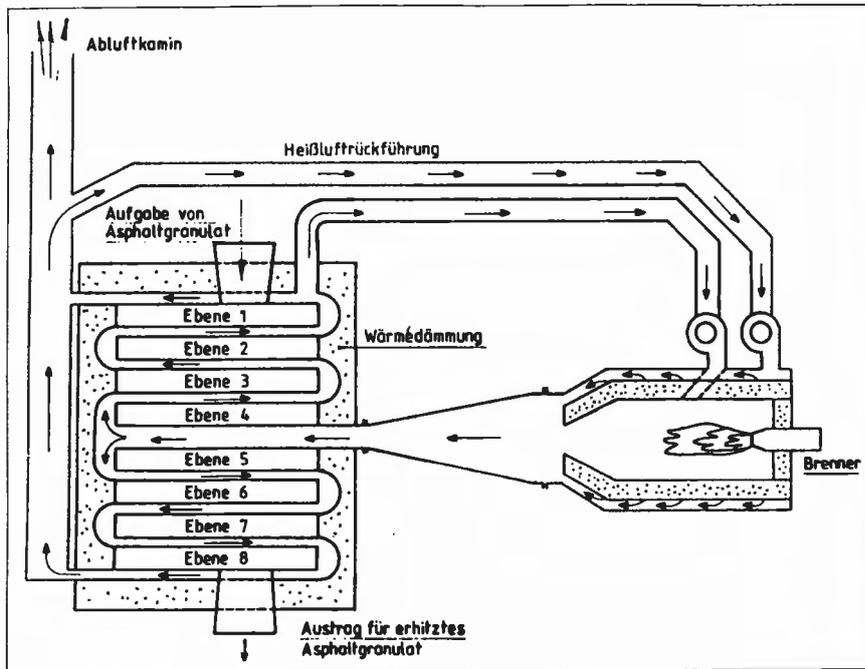


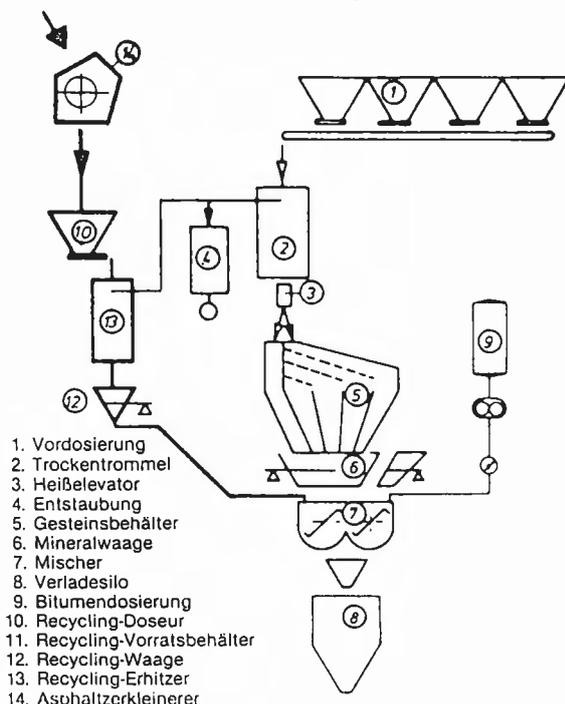
Bild 2.46:
Systemskizze einer Darre [9]

Kammer mit mehreren Heizgasrohren und Transportflächen übereinander.

Bild 2.46 zeigt eine Systemskizze der „Darre“. In Bild 2.47 ist das Verfahren zur Aufheizung des Granulats in einer Paralleltrommel schematisch dargestellt.

Auch als semimobile Einheiten kommen Paralleltrommel-systeme zum Einsatz, siehe dazu Kap. 2.2.1. Der Einsatz

Bild 2.47: Aufheizen des Asphaltgranulats in einer Paralleltrommel [16]



sowohl von mobilen als auch stationären Trommelmischanlagen ist im Sinne des Bundesimmissionsschutz-Gesetzes genehmigungspflichtig.

2.3.2.2 Bautechnische Voraussetzungen

Unter der Voraussetzung, daß ein gleichmäßiges Mischgut ohne Qualitätsabstriche hergestellt werden soll, ergibt sich eine Begrenzung der Zugabemenge aufgrund der Gleichmäßigkeit des Asphaltgranulats. Bei einem Granulat, das aus einem bestimmten „Vorkommen“ (Baustelle) stammt, kann aufgrund der höheren chemischen und physikalischen Homogenität sicherlich mit gesteigerten Zugabemengen gefahren werden, als bei Materialien, die aus mehreren unterschiedlichen Entnahmestellen stammen.

Zum anderen wird die Zugabemenge begrenzt von der Art des herzustellenden Asphaltmischgutes. Die Herstellung von beispielsweise Tragschichtmischgut erlaubt höhere Zugabemengen als die Herstellung von Binder- oder gar Deckschichtmischgut mit engeren Anforderungen an die Zusammensetzung. Der Einfluß von Schwankungen in der Mineralstoffzusammensetzung des gefrästen oder gebrochenen Asphalts kann durch eine Reduzierung der Zugabemenge verringert werden [16].

Die Paralleltrommel-Systeme bieten hier erheblich erweiterte technische Möglichkeiten an. Bild 2.48 zeigt eine Anlage zur Mischgutherstellung unter Mitverwendung von bis zu 80% Ausbauasphalt.

Es fehlen einheitliche Prüfmethode und Bewertungskriterien, um die Recyclingfähigkeit und Wiederverwendungsart z.B. Gehalte an phenolhaltigen Beimengungen aus Steinkohlenteer, Wiederverwendung in Binder-, Trag- oder Deckschichten; oder anderweitige Verwendung außerhalb des Straßenbaus) am konkreten Fall beurteilen zu können. Hier besteht aktueller Forschungsbedarf.

Bild 2.48: Doppeltrommelmischanlage der Fa. TEERBAU zur Mischgutherstellung unter Mitverwendung von bis zu 80% Ausbauasphalt



2.3.3 Betriebserfahrungen

Die Mischgutindustrie hält heute in rund 580 Mischanlagen eine Kapazität von etwa 100 Mill. Mg Mischgut pro Jahr vor. Hiervon wurden in den letzten Jahren nur 30 bis 50% ausgelastet. Die Mischgutproduktion hat sich bei rund 40 Mill. Mg im Jahr stabilisiert, davon entfallen ca. 10 % auf Ausbauasphalt [109].

Die verfahrens- und maschinentechnischen Entwicklungen der Asphaltindustrie wurden in den letzten Jahren von der Wiederverwendung von Asphalt weitgehend beherrscht. Ein Ende der Entwicklung ist noch nicht abzusehen.

Bei der Kaltzugabe von Ausbauasphalt direkt in den Mischer oder in den Heißelevator liegen die Grenzen

wegen der Wasserdampfentwicklung und der notwendigen höheren Temperaturen der neuen Mineralstoffe bei ca. 30 Gew.-%; bei Mittenaufgabe in die Trockentrommel sind ca. 40 Gew.-% möglich. Allerdings mit der Einschränkung, daß dann keine Absiebung des Mineralstoff-Asphaltgemisches mehr möglich ist. Höhere Zugabemengen sind nur mit den Paralleltrommelsystemen zu realisieren, in denen das Asphaltgranulat direkt oder indirekt schonend erwärmt wird.

Tabelle 2.2 zeigt die verschiedenen Zugabesysteme in den einzelnen Bundesländern, Stand 1987 [70].

Die Hochfrequenzerwärmung von Asphaltgranulat ist eine Methode, die im Hinblick auf schonende Bindemittelbehandlung und günstige Emissionsauswirkungen weiterverfolgt wird [109].

Tabelle 2.2:
Stationäre Mischwerke mit Zugabesystemen für Asphalt nach Bundesländern [70]

Bundesländer	Zugabesysteme					Summe
	Elevator	Waage	Mischer	Paralleltr.	ohne Ang.	
Baden-Württemberg	18	5	24	2	11	60
Bayern	15	4	30	3		53
Berlin (West)	1		3			4
Bremen			3			3
Hamburg			5			5
Hessen	12	1	10	3		26
Niedersachsen	10	1	7		13	31
Nordrhein-Westfalen						
- L.V. Rheinland	6	1	14		1	22
- L.V. Westfalen-Lippe	9	1	14	2		26
Rheinland-Pfalz	7	1	10	1		19
Saarland			1			1
Schleswig-Holstein	13	1	4	1		19
SUMME	91	15	125	12	25	268

Bei allen beschriebenen technischen Verfahren zur Aufarbeitung und Wiederverarbeitung von Asphalt handelt es sich um Heißverfahren. Diese sind als weitgehend ausgereift und bewährt anzusehen.

Daneben sind Kaltverfahren in Erprobung, die das Asphaltgranulat mittels Bitumenschäum und Emulsionen umhüllen und binden. Das Bindemittel des Ausbaumaterials wird thermisch nicht belastet, es können weitgehend keine gasförmigen Emissionen entstehen.

Problembehaftete Materialien wie phenolhaltiges Straßenpech (Steinkohlenteer) könnten so umhüllt und fixiert werden, daß die davon ausgehenden Emissionen gasförmiger Art und insbesondere durch Auswaschung verringert oder gar verhindert werden. Die Umweltrelevanz teerhaltiger Ausbaumasphalte ist in Kap. 4 ausführlich beschrieben.

Nach heutigem Stand ist der erzielbare Grad der Umhüllung mit Bitumen noch nicht vollständig [24,109].

2.4 Sortierung von Baustellenabfällen

Die Sortierung von Baustellenabfällen kann auf zwei unterschiedliche Ziele gerichtet sein [91]:

- Auf eine Trennung des Materials in brennbare, mineralische und metallische Bestandteile, um die einzelnen Komponenten einer Verbrennung, Deponierung (Monodeponie) bzw. Schrottverwertung zuzuführen.
- Auf eine gezielte Wiederverwertung einzelner Materialien aus dem Abfall. Hierbei werden Holz, Pappen und Kunststoffe aus der brennbaren Fraktion aussortiert. Die grobe mineralische Fraktion wird einer Bauschutt-Recyclinganlage mit integrierter Sichtung zugeführt.

Bei der Annahme von Baustellenabfällen zur Aufbereitung sollte darauf geachtet werden, daß keine Verunreinigungen durch Sonderabfälle enthalten sind. Wegen der hohen Beseitigungskosten von Sondermüll kann schon 1 Vol.-% Schadstoffe im angelieferten Abfall zu einer Erhöhung der Gesamtbeseitigungskosten von ca. 20% führen [91].

Die Wirtschaftlichkeit einer Anlage zur Sortierung von Baustellenabfällen richtet sich nach der Höhe des Bauschuttanteils im Inputmaterial. Entscheidend für die Gewinnung von wiederverwertbarem Bauschuttmaterial aus den Baustellenabfällen ist daher die Klassierung in

Leicht- und Schwerfraktionen. Die angewandten Klassierverfahren nutzen hierbei sowohl die unterschiedlichen Dichten und das Rollverhalten sowie die magnetischen Eigenschaften der zu trennenden Materialien.

Sortenreine Wertstoffe wie Pappen, Papier, Kunststoffe und Holz sind nur durch manuelle Verfahren aus dem Überkorn > 200 mm zu gewinnen.

Einen Überblick über die von diversen Maschinenbauern und Anlagenlieferanten am Markt angebotenen Aufbereitungsverfahren gibt Tabelle 2.3.

Die Anlagenkonzeptionen reichen von einer einfachen Vorsiebung bis zur vollmechanischen Trennung der einzelnen Fraktionen und Wertstoffe. In Bild 2.48 sind die einzelnen Arbeitsschritte, die eine Anlage zur Aufbereitung von Baustellenabfällen maximal zur Erreichung hoher Produktqualitäten leisten muß, aufgezeigt.

Beim Einsatz einfacher Siebmaschinen zur Feinkornabtrennung kann auf eine Ausarbeitung grober Bestandteile mittels Mobilbagger oder Polypgreifer nicht verzichtet werden. Zur Vorsortierung werden in vielen Anlagen Trommelsiebe oder das von Bezner für diesen Anwendungsbereich entwickelte Bechersieb eingesetzt. Für die Nachsiebung des Bauschutts aus der Fraktion < 300 mm haben sich Schwingsiebe wegen der im Vergleich zu Trommelsieben höheren Leistung und Wirtschaftlichkeit durchgesetzt [101].

Die Trennung von Leichtstoffen und Bauschutt aus den klassierten Stoffströmen ist sowohl im Luftstrom als auch durch Schrägsortiermaschinen möglich.

Das Feingut < 25 mm ist im allgemeinen wegen der zum Teil wassergefährdenden Inhaltsstoffe nicht für die Herstellung eines inerten Produktes geeignet.

In Bild 2.50 wird die Materialbilanz bei der Baustellenabfallaufbereitung veranschaulicht. Als Inertmaterial sind 41% einer Wiederverwertung zugänglich, 20 bzw. 50% (bei Deponierung der Feinfraktion < 25 mm) müssen auf Deponien abgelagert werden. Verwertbare Leichtstoffe, Holz und Metalle lassen sich mit ca. 9% aus dem Abfallgemisch sortieren [45].

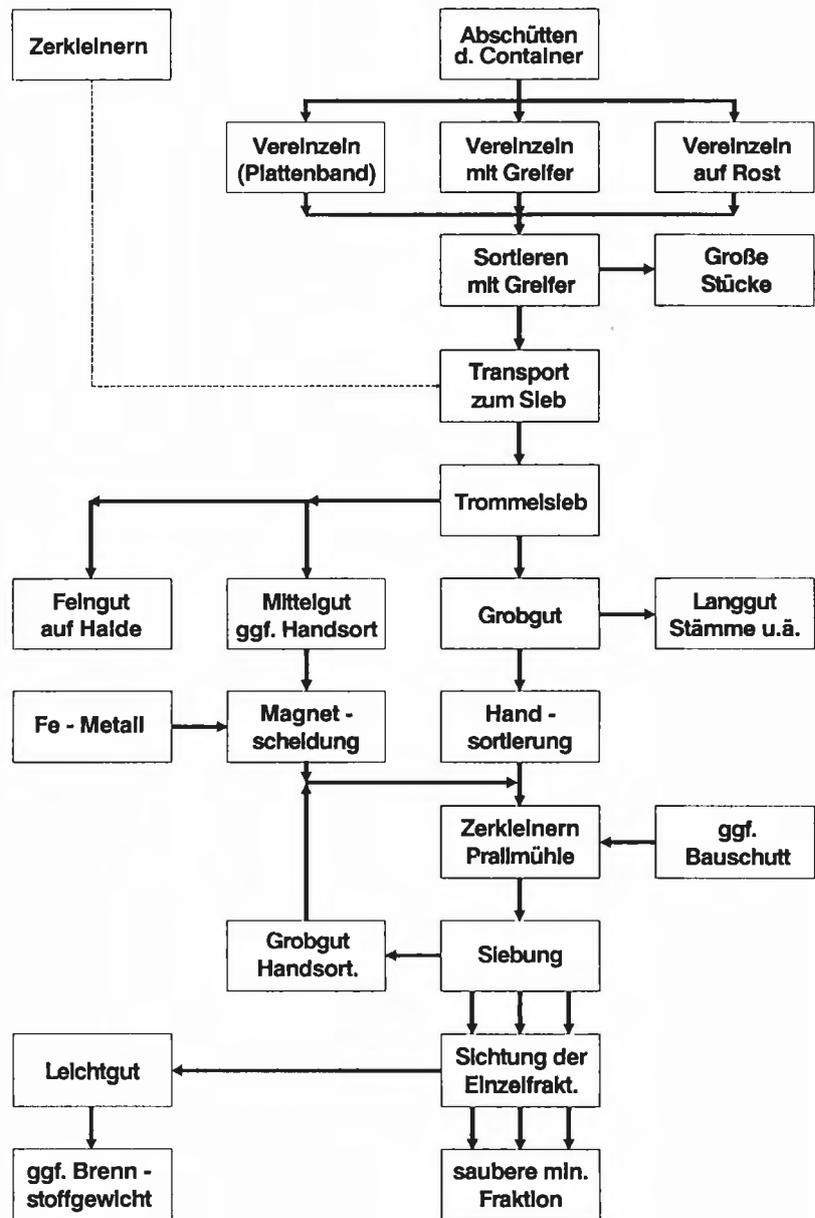
Die Funktionsweise einer Sortieranlage für Baustellenmischabfälle wird im folgenden an zwei Beispielen aus der Praxis veranschaulicht:

Sortieranlage für Baustellenabfälle der Fa. Bausch im Landkreis Ravensburg, System Bezner.

Anbieter/Planer	Referenzen
T.U.C. Consult AG Fa. Lindemann Düsseldorf	Zwei Anlagen zur Baustellenmischabfallsortierung in der Schweiz sowie umfangreiche Referenzen im Anlagenbau (66/80 cbm/h)
Maschinenfabrik Bezner GmbH & Co KG	4 Anlagen für Gewerbemüll/Baustellenabfall-Sortierung (150 cbm/h)
Industriebau- Dederichs GmbH & Co KG	Mehr als 10 mobile/semimobile Anlagen zur Aufbereitung von Baumischabfällen mit Durchsätzen von 25-30 cbm/Stunde verkauft
Sutco Maschinen- bau GmbH	Lieferant für Baustellenabfallsortieranlage Neuss (150 cbm/h)
Bernard Avermann GmbH & Co KG	2 Anlagen in der BRD und 1 Anlage in der Schweiz für Baustellenabfälle in semimobiler Ausführung und Durchsätzen von 30-120 cbm/h

Tabelle 2.3:
Anbieter von Sortieranlagen für
Baustellenmischabfällen [101]

Bild 2.49:
Fließschema für die Aufbereitung von Baustellenabfällen [101]



Die Anlage, die für einen Durchsatz von 80 m³/h (Baustellenabfälle) bzw. 150 m³/h (Sperrmüll und Gewerbeabfälle) ausgelegt ist, wurde im November 1988 in Betrieb genommen.

Anlagenbeschreibung:

Die zu sortierenden Abfälle werden einer Sichtkontrolle unterzogen und in den Aufgabebunker gefördert.

Kernstück der Anlage ist ein Bezner-Bechersieb, über das die unsortierten Abfälle in zwei Fraktionen getrennt werden (Bild 2.51).

Das von der Maschine ausgetragene Grobgut wird in Abhängigkeit vom Input-Material (Gewerbemüll bzw. Baustellenabfälle) entweder manuell sortiert oder ohne Sortierung beseitigt. Rund 90% dieses Materials kann der brennbaren Fraktion zugeordnet werden. Schüttreste sind mit Ausnahme grobstückiger einzelner Abbruchreste nicht mehr enthalten.

Der wesentliche Unterschied zu einer Siebtrommel besteht darin, daß durch die Konstruktion des Bechersiebes Verstopfungen ausgeschlossen sind und daher auf eine Vorsortierung des Materials verzichtet werden kann.

Das aus dem Bechersieb (Bild 2.52) geförderte Feingut (< 300 mm) wird in einer Plansiebmaschine in drei Teilströme zerlegt.

Das Zwischengut (40–100 mm) und das Grobgut (100–300 mm) werden auf 2 Schrägsortiermaschinen in Schuttbestandteile und Reste zerlegt. Die gewünschte Schuttqualität wird durch die Anordnung von Kettenvorhängen und Sortierbürsten sowie deren Bestückung erreicht [79].

Die Inertfraktion wird an einem Sortierarbeitsplatz vorbeigeführt. Diesem ist zur Erleichterung der Sortiertätigkeit ein Überbandmagnet vorgeschaltet, mit dem größere Eisenteile aus dem Materialstrom herausgehoben werden.

Bild 2.50: Materialbilanz bei der Aufbereitung von Baustellenabfällen [45]

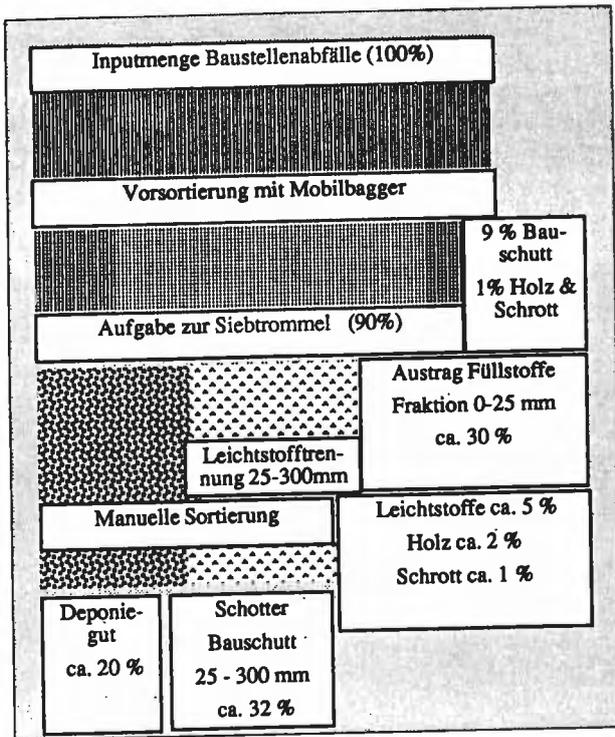


Bild 2.51: Verfahrensstammbaum der Sortieranlage für Baustellenabfälle (Fa. Bezner, Ravensburg)

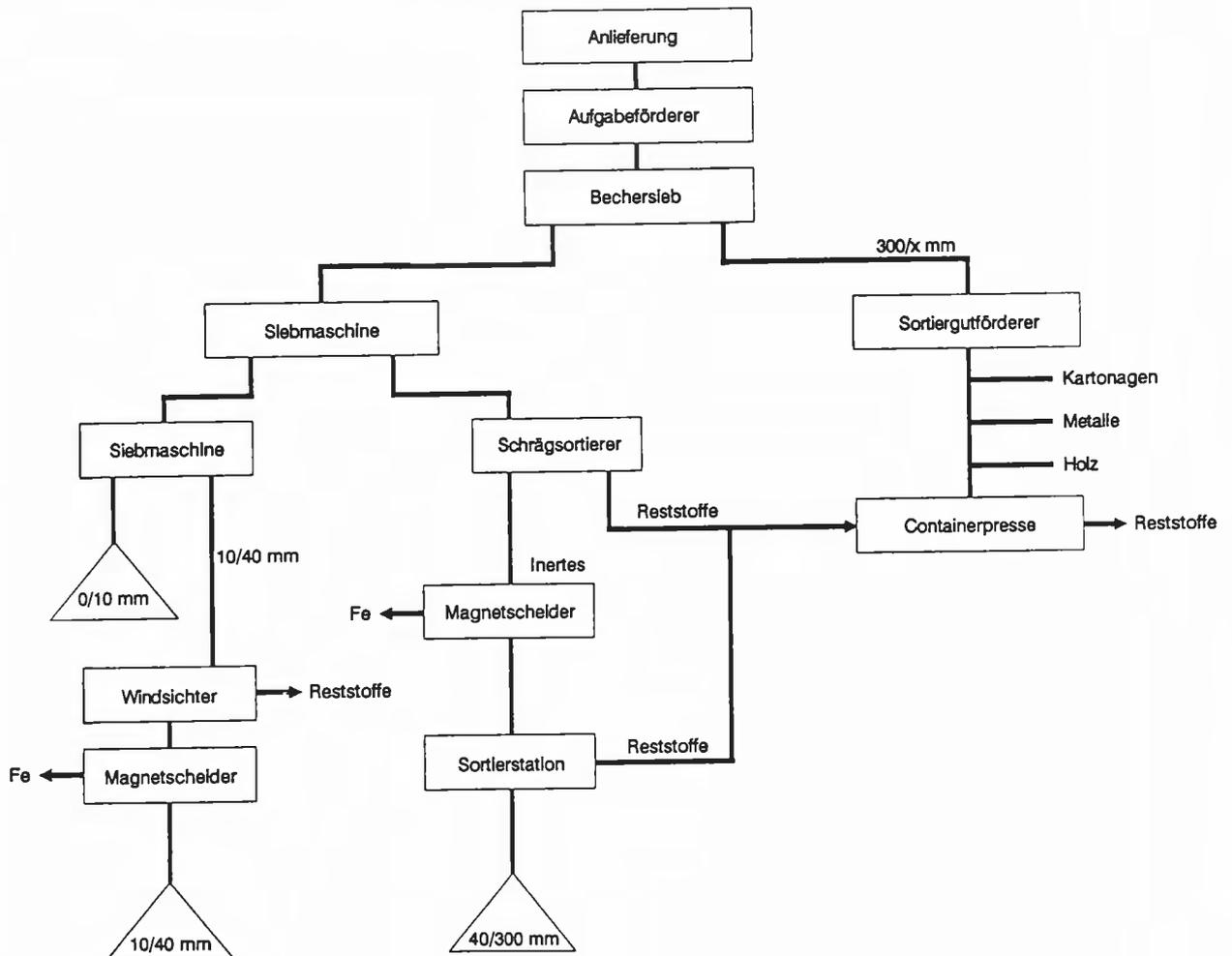
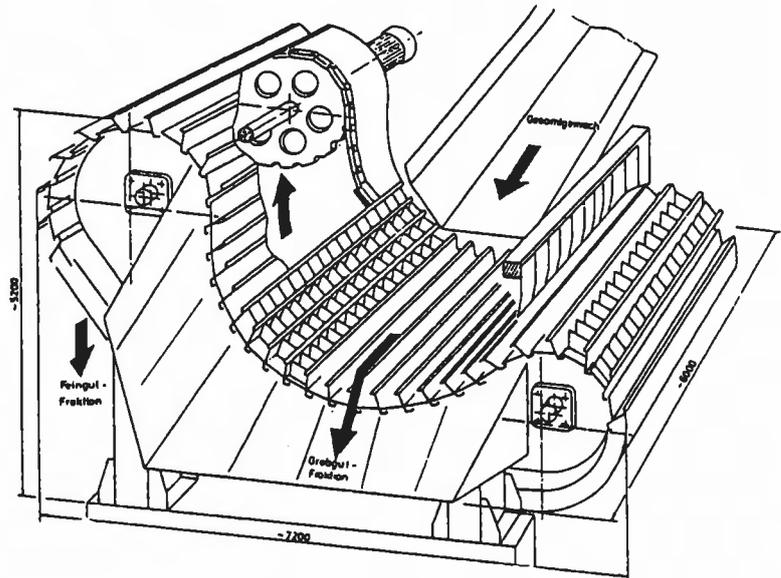


Bild 2.52:
Fa. Bezner Bechersiebmaschine
Typ BBS 315/4400



Das Feingut (0/40 mm) wird in einer dritten Siebstufe in zwei Teilströme zerlegt.

Die Fraktion 0/10 mm wird direkt in einen Bunker abgeführt, während die Fraktion 10/40 mm über einen pneumatischen Sichter sowie einen Überbandmagneten von sämtlichen Verunreinigungen bzw. Fe-Bestandteilen befreit wird.

Die Fraktionen 0/10 mm und 10/40 mm sind als Füllmaterial bzw. zum Wegebau vorgesehen. Die Körnung 40/300 mm soll einer Brecheranlage zugeführt werden.

Anlage der Fa. Straten zur Sortierung von Baustellenabfällen in Bochum, System Dederichs

Die semimobile Sortieranlage für Baustellenmischabfälle nach dem System Dederichs ist seit November 1988 auf der Bochumer Zentraldeponie Kornhagen in Betrieb. Von den angelieferten Mengen können ca. 60–80% durch die Anlage wiedergewonnen werden. Die restlichen 20–40% müssen deponiert werden. Die Durchsatzleistung beträgt je nach eingesetztem Material mindestens 35 m³/h.

Anlagenbeschreibung:

Das angelieferte Material wird über einen Aufgabetrichter mit hydraulisch kippbarem Gitterrost zur Abtrennung übergroßer Teile und Bewehrungsstahl der Siebstation über einen Förderer zugeführt (siehe Bild 2.53).

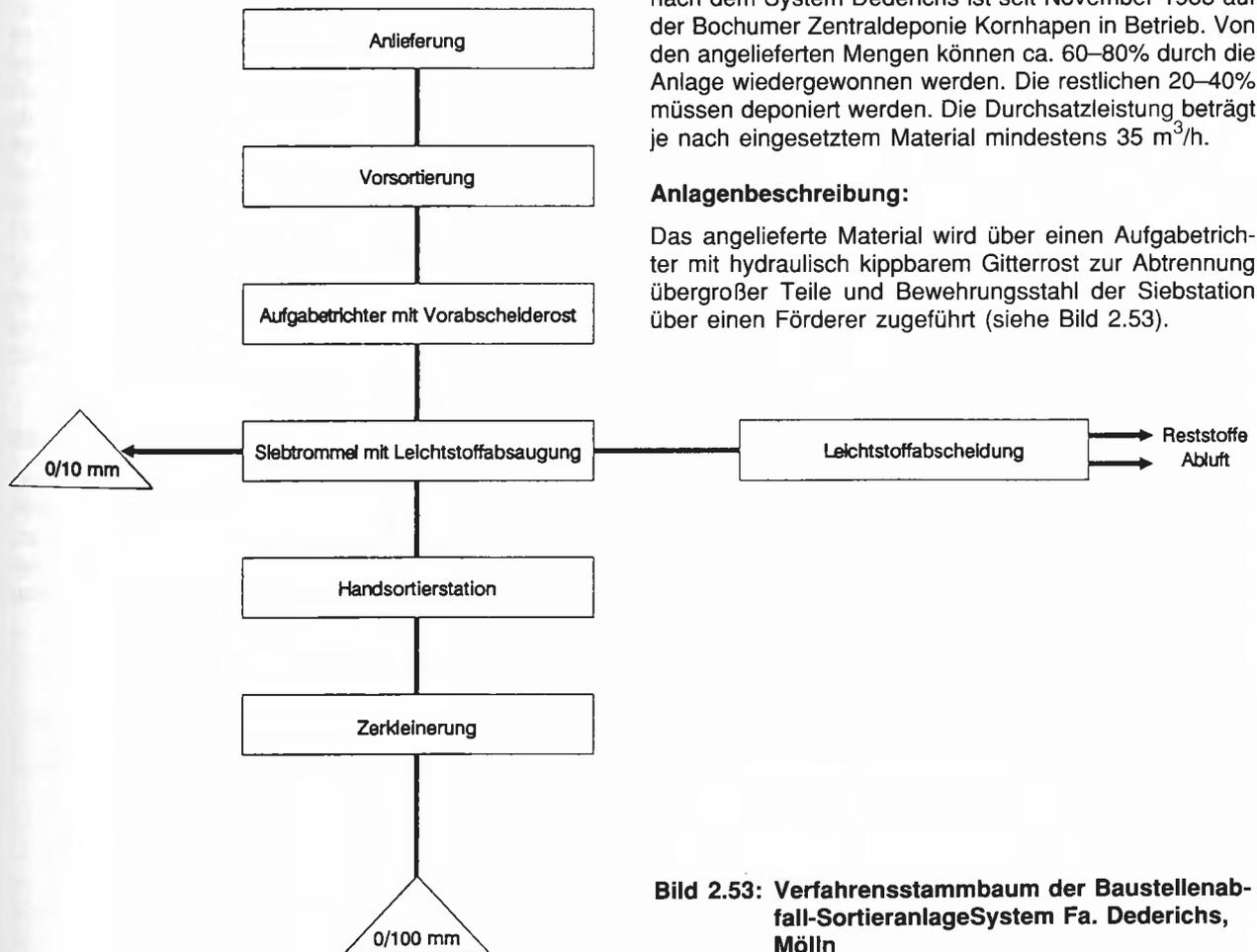


Bild 2.53: Verfahrensstammbaum der Baustellenabfall-Sortieranlage System Fa. Dederichs, Mölln

In der rotierenden Siebtrommel (8 m lang, 2,30 m Ø), die mit Einbauten zum Fördern, Umwälzen und Sieben des Aufgabegutes versehen ist, erfolgt sowohl eine Abtrennung der Feinfraktion als auch eine Trennung der schweren und leichten Teile. Während das Schwergut durch entsprechend angeordnete Mitnehmer ständig umgewälzt wird, werden die leichten Materialien aus dem Siebbett herausgehoben, abgesaugt und in Containern gesammelt.

Zur Vorabscheidung der abgesaugten Luft ist hinter der Siebtrommel ein Schwerkraftabscheider installiert. Eine regelbare Wasserbedüsung vermindert Staubemissionen durch die in die Container abgeworfenen Leichtstoffe.

Störungen im Trommelinnern sind durch ein im hinteren Bereich angeordnetes Sichtfenster zu erkennen.

Durch Einbau unterschiedlicher Siebroste wird im vorderen Teil der Trommel eine Feinfraktion < 10 mm und im hinteren Trommelbereich eine Fraktion < 20 mm gewonnen. Das von der Trommel ausgetragene Bauschuttmaterial (Korngröße 20-x) wird auf dem nachgeschalteten Leseband auf eventuelle Verunreinigungen hin kontrolliert und kann je nach Markterfordernissen direkt verwendet bzw. einer Zerkleinerung in einer Prallmühle zugeführt werden.

Der in zwei Fraktionen anfallende Sand wird zur Rekultivierung von Bergehalden oder zur Bodenverbesserung eingesetzt.

3. Produkte und Eigenschaften

Prinzipielle Forderungen für den Einsatz von Sekundärbaustoffen sind, daß die gleichen Qualitätsanforderungen wie an Primärbaustoffe gestellt und eingehalten werden.

Die Qualitätsprüfungen, die von unabhängigen Materialprüfinstituten durchgeführt werden, bieten einem Käufer die Gewähr, hochwertiges Material zu erwerben. Ferner geben die Prüfungen Auskunft über die möglichen Einsatzgebiete der Sekundärbaustoffe. Sind diese beispielsweise geeignet, in den Tragschichten beim Straßenbau eingesetzt zu werden, so lassen sich am Markt höhere Erlöse erzielen, als wenn das gleiche Material im Unterbau oder nur beim Bau von Lärmschutzwällen eingesetzt wird.

Die erstellten Prüfberichte enthalten im einzelnen:

- Probenahmeort und -datum;
- Korngrößenverteilungskurven;
- Zusammensetzung des Untersuchungsmaterials;
- Durchführung der Prüfung;
- Ergebnisse der Prüfung;
- Abschließende Beurteilung und Klassifizierung des Materials.

Die geprüften Sekundärbaustoffe können wie Neumaterial für die angegebenen Verwendungszwecke eingesetzt werden. Dennoch liegen die Marktpreise für Sekundärbaustoffe unter denen von Primärrohstoffen. Hochwertige Recycling-Baustoffe sollten hingegen bei gleicher Qualität zu vergleichbaren Preisen wie Primärprodukte einen Abnehmer finden. Um dies zu erreichen, müssen die Abnehmer auch weiterhin über die Eigenschaften von Sekundärbaustoffen und deren umwelttechnischen Zusatznutzen informiert werden.

Vor allem beim Abbruch von Hochbauten fallen Materialien an, die nicht direkt als Bauschutt oder Straßenaufbruch zählen, jedoch ebenfalls einer Verwertung zugeführt werden können [35]. Hierzu zählen:

Bauholz

Die Wiedergewinnung von Bauholz kann direkt beim Abbruch oder mit Hilfe von Sortiereinrichtungen bei der Baustoffaufbereitung erfolgen. Als Nutzungsmöglichkeiten von Holzteilen aus Abbruchobjekten ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- direkte Wiederverwendung, z.B. von Balken und Schallungen;
- Verwertung durch Aufbereitung (Entfernen von Fremdkörpern, Entnageln, Säubern) und Einsatz als Brettware, Leisten, u.ä.;
- Reststücke zerkleinern und zerspanen für die Faser-, Span- und Bauplattenherstellung;
- Häckseln für Füllstoffe und Isolierzwecke;
- chemische Verwertung in der Zellstoffindustrie;
- Zuschlagstoff bei der Kompostierung;
- Zerkleinerung und Brikettierung zu Brennstoff;
- Verbrennung zur Energiegewinnung.

Bauglas

Erfahrungsgemäß ist die unmittelbare Wiederverwertung von Flachglas nur sehr begrenzt oder gar nicht möglich. Es hat sich jedoch gezeigt, daß reine Flachglasscherben in der Glasindustrie zur Herstellung von Flachglas eingesetzt werden können.

Bau- und Betonstahl

Baustahl, der demontiert und abgetragen werden kann, wird entweder direkt wiederverwertet (Primärrecycling) oder über den Schrotthandel den Stahlhütten zur Herstellung von neuem Stahl zugeführt.

Stahl aus dem Verbundstoff Stahlbeton kann in Prallmühlen freigelegt und anschließend als Schrott vermarktet werden. Der aufbereitete und somit rückgewinnbare Stahl bei monolith gefertigten Stahlbetonteilen, z.B. bei Geschoßdecken des Wohnungsbaues, beträgt zwischen 30 und 50 kg/m³ Bruttogeschoßfläche. Bei Ingenieurbauten wie Brücken und Hochbauten können je nach Baustil und Statik die Stahlmassen weitaus höher liegen.

Die Erlöse (Preisbasis 1988/89) richten sich nach der Reinheit der Stahlfraktion:

- verunreinigter Stahl (z.B. mit Blechen, NE-Metallen) erbringt ca. 100-120 DM/Mg;
- reiner Stahl aus bewehrtem Beton erbringt bis zu 200 DM/Mg.

Ziegelbruch

Abbruchziegel und Ziegelschutt kann durch Zerkleinerung zu Ziegelsplitt verarbeitet und als Zuschlagstoff für neue Baustoffe oder zu Schüttmaterial für Wege eingesetzt werden. Im allgemeinen weist Ziegelbruch eine geringe Druckfestigkeit auf und ist damit nur beschränkt einsatzfähig. Ziegelmehl dient z.B. als Belag für Tennis- und Sportplätze [48]. Zum Teil wird Ziegelsplitt begrenzt als Leichtzuschlag beim Ziegelsplittbeton eingesetzt.

Kunststoffe

Kunststoffe, sofern diese als reine Fraktionen anfallen, können granuliert und zu Neuprodukten verarbeitet werden. Der Verarbeitung von Kunststoffgemischen sind technologische Grenzen gesetzt, die derzeit durch neue Entwicklungen erweitert werden sollen. Die bestehenden Verfahren zur Wiederverwendung von Kunststoff sind in [28] übersichtlich zusammengefaßt.

Verbundstoffe

Verbundelemente sind nicht mehr werkstoffhomogen; der Aus- und Umbau oder die direkte Rohstoffgewinnung, wie z.B. Wand- und Deckenpaneelen aus Holz, Metall und Pappe in Verbindung mit Kunststoffen, Beton oder Gips, ist meist technisch schwierig und unwirtschaftlich. Nur einfache Verbundprodukte wie z.B. Spanplatten lassen sich durch zerkleinern und erneutes Beimischen für neue Konstruktionselemente einsetzen.

3.1 Bauschutt

Die Aufbereitung von Bauschutt zu Recyclingbaustoffen ist nur wirtschaftlich durchführbar, wenn aus den anfallenden Baurestmassen ein hochwertiges, mit Neumaterialien konkurrenzfähiges Sekundärmaterial hergestellt werden kann. Die Erzeugung von nur minderwertigem Mischmaterial, das lediglich für Auffüllungen geeignet ist, gewährleistet keinen rentablen Betrieb einer Aufbereitungsanlage.

Zur Einhaltung der Qualität von Sekundärbaustoffen wurde 1983 die Gütergemeinschaft der Recycling-Baustoffe e.V. gegründet, die sich die Gütesicherung der Recycling-Baustoffe für den Straßenbau zur Hauptaufgabe gemacht hat. Die Erzeugnisse, deren Güte gesichert ist und die den Güte- und Prüfbestimmungen entsprechen, werden mit dem Gütezeichen RAL für Recycling-Baustoffe ausgezeichnet. Die Güte- und Prüfbestimmungen regeln die Art und den Umfang der Prüfungen an wiedergewonnenen Baustoffen.

Die nachfolgend aufgeführten Bestimmungen gelten für die Verwendung von Mineralstoffen im Straßenbau. Die Rückgewinnung von Asphalt für die Wiederverwendung in Asphaltmischanlagen ist nicht Bestandteil dieser Güte- und Prüfbestimmungen [86].

Die Grundlage für die Bestimmungen bilden die nachfolgend aufgeführten Regelwerke in der jeweils neuesten Fassung, wobei insbesondere auf das „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil IV: Wiederverwendung von Baustoffen“ [85] hingewiesen wird.

DIN 1996	Prüfung bituminöser Massen für den Straßenbau und verwandter Gebiete. Die einzelnen Teile der Norm gelten für bituminöse Massen (Gemische aus Mineralstoffen und Bindemitteln auf Bitumen- und Teerbasis), die im Straßen- und Flugplatzbau, im Wasserbau und im Hoch- und Tiefbau sowie im Erd- und Grundbau verwendet werden, ferner für Mineralstoffe, die zur Herstellung solcher Massen dienen.
DIN 1996 Teil 10	Prüfung von Mischgut auf Verhalten bei Lagerung im Wasser. Diese Norm dient zur Prüfung der Haftung zwischen Mineralstoff (Splitt und Kies) und Bindemitteln bei Einwirkung von Wasser.
DIN 1996 Teil 14	Bestimmung der Korngrößenverteilung von Mineralstoffen.
DIN 18123	Nennung der Bestimmungsmethoden. Baugrund; Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung der Korngrößenverteilung. Bestimmung mittels Siebung, Sedimentation oder einer Kombination beider Verfahren je nach Korngröße.
DIN 18136	Baugrund; Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit. Vereinheitlichung der Verfahren und Geräte zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit (Druckfestigkeit von Bo-

DIN 4030

denproben bei ungehinderter Seitendeckung) zur besseren Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse. Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase.

Die Norm gilt für die Beurteilung des Angriffsvermögens von solchen Wässern, Böden oder Gasen, die betonangreifende Stoffe enthalten und auf erhärteten Beton aller Art chemisch einwirken.

DIN 4226
Teil 3

Zuschlag für Beton. Prüfung von Zuschlag mit dichtem oder porigem Gefüge.

Diese Norm gilt für die Prüfung der von Fall zu Fall für Betonzuschläge nach DIN 4226 Teil 1 und Teil 2 verlangten Eigenschaften.

TL Min-StB 83

Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau.

Nennung des Geltungsbereichs, der Anforderungen und Prüfungen für Mineralstoffe, die im Straßenbau verwendet werden dürfen.

TP Min-Stb

Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe Teil 1 bis 6 im Straßenbau, 1982

Die TP Min enthalten Angaben über die Beurteilung der Gewinnungsstätten, der Probenahme der Mineralstoffe, deren allgemein stoffliche Eigenschaften, deren Widerstand gegen Verwitterung und gegen mechanische Beanspruchung und deren granulometrischen Eigenschaften.

Beim Einsatz der Sekundärrohstoffe müssen zusätzlich die folgenden Richtlinien beachtet werden:

- Richtlinien für die Anerkennung und Überwachung von Prüf stellen für bituminöse und mineralische Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau (RAP Stra).
- Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB 83).
- Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten (RiStWag), 1982.
- Verordnung über Trinkwasser und Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-Verordnung - TrinkwV), 1986.
- EG-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, 1980.
- Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (ZTV-Beton), 1978.
- Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTVV-StB), 1978.
- Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Bodenverfestigungen und Bodenverfestigungen im Straßenbau (ZTVE-StB), 1981 sowie die ZTVT-StB (Tragschichten im Straßenbau), ZTVbit-StB (Bau bituminöser Fahrbahndecken) und ZTV-LW (Befestigung ländlicher Wege).

Die Gütergemeinschaft klassifiziert wie in Tabelle 3.1 dargestellt die Sekundärbaustoffe in drei Klassen:

Tabelle 3.1:
Einteilung von Sekundärbaustoffen
nach Güteklassen (52)

Bauklasse	Gütebestimmungen
1	2
Klasse I	Baustoffe für Oberbauschichten im Straßenbau, die die Gütebestimmungen nach RAL-RG 501/1 in der Tabelle I/1 und I/2 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 Abschnitt 3 "Geltungsbereich der TL Min-StB" zu verwenden sind, jedoch die Gütebestimmungen nach RAL-RG 501/1 in der Tabelle II/1 und II/2 erfüllen.
Klasse III	Baustoffe für Lärmschutzwälle, Unterbau, Untergrundverbesserung, die die Gütebestimmungen nach RAL-RG 501/1 in der Tabelle III/1 und III/2 erfüllen.

Der Betreiber einer Aufbereitungsanlage ist nicht verpflichtet Mitglied der Gütegemeinschaft zu sein und unterliegt somit auch nicht deren Reglements. Soll jedoch das aufbereitete Material im Straßenbau Verwendung finden, sollte nach dem bereits mehrfach zitierten Merkblatt [85] ein Gutachten einer fachkundigen und einschlägig erfahrenen Prüfstelle für das Material vorgelegt werden. Der Betreiber belegt auf diese Weise die Qualität der Produkte.

Das Gutachten sollte folgende Angaben enthalten [85]:

- genaue Beschreibung des Nebenproduktes;
- Angaben über Umweltverträglichkeit;
- Angaben über die erforderliche Aufbereitung;
- Angabe des vorgesehenen Anwendungsbereiches;
- Angaben über die erforderliche Güteüberwachung (Eigen- und Fremdüberwachung);
- Angabe der angewandten Prüfverfahren und Begründung für deren Auswahl;
- Mitteilung der Prüfergebnisse;
- Beurteilung des Nebenproduktes hinsichtlich der Eignung für den vorgesehenen Anwendungszweck.

3.1.1 Qualitätssicherung

An Recycling-Baustoffe werden zunächst dieselben Anforderungen wie an die herkömmlichen Baustoffe gestellt. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes „Straße“ kann nur dann sichergestellt werden, wenn die Eigenschaften aller verwendeten Baustoffe den Qualitätsanforderungen des speziellen Verwendungsortes entsprechen. Die Qualität einer Straße ist demnach direkt mit der Qualität der Baustoffe und Baustoffgemische sowie der Qualität der Straßenkonstruktion, also der Bemessung und Bauausführung, verknüpft. Straßenbauarbeiten müssen unabhängig von der Art der Baustoffe (herkömmlich/alternativ) entsprechend dem Stand der Technik ausgeführt werden.

Im „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau; Teil: Wiederverwendung von Baustoffen“ wird die Qualitätssicherung analog zu den Forderungen der Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB 83), jedoch mit erhöhter Prüffrequenz und zusätzlichen, stoffspezifischen Prüfungen festgeschrieben. Die Qualitätssicherung umfaßt hierbei die folgenden Einzelprüfungen:

- Eignungsnachweis, Eignungsprüfung,
- Güteüberwachung (Eigenüberwachung, Fremdüberwachung).

Die Kontrollprüfungen während und nach Ende der Bauzeit schließen den Komplex der Qualitätssicherung ab.

Für die industriellen Nebenprodukte und die damit hergestellten Stoffgemische sind sinngemäß dieselben Prüfverfahren durchzuführen wie für neue natürliche Baustoffe und Baustoffgemische.

Anforderungen an die Baustoffe

Ausschlaggebend für den Einsatz alternativer Baustoffe sind – wie bereits ausgeführt – die Umweltverträglichkeit, die technischen Eigenschaften, insbesondere im Hinblick auf Homogenität und Qualität sowie die Wirtschaftlichkeitsfragen. Vor der Behandlung der Anforderungen im einzelnen sollen jedoch drei wesentliche Anmerkungen gemacht werden [37]:

- Die Festlegung der Anforderungen für Recycling-Baustoffe (und eigentlich auch für konventionelle Baustoffe) sollte unter der Prämisse erfolgen, daß eine mehrmalige Wiederverwendung in Betracht kommt.
- In der Mehrzahl der Fälle ist mit dem Einbau von Recycling-Baustoffen in weniger hochbelasteten Schichten, also unterhalb der Schichten zu rechnen, die mit konventionellen Baustoffen hergestellt werden. Beim Versagen der unteren, aus Recycling-Baustoffen bestehenden Schichten müssen zwangsläufig die darüberliegenden Schichten – auch wenn diese intakt sind – mit ausgebaut werden. Der entstehende Aufwand wird dabei beträchtlich.
- Bei der Festlegung von Anforderungen an Recycling-Baustoffe kommen auch die Prüfungen und Anforderungen von konventionellen Baustoffen, die auch für Sekundär-Baustoffe Gültigkeit haben müssen, wieder in die Diskussion. Es wird daher von den entsprechenden Fachgremien zu prüfen sein, ob die bisherigen Prüfungen noch relevant und die derzeit geltenden Anforderungen aktuell sind.

Eigenschaften

Die zu fordernden Eigenschaften von alternativen Baustoffen ergeben sich aus dem gewählten Einsatzort. In dem entsprechenden Regelwerk sind die zu erfüllenden Anforderungen enthalten (Zusätzliche Technische Vorschriften).

Die von Recycling-Baustoffen am schwersten zu erfüllende Anforderung ist die Gleichmäßigkeit: stoffliche Zusammensetzung und Eigenschaften der Komponenten bestimmen die Homogenität. Die Praxis hat gezeigt, daß an Recyclinganlagen die verfügbaren Mengen von Tag zu Tag unterschiedlich sein können und dadurch die stoffliche Zusammensetzung Schwankungen unterworfen

ist, falls keine genügend großen Halden mit der Möglichkeit der gezielten Selektierung vorhanden sind. Im Straßenbau einsetzbare Stoffe müssen für die Dauer einer Baumaßnahme oder zumindest eines Bauabschnittes homogen anfallen, um ein unterschiedliches Verhalten zu vermeiden.

Aufgrund der bisher gesammelten Erfahrungen enthält das „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau“ in Abhängigkeit vom Einsatzort obere Grenzwerte für den Anteil bestimmter Stoffgruppen (z.B. Ziegel, Asphalt) im Baustoffgemisch. Diese Angaben können jedoch nur Orientierungswerte darstellen, da die Eigenschaften dieser Stoffgruppen naturgemäß in weiten Grenzen schwanken. So haben beispielsweise Porotonziegel andere Eigenschaften als Straßenklinker. Die Anforderungen des Merkblattes sind im Anhang ausgeführt.

Von wesentlichem Einfluß auf die Einsatzmöglichkeiten eines Recycling-Baustoffes im Straßenbau ist die Menge, in der der Baustoff anfällt.

Technische Voraussetzungen

Zu den technischen und hydrologischen Voraussetzungen zählen die Verkehrsbelastung und die klimatischen Bedingungen an der Einbaustelle. Der Einsatzort (z.B. Oberbau, Unterbau, Lärmschutzwahl) wirkt sich auf die zu stellenden Anforderungen bezüglich der stofflichen Kennwerte und technischen Prüfungen aus.

Da die technischen Voraussetzungen einen starken Einfluß auf die Ausschreibung von Bauarbeiten haben, müssen in der Leistungsbeschreibung auch die sich aus der Einstufung als bedingt umweltverträgliche Baustoffe ergebenden zusätzlichen Maßnahmen aufgeführt werden. Dabei sind Verbote der Verwendung z.B. in Wasserschutzgebieten, die Ummantelung von Rohren und das Verlegen von Folien und Sickerrohrleitungen als mögliche Maßnahmen zu nennen. Die Bewertung von Nebenangeboten, die eine Verwendung von Recycling-Baustoffen vorschlagen, ist aufgrund der erforderlichen Vergleichbarkeit sehr schwierig. Die Äquivalenz der Bauweisen aus Haupt- und Nebenangebot kann zur Zeit nur abgeschätzt werden [37].

Lfd. Nr.	Prüfgegenstand	Prüfverfahren	RG Min-StB 83			Merkblatt			
			Eignungsnachweis	Güteüberw.		Eignungsnachweis	Güteüberw.		
				E	F		E	F	
1	Gewinnungsstätte, Aufbereitung gesteinskundl. Merkmale stoffl. Zusammensetzung	TP Min T 2.1	x		+	x	y ⁴⁾	4	
		TP Min T 3.1	x		+ 4)		*	4	
2	Durchführung der Eigenüberwachung		x		2	x		4	
3	Widerstand gegen Verwitterung: a) allgem. Erhebungen und gesteinskundl. Untersuchungen b) falls erforderlich: Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck c) falls erforderlich: Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel d) besond. Prüfung zur Raumbeständigkeit	TP Min T 4.2	x		.	x		1	
		TP Min T 3.3.1	x		.	x		1	
		TP Min T 4.3.1	x		.	x		1	
		TP Min T 4.2	x		2	x		4	
4	Widerstandsfähigkeit gegen Schlag: a) Splitt, Kies 1) b) Schotter 1) 2) c) Lavaschlacke		x		2	x		2	
			x		2	x		2	
		MLS, Prüfb1. 2	x		2	x		2	
5	Korngrößenverteilung	TP Min 6.3.1/2/3	x	*	2	x	*	4	
6	Kornform	TP Min 6.1.1.2	x		* 3)	2	x	*	2
7	Bruchfälligkeit	TP Min T 6.2.1	x		*	2	x	*	2
8	Reinheit und schädliche Bestandteile	6.6.1, 6.6.2 DIN 4226	x		+ 4)	2	x	* y 4)	4
9	Affinität zu bit. Bindemitteln	DIN 1996 T 10	x		.	x		2	
10	Schüttde. + Wasseraufnahme Atmosphärendruck Hochofenstüchschlacke und Metallhütenschlacke Schüttde., Lavaschlacke	TP Min T 6.5, 3.3.1	x		*	2			
		MLS, Prüfb1. 1	x		*	2			
11	Dichte	TP Min T 3.2				x		4	
12	Umweltverträglichkeit					x		2	

Legende: x durchzuführen
y bei wesentlichen Veränderungen
* alle 5 Jahre
w wöchentlich
(1) nur 1 Jahr
1) täglich
2) bei Verwendung nach ZTVE-StB nicht erfassen
3) nur wenn in Lieferkörnungen enthalten
4) entfällt bei umgebendem Kies und Lavaschlacke
5) nur nach Aussehen
E Eigenüberwachung
F Fremdüberwachung

Tabelle 3.2: Untersuchung nach RG Min-StB 83 und Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau [37]

Prüfverfahren für Recycling-Baustoffe

Für herkömmliche Mineralstoffe im Straßenbau basiert die Qualitätssicherung speziell auf drei Vorschriften:

- Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB 83)
- Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB)
- Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB 83)

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

In Tabelle 3.2 sind die Prüfungen, das Prüfverfahren und der Prüfumfang gemäß RG Min-StB und gemäß dem „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau; Teil: Wiederverwendung von Baustoffen“ zusammengestellt. Die Gegenüberstellung zeigt, daß die Güteüberwachung von wiederverwendbaren Baustoffen gemäß dem Merkblatt gegenüber den RG Min-StB um die Prüfung der Umweltverträglichkeit erweitert wird.

Bei den aufgeführten Prüfungen handelt es sich – mit Ausnahme der Beurteilung der Gewinnungsstätte und der Aufbereitung sowie der Überprüfung der Eigenüberwachungen – um Laborprüfungen. Die Art und den Umfang der Kontrollprüfungen legen die Zusätzlichen Technischen Vorschriften fest. Das „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau“ enthält hierzu keine Angaben. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß vor allem aufgrund der möglichen Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung der Recycling-Baustoffe auch den Kontrollprüfungen eine erhöhte Bedeutung zukommt. In welchem Umfang diese Prüfungen durchzuführen sind, sollte im Einzelfall z.B. auf Grundlage der stofflichen Zusammensetzung festgelegt werden.

Die Kontrollprüfungen umfassen neben den Laborprüfungen auch Feldversuche, so z.B. Plattendruckversuche zur Überprüfung der Verdichtung.

Die produzierten Recycling-Baustoffe müssen die geltenden Anforderungen und Prüfungen einhalten. Dies be-

deutet für einen Betreiber, daß möglichst homogene Chargen aus hochwertigen Baustoffen verarbeitet werden müssen, um z.B. die Anforderungen für Tragschichten einzuhalten.

3.1.2 Einsatzgebiete

Die Haupteinsatzgebiete für Sekundärbaustoffe werden auch in absehbarer Zeit die Tragschichten der Straßen sein. Die Anforderungen beziehen sich deswegen hauptsächlich auf den Straßenbau.

Die an Sekundärbaustoffe zu stellenden bautechnischen Anforderungen müssen vor allem in Hinblick auf die Qualität und Homogenität festgelegt werden. Die mit diesen Baustoffen erstellten Straßen müssen eine vergleichbare Gebrauchsdauer und Gebrauchseigenschaften erreichen, wie solche Straßen, die mit primären Baustoffen erstellt werden. Aus diesem Grund ist auf einen die Qualitätsanforderungen herabsetzenden Umweltbonus zu verzichten. Für den Bau untergeordneter Verkehrsflächen (Wege, Parkflächen) könnte unter bestimmten Bedingungen ein reduziertes Qualitätsniveau zugestanden werden. Allerdings ist auch hier die Forderung nach Homogenität unabdingbar.

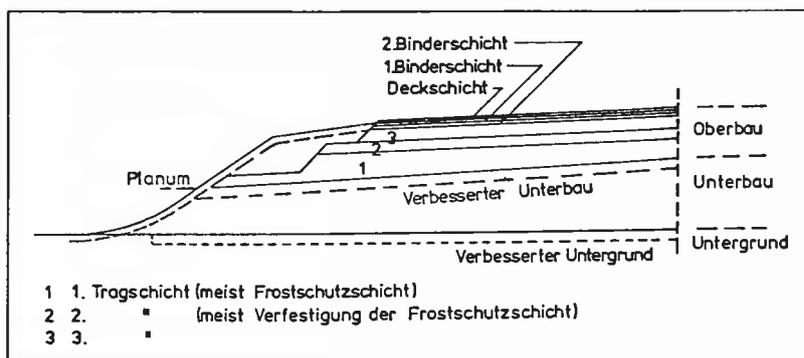
Entsprechend dem Strukturaufbau einer Straße können in den einzelnen Schichten unterschiedliche Qualitäten an recyceltem Material eingesetzt werden.

Die einzelnen Schichten lassen sich wie folgt charakterisieren (Bild 3.1) [113]:

Als Untergrund dient der natürlich anstehende Boden. Ist der Boden nicht ausreichend tragfähig, wird er ausgetauscht oder in der oberen Zone mit Bindemitteln oder mechanisch durch Zugabe von körnigem Material verbessert. Diese Zone wird als verbesserter Untergrund bezeichnet. Die eingesetzten Baustoffe für die mechanische Bodenverbesserung müssen den jeweiligen Anforderungen hinsichtlich der Körnung entsprechen.

Der Unterbau wird durch den künstlich hergestellten Dammkörper der Straße gebildet. Wird die obere Zone des Unterbaues durch besondere Maßnahmen – ähnlich wie beim Untergrund – zusätzlich bearbeitet, wird dies als verbesserter Unterbau bezeichnet. Die Schüttmaterialien sind in der Regel natürliche Böden. Eine Mindestbedingung ist die Raumbeständigkeit, d.h. die Baustoffe müssen unlöslich sein bzw. das Volumen darf sich durch die Reaktion mit Bestandteilen der Atmosphäre nicht ver-

Bild 3.1:
Prinzipdarstellung eines Straßen-
aufbaus in bituminöser Bauweise
[113]



ändern. Bei der Hinterfüllung von Bauwerken müssen Schüttmaterialien ausreichend durchlässig und dürfen nicht baustoffaggressiv sein.

Wird die obere Zone des Baugrundes oder des Unterbaus verbessert, so daß diese auch den Anforderungen an die Tragschichten genügt, kann diese Zone des Unterbaus bei der Bemessung des Oberbaus berücksichtigt werden. D.h., daß eine Schicht eines ausreichend verfestigten Sekundärbaustoffes als verbesserter Unterbau bei der Bemessung des Oberbaus angerechnet werden kann. Dies verringert die Stärke des Oberbaus und auf diese Weise die erforderlichen Herstellkosten.

Die Tragschichten und die Decke bilden den Oberbau. Die unterste Tragschicht gilt als Frostschuttschicht. Diese soll den Untergrund oder Unterbau nicht nur gegen Frosteinwirkung schützen, sondern hat auch tragende und entwässernde Funktionen. Die Decke setzt sich bei Zementbetondecken aus einer Schicht und bei bituminösen Bauweisen in der Regel aus zwei Schichten zusammen. Die Mineralstoffe für die verschiedenen Schichten des Oberbaus müssen den Anforderungen der TL Min 78 entsprechen. Insbesondere müssen die Stoffe raumbeständig, frost- und verwitterungsbeständig sein. Den mechanischen Beanspruchungen beim Einbau und unter Verkehrsbelastung muß standgehalten werden. Innerhalb der Straßenbefestigung müssen die Mineralstoffe für den Oberbau, und davon diejenigen für die Decke den hohen Beanspruchungen durch Umwelt und Verkehr genügen. Daher werden an diese die höchsten Anforderungen hinsichtlich der bautechnischen Eigenschaften gestellt.

Die derzeit praktizierten Einsatzmöglichkeiten für Recycling-Baustoffe werden in dem „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau; Teil: Wiederverwendung von Baustoffen“ [85] im Einzelnen beschrieben. Hieraus werden neben der Vielfalt die Einschränkungen des Einsatzes in Abhängigkeit von den Eigenschaften des jeweiligen Baustoffes deutlich. So können derzeit wiederverwendbare Baustoffe nicht in Betondecken eingesetzt werden.

Beachtenswert ist, daß alle bisherigen Handlungsweisen und -alternativen in Form von Merkblättern und Leitfäden als der unverbindlichsten Form von technischen Regelungen gefaßt sind [37].

Voraussetzung für den Einsatz alternativer Baustoffe ist die Einstufung in eine der drei Gruppen der Umweltverträglichkeit bzw. die Gewährleistung zusätzlicher Maßnahmen bei Baustoffen, die als bedingt umweltverträglich eingestuft sind. Erst nachdem diese Forderungen erfüllt sind, können Überlegungen über den Einsatzort angestellt werden. In Hinblick auf Erhaltungsmaßnahmen zu einem späteren Zeitpunkt mit anschließender Wiederverwertung (Mehrfachrecycling) muß der Einsatz für jeden Verwendungszweck und -ort im Straßenbau, entsprechend der technischen Eignung, grundsätzlich möglich sein. Im Rahmen der Qualitätssicherung werden sich die für den zu untersuchenden Baustoff günstigsten Einsatzmöglichkeiten sowohl unter technischen als auch umweltspezifischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ergeben.

Die erste Stufe der Untersuchung umfaßt die Begutachtung von Aussehen und Geruch der angelieferten Bauabfälle. Die Kenntnis der Provenienz und Vorgeschichte

der zu beurteilenden Baustoffe ist hierbei außerordentlich hilfreich. Besonders bei Aushubmaterial (z.B. aus Gaswerksgelände, Gelände von Galvanisierbetrieben, Gerbereien, Öllagern, Stanzwerken) liegen dazu mittlerweile Erfahrungen vor [37].

Die Prüfungen der zweiten Stufe können sowohl im Labor als auch vor Ort durchgeführt werden, da es heute sehr einfache Bestimmungsverfahren (z.B. für pH-Wert und Leitfähigkeit) gibt. Aufgrund der in der ersten und in der zweiten Stufe durchgeführten Untersuchungen läßt sich eine Vorauswahl treffen. Sind alle Anforderungen erfüllt, dann ist das angelieferte Material in der Regel verwendbar.

Die Leitfähigkeit gibt Aufschluß über den Gesamtgehalt an gelösten Salzen. Bei den in Böden und Baustoffen vorkommenden Salzen handelt es sich im wesentlichen um Ammoniumsalze, Chloride, Sulfate, Sulfite, Nitrate und Nitrite, die einerseits den Beton angreifen und die Korrosion von Eisen und Stahl fördern. Andererseits haben Salze einen starken Einfluß auf die Trinkwasserqualität, dürfen also nicht unbegrenzt in das Grundwasser eingeleitet werden.

Der pH-Wert ist eine Kenngröße für die Aggressivität sowohl von Böden als auch von Wässern, die mit den zu prüfenden Baustoffen in Kontakt gekommen sind. Bei pH-Werten < 6,5 kann beispielsweise von einer Aggressivität gegenüber Beton ausgegangen werden, bei pH-Werten > 8 ist eine Pufferwirkung vorhanden, die vor einer Austragung von Schwermetallen schützt.

Erst wenn nach den beiden ersten Prüfstufen Zweifel oder Unsicherheiten über die Umweltverträglichkeit bestehen und so die Eindeutigkeit der Aussagen noch nicht gegeben erscheint, sollten Prüfungen der dritten Stufe durchgeführt werden. Dies gilt vor allem dann, wenn aufgrund der Ergebnisse der beiden vorausgegangenen Prüfstufen auf das Vorhandensein schädlicher Salze, Schwermetalle oder organischer Verunreinigungen zu schließen ist.

Bei der Wahl der Verfahren für die Prüfung der Umweltverträglichkeit muß auf bestehende Verfahren, insbesondere das Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, DEVS4 zurückgegriffen werden.

Prinzipiell sind die Untersuchungen zu unterscheiden zwischen Analysen am Eluat und Analysen der Gesamtinghaltsstoffe.

Aufgrund der Analyseergebnisse und nach Festlegung straßenbauspezifischer Grenzwerte, die z.Zt. noch nicht einheitlich existieren, sollten die untersuchten Stoffe unter Berücksichtigung der Umweltverträglichkeitskriterien in die folgenden drei Gruppen eingeteilt werden [37]:

- Einstufung in Gruppe 1 „umweltverträglich“ bedeutet, daß der Stoff bzw. das Stoffgemisch keinen Grenzwert überschreitet und damit aus der Sicht der Umweltverträglichkeit unbedenklich einsetzbar ist.
- Einstufung in Gruppe 2 „bedingt umweltverträglich“ bedeutet, daß der untersuchte Stoff bzw. das Stoffgemisch Schadstoffanteile aufweist, die den zulässigen Grenzwert erreichen oder leicht überschreiten, aber evtl. durch Modifikation einsetzbar gemacht werden können.

- Einstufung in Gruppe 3 „umweltunverträglich“ bedeutet, daß der Stoff bzw. das Stoffgemisch eine unzulässig hohe Konzentration an Schadstoffen aufweist und demnach eine kontrollierte Deponierung erforderlich wird, sofern sich nicht auch in diesem Fall über eine Modifikation die Einsatzfähigkeit in beschränkter oder unbeschränkter Form erreichen läßt.

Aufgrund dieser Gruppeneinteilung ist entweder an direkte Einsatzmöglichkeiten zu denken oder an zusätzliche Maßnahmen [37]:

- Stoffe der Gruppe 1 sind überall und ohne Sicherheitsmaßnahmen entsprechend der technischen Eignung verwendbar, wobei die technische Eignung im „Merkblatt über die Verwendung industrieller Nebenprodukte im Straßenbau“ definiert ist (Decken-, Binder- oder Tragschichten, Frostschutzschichten, Dammschüttungen, Hinterfüllungen usw.).
- Stoffe der Gruppe 2 sind bereits problematisch und häufig Angelegenheit für sachkundige Gutachter. In der Regel ist die Verwendung in bestimmten Gebieten (z.B. Wasserschutzzonen) verboten. Während jedoch die Wasserschutzzone als potentieller Einbauort definiert ist, bestehen für andere Einsatzorte oder Gebiete große Schwierigkeiten in der Abgrenzung. Häufig wird der Einsatz alternativer Baustoffe der Gruppe 2 mit dem Einbau von Dichtungsfolien, Dichtungsmassen oder der kontrollierten Ableitung der Sickerwässer sowie sonstiger kostspieliger Vorkehrungen, wie z.B. der Schutzummantelung von Beton- und Stahlrohren verbunden.
- Stoffe der Gruppe 3 sind im Straßenbau ohne Beeinträchtigung von Mensch, Wasser, Luft, Boden, Flora und Fauna nicht einsetzbar. Diese Stoffe sind Abfall und müssen ordnungsgemäß entsorgt werden, es sei

denn, es gelingt, durch Aufbereitung oder Behandlung eine Wiederverwendbarkeit zu ermöglichen.

Erst wenn die Umweltverträglichkeit der wiedergewonnenen Baustoffe gewährleistet ist, sollte eine Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten gemäß dem „Merkblatt über die Verwendung industrieller Nebenprodukte im Straßenbau“ [85] erfolgen. Dabei hat sich gezeigt, daß die Möglichkeiten der Verwendung im Straßenbau von der technischen Eignung und somit von den stofflichen Eigenschaften der Sekundärbaustoffe abhängen. Allgemeingültige Aussagen sind nicht möglich, jeder wiederverwendbare Baustoff muß einer sorgfältigen Eignungsprüfung hinsichtlich bestimmter Einsatzmöglichkeiten unterzogen werden.

Die Tabelle 3.3 zeigt die Einsatzmöglichkeiten gemäß dem „Merkblatt über die Verwendung industrieller Nebenprodukte im Straßenbau“.

3.1.2.1 Verwendung des Sekundärbaustoffs als Betonzuschlag

Bisher wurden in der Bundesrepublik an der Universität GH Essen, Institut für Massivbau und der RWTH-Aachen, Institut für Bauforschung, Untersuchungen zur Verwendung von aufbereiteten Bauschutt als Zuschlagstoff von Beton durchgeführt. Desweiteren liegen aus den Niederlanden Erfahrungen über die Verwendung von Beton- und Mauerwerkschutt vor [33,46,110].

In den aufgeführten Untersuchungen wird jeweils als Voraussetzung genannt, daß der anfallende Bauschutt getrennt gelagert und in einer stationären Aufbereitungsanlage mit einer Reinigungseinheit (Naß- oder Trockenreinigung) von betonschädlichen Beimengungen wie Gips,

Tabelle 3.3: Verwendungsmöglichkeit gemäß „Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau; Teil: Wiederverwendung von Baustoffen“ [85]

Stoffgruppen	Verwendungsbereiche	A	B	C1	C2	D1	D2	E	F	G1	G2	H
		Lärmschutzwälle	Ungeb. Verkehrsfl. und Wegebau	Unterbau	Hinterfüllung und Über-schüttung	Verfüllung von Leitungsgräben	Bodenverfestigung und Untergrundverbesserung	Tragschichten ohne Bindemittel	Hydraulisch gebundene Tragschichten	Tragschichten mit bitumin. Bindemitteln	Bit. Deck- u. Binder-schichten	Betontragschichten
1	Asphalt	●	●	○	○	○	○	○	○ ¹⁾	● ²⁾	● ²⁾	
2	Beton, Betonwerksteine	●	●	●	●	●	●	●	●	○		●
3	sonst. hydr. geb. Materialien (z.B. HO-Schlacke)	●	●	●	●	●	●	●	●	○		●
4	Naturwerksteine, gebr. ungeb. Materialien, Gleisschotter	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5	Kies, Sand	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●
6	sonst. mineralische Massen (z.B. bindige und verwitterungs-empfindliche Stoffe)	●	○	●	○	○	○					
7	Ziegel, Mauerwerk, Steinzeug	●	●	●	○	●	●	○	○			○ ¹⁾

- Verwendung möglich
- Verwendung bedingt möglich

1) Als Beimengung zu den Stoffgruppen 2 bis 5 je nach Laboruntersuchung oder aufgrund von Praxiserfahrungen.
2) Siehe "Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstraßen - Teil: Bauliche Maßnahmen-Wiederverwenden von Asphalt"

Holz etc. befreit werden soll. Auch Asphaltaufruch führt zu Beeinträchtigungen des Betons. Die Fraktion < 4 mm sollte abgesiebt und durch Natursand als Feinzuschlag ersetzt werden. In einem niederländischen Normenentwurf wird für die Zusammensetzung der Zuschläge folgendes angegeben [110]:

Mauerwerksplitt

- mind. 65 Gew.-% Ziegel, Kalksandstein sowie Beton;
- max. 35 Gew.-% andere mineralische Baustoffe wie

Leichtbau	≤ 20 Gew.-%,
Gasbeton	≤ 10 Gew.-%,
Keramikerzeugnisse	≤ 20 Gew.-%,
Naturstein	≤ 20 Gew.-%,
Mörtel	≤ 25 Gew.-%.

Betonsplitt

- mind. 95 Gew.-% Beton
mit einer Kornrohichte von > 2.100 kg/m³

Die Kornrohichte von Ziegelsplitt liegt zwischen 1.200 und 1.800 kg/m³. Beim Ziegelsplitt handelt es sich danach gemäß DIN 4226, Teil 2 um einen Leichtzuschlag für Beton. Beton- und Mauerwerksplitt aus verschiedenen Steinsorten fällt hingegen nicht unter diese Norm. Hierfür sind bauaufsichtliche Zulassungen oder Zulaßmengen im Einzelfall erforderlich.

Eine ein- bzw. zweistufige Zerkleinerung mit einer Prallmühle führt im allgemeinen zu der gewünschten gedrunge- gen Kornform.

Zur Erzielung einer reproduzierbaren, gut verarbeitbaren Konsistenz des Frischbetons ist eine Vernässung des Beton- oder Mauerwerksplitts unerlässlich.

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit eines Betonsplittbetons liegt um 10 bis 30% unter der Festigkeit eines Referenzbetons. Bei Versuchen der GH Essen konnte durch Zugabe von Flugasche (bis zu 30% des Zementgehaltes) die Druckfestigkeit auf vergleichbare Werte des Referenzbetons erhöht werden.

Biegezug- und Spaltzugfestigkeit

Während die GH Essen eine bis zu 25% geringere Biegezug- und Spaltzugfestigkeit von Betonsplittbeton ermittelt hat, wurde an der RWTH-Aachen teilweise sogar eine Erhöhung festgestellt. Die Zug-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeit von Betonsplittbeton und Mauerwerksplittbeton wird danach mit ± 15% angegeben.

Elastizitäts-Modul

In beiden Untersuchungen wurde ein E-Modul von Betonsplittbeton ermittelt, der bis zu 30% unter dem des Referenzbetons liegt.

Dauerhaftigkeit

Die Prüfung der Wassereindringtiefe weist beim Betonsplittbeton größere Eindringtiefen als beim Referenzbeton auf, die geforderten Qualitäten werden jedoch erreicht.

An der GH Essen wurden bei Frost-Tausalzversuchen beim Betonsplittbeton bis zu 3,5 Vol.-% größere Abplatzungen im Gegensatz zum Normalbeton ermittelt.

Ziegelsplittbeton sollte prinzipiell nur in Bauteilen verwendet werden, die nicht der unmittelbaren Witterung ausgesetzt werden.

Schwinden und Kriechen

Nach Schulz (RWTH-Aachen) weist Ziegelsplittbeton erwartungsgemäß ein größeres Schwinden und Kriechen auf als Normalbeton. Der Schwindeprozeß kann durch die Zuschlagkornfeuchte z.T. beträchtlich verzögert werden.

Das Schwinden und Kriechen von Betonsplittbeton liegt näherungsweise proportional zum Gehalt an altem Zementstein höher als bei Normalbeton.

Zusammenfassung

Während Ziegelsplitt in den Geltungsbereich der DIN 4226, Teil 2 fällt, empfiehlt Schulz (RWTH-Aachen) für Mauerwerksplitt aus unterschiedlichen Splittsorten die Herstellung nicht genormter Baustoffe z.B. für die Herstellung von Betonwaren und Betonsteinen.

Betonsplittbeton kommt in den mechanischen Eigenschaften dem Normalbeton sehr nah. Dieser kann in Bereichen eingesetzt werden, wo hinsichtlich der Festigkeit und Dauerhaftigkeit normale Anforderungen bestehen [46,110].

3.1.2.2 Verwendung des Sekundärbaustoffes zur Herstellung von Betonsteinen

Die Herstellung von Betonsteinen mit Recycling-Baustoff wurde erstmals im November 1989 von Görisch vorgestellt [26].

Für die Herstellung des Betonsteinpflasters wurde der Recycling-Baustoff „KaRec“[®] der Fa. Schempp, Karlsruhe eingesetzt.

Eine Analyse der stofflichen Bestandteile über 3 Jahre ergab die in Tabelle 3.4 dargestellte Zusammensetzung.

Die Fertigung erfolgt analog zum konventionellen Referenzstein. Als Zuschlag für den Kernbeton wurden wiederaufbereitete Baurestmassen, Sägeschleifschlamm sowie Flugasche verwandt. Der Vorsatzbeton wurde herkömmlich gefertigt. Der optimale Wassergehalt stellt sich bei 0,36 ein.

Es wurden Pflastersteine nach drei Rezepturen mit unterschiedlichen Anteilen an Recycling-Baustoff als Zuschlagstoff hergestellt.

Tabelle 3.4: Stoffliche Bestandteile der wiederaufbereiteten Baumassen in Gew.-% zwischen 1986 und 1989

Bestandteile	Einheit	Gehalt
Beton	Gew.-%	57,1
Naturstein	Gew.-%	19,6
Asphalt	Gew.-%	19,0
Kies/Sand	Gew.-%	3,2
Ziegel	Gew.-%	1,2

Den Endpunkt der Optimierung stellte folgende Rezeptur dar:

- 45 Gew.-% KaRecR 0/16 mm mit einem Anteil von 5% 8/16 mm,
- 30 Gew.-% Rheinsand 0/2 mm,
- 25 Gew.-% Rheinkies 2/8 mm.

Für die Herstellung wurde ein Portlandzement 45 F, Verflüssiger, Flugasche sowie Sägeschleifschlamm verwendet.

In Bild 3.2 ist die Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Alter der Proben dargestellt. Die Anforderungen, die an Pflastersteine aus Beton gestellt werden, sind der DIN 18501 zu entnehmen. Hier werden Anforderungen an Beschaffenheit, Formen und Maße, Druckfestigkeit sowie an Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tausalz gestellt [26].

Beschaffenheit

Die Pflastersteine müssen mit geschlossenem Gefüge, frei von Rissen und gegebenenfalls mit parallelen Seitenkanten hergestellt sein. Fertigungsbedingte Poren sind für den Gebrauchswert ohne Belang, wenn die Anforderungen der Norm erfüllt werden. Werden Pflastersteine mit Vorsatzbeton ausgeführt, muß der Vorsatzbeton fest mit dem Kernbeton verbunden sein.

Formen und Maße

Pflastersteine aus Beton werden mit Verzugshöhen von 60, 80, 100, 120 und 140 mm sowie einer maximalen Länge von 280 mm hergestellt.

Die zulässigen Abweichungen von den Herstellmaßen betragen für Länge und Breite 3 mm, für die Höhe 5 mm. Eine Seitenfläche bzw. -kante gilt als eben bzw. gerade, wenn keine Ausbuchtung bei Steinhöhen 80 mm über 2 mm und bei Steinhöhen < 80 mm über 3 mm vorhanden sind.

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit, ermittelt an 5 Pflastersteinen, muß im Mittel 60 N/mm^2 betragen. Kein Einzelwert darf unter 50 N/mm^2 liegen (Bild 3.2).

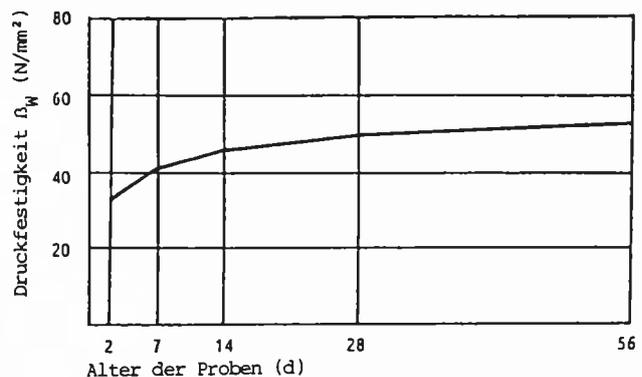
Widerstandsfähigkeit gegen Frost und Tausalz

Pflastersteine müssen gegen Frost und Tausalz widerstandsfähig sein. Pflastersteine nach der Norm sind erfahrungsgemäß ausreichend widerstandsfähig gegen Frost und Tausalz. Eine Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen Frost und Tausalz wird daher nur auf besondere Vereinbarung durchgeführt [26].

Tabelle 3.5:
Überprüfung der Druck-, Biegezug-, Spaltzugfestigkeit sowie der Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tausalz [26]

Kriterium	Einheit	IST-Referenz-Stein	SOLL-Referenz-Stein	IST-Recycling-Stein
Druckfestigkeit β_w 28	N/mm^2	70	60	60,1
Biegezugfestigkeit β_{BZ} 28	N/mm^2	7,0	6,0	6,5
Spaltzugfestigkeit β_{SZ} 28	N/mm^2	5,0	3,2	4,0
Frost-Tausalz-	mm	0,1	0,5	0,1
Widerstandsfähigkeit				

Bild 3.2: Zeitliche Entwicklung der Druckfestigkeit [26]



In Tabelle 3.5 sind Ergebnisse der Pflastersteine nach der genannten Rezeptur im Vergleich zu den Referenz-Pflastersteinen dargestellt.

3.2 Asphalt

Im Gegensatz zu aufbereitetem Bauschutt, der einer Vielzahl von unterschiedlichen Wiederverwendungsmöglichkeiten zugeführt werden kann, bietet sich bei Ausbauasphalt vorrangig eine Wiederverwendung als bituminöses Mischgut für den Straßenbau an. Material, das für eine Replastifizierung nicht mehr geeignet ist, wird meist deponiert, sollte aber einer Verwendung bei anderen Baumaßnahmen wie z.B. Lärmschutzwällen und Damm-schüttungen zugeführt werden. Die Einsatzmöglichkeiten sind in Kapitel 3.2.2 ausführlich beschrieben.

Für das Recycling von Ausbauasphalt ist die Kenntnis der Eigenschaften bituminöser Mischgüter sowie der einzelnen Komponenten notwendig.

Grundsätzlich bestehen bituminöse Mischgüter aus einem Mineralstoffgemisch abgestufter Körnungen und bituminöser Bindemittel. Die Eigenschaften lassen sich durch die Auswahl der Baustoffe (Mineralstoffe und Bindemittel) und durch das Mischungsverhältnis beeinflussen.

Als Mineralstoffe werden natürliche (Basalt, Diabas, Granit etc.) oder künstliche (Hochofen- und Hütten-schlacken) Gesteine eingesetzt. Je nach Aufbereitungszustand wird in ungebrochene und gebrochene Mineralstoffe unterschieden:

- ungebrochene Mineralstoffe: Natursand
Kies

- gebrochene Mineralstoffe: Brechsand
Splitt
Schotter
Edelbrechsand
Edelsplitt
Gesteinsmehl

Gesteinsmehle sind Feinstkörnungen, wobei bis zu 80 Gew.-% < 0,09 mm sind. Die Korngrößen < 0,09mm werden als Füller bezeichnet.

Für die Herstellung von bituminösen Mischgütern werden Füller und Splitt eingesetzt:

I. Füller haben folgende Aufgaben:

- Abminderung des Hohlraumgehaltes eines Kornsystems;
- Verbesserung der Verteilung des Bindemittels in grobkörnigen Haufwerken während des Mischvorgangs;
- Abminderung der Entmischungsneigung durch Eindickung;
- Erhöhung der Bindemittelviskosität;
- Streckung von Farbpigmenten zum Aufhellen von Deckschichten.

II. Edelsplitt- und Splittkörnungen

Edelsplitt sind hinsichtlich der Korngrößen schärfer getrennt und im allgemeinen besser geformt als Splittkörnungen. Deswegen wird Edelsplitt vorzugsweise für Deckschichten, Splitt für Trag- und Binderschichten eingesetzt.

Die für den Straßenbau eingesetzten Lieferkörnungen müssen verwitterungsbeständig, widerstandsfähig gegen Zertrümmerung, zäh, kantenfest etc. sein. Insbesondere dürfen diese nicht verunreinigt sein und keine quellenden und tonigen Bestandteile enthalten.

Für die Beschaffenheit und Prüfung der Mineralstoffe sind die Richtlinien nach DIN und die „Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau“ jeweils in der neuesten Ausgabe zu berücksichtigen. Die einzelnen Vorschriften (ZTVE, ZTVV, ZTVT, ZTVbit, TV-LW) sind im Kap. 3.1.1. genannt.

Bindemittel sind Substanzen, die Bitumen, Teere oder Peche enthalten. Diese bestehen aus Kohlenwasserstoffverbindungen vor allem paraffinischer Natur.

Bitumen wird bei der Aufbereitung von Erdöl durch Destillation gewonnen. Es wird aber auch als löslicher Anteil von Naturasphalten fertig gebildet vorgefunden.

Teere werden aus dem bei der Steinkohlaufbereitung anfallenden Rohteer gewonnen, indem die darin enthaltenen Peche in Steinkohlenteerölen gelöst werden [117].

Straßenpech enthält Phenole und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in unterschiedlichen Gehalten. In Teersandproben wurden beispielsweise 1,15 mg/kg PAK und 13,0 mg/kg Phenol gemessen [24]. Die wasserlöslichen Phenole werden ausgewaschen, PAK entweichen gasförmig.

In der MAK-Wert-Liste 1987 (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen) der Deutschen Forschungsgesellschaft sind die PAH, Steinkohlenteer, -teerpech und -teeröl in der Gruppe der „eindeutig als krebserzeugend ausgewiesenen Arbeitstoffe“ aufgeführt [53].

Straßenpech wird eingesetzt als:

- Tränkspritzung: Kaltpech mit hohem Weichmacherteil
- Reinbindemittel für Sand (Teersand)
- Carbobitumen (Gemisch aus Bitumen und Straßenpech in Trag-, Binder-, Deckschicht)
- „PVC-Teer“ (polymermodifiziertes Steinkohlenteer-Spezialpech) für heiß gespritzte Oberflächenbehandlungen
- Pechschlämme (emulgiertes Steinkohlenteerpech) für Antipetrolbeschichtung aus Asphalt

Ausmaß und Verteilung der Beimengungen aus Straßenpech beim ursprünglichen Straßenbau und späterer Straßenerhaltung sind nicht bekannt.

Bei der Aufbereitung und Wiederverwendung von bituminösem Material ist der Nachweis von Bestandteilen aus Straßenpech umweltrelevant. Verfahren zur Einkapselung und ausreichenden Fixierung von PAK und Phenol werden erforscht und versuchsweise angewandt [24], siehe dazu auch Kapitel 4.

Für den Straßenbau werden nachfolgende bituminöse Bindemittel verwendet [99]:

- Straßenbaubitumen
- Verschnittbitumen
- Kaltbitumen
- Bitumenemulsionen
- Naturasphalte
- Teerbitumen
- Straßenteere

Vorgenannte Materialien werden zur Herstellung bituminöser Mischgüter verwendet. Bei der Replastifizierung und Auflockerung alter Asphaltsschichten und der anschließenden Mischung mit Neumaterial muß gewährleistet sein, daß die beiden Chargen sich miteinander vermischen und verdichten lassen.

Unter den nachfolgenden Punkten werden die bestehenden Anforderungen an bituminöse Mischgüter genannt, wobei an Mischgut mit Asphaltgranulat die gleichen Qualitätsanforderungen gestellt werden wie an Neumischgut.

3.2.1 Anforderungen

Um eine wirtschaftliche Wiederverwendung von Asphalt durchzuführen, muß frühzeitig die Zusammensetzung des Ausbausphaltes ermitteln werden. Hieraus läßt sich die Eignung des Materials für die entsprechende Wiederverwendung bestimmen. Dies ist weiterhin Voraussetzung dafür, ob der Ausbausphalt entsprechend den jeweiligen Eigenschaften (Warm-, Kaltfräsgut oder Schollenabruch) getrennt gelagert und aufbereitet werden kann. Zum Teil erweist es sich als vorteilhaft, hochwertige Deck- und Binderschichten durch lagenweises Kaltfräsen zu gewinnen und so einer differenzierten Wiederverwendung zuzuführen.

Die Materialeigenschaften werden aufgrund von Bohrkernentnahmen und Mischgutuntersuchungen ermittelt. Entsprechende Untersuchungen werden von der Straßenbauverwaltung durchgeführt. Die Ergebnisse geben Aufschluß über Art und Eigenschaften des zu erwartenden Ausbausphaltes. Gleichzeitig kann aufgrund der Er-

gebnisse entschieden werden, welches Verfahren für die Erneuerung der Fahrbahndecke geeignet ist [1].

Fräsgut, das meist von Deckschichten, seltener von Binderschichten stammt, kann sehr heterogen sein bezüglich der Gesteinsart, der Korngrößenverteilung, des Bindemittelgehaltes und der Bindemittleigenschaften. Grund dafür sind die vielfältigen Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung oder Flickarbeiten mit Kaltmischgut. Schollenmaterial aus dem Aufbruch ist ebenfalls sehr heterogen, eine Trennung nach Mischgutarten kaum möglich [61].

Um eine gleichmäßige Zusammensetzung und hohe Qualität des Ausbausphalts zu erreichen, sollte bei der Lagerung des Ausbausphalts folgendes berücksichtigt werden [1]:

- eine saubere, trockene Unterlage, um möglichst Schutz gegen Witterungseinflüsse und vor allem gegen Feuchtigkeit zu gewährleisten;

- Fernhaltung von Fremdstoffen;
- getrennte Lagerung nach Art der Gewinnung (z.B. Fräsasphalt, Aufbruchmaterial) und nach den verschiedenen Qualitätssorten des selektiv wiedergewonnenen Materials (z.B. Fräsgut aus Asphaltbeton, Gußasphalt oder Binderschichten);
- Begrenzung der Schütthöhe auf ca. 3 m bei Fräsgut und ca. 6 m bei Aufbruchasphalt.

Eine sorgfältige, nach Güteklassen getrennte Lagerung des Ausbausphaltes ist Voraussetzung für eine gleichbleibende Qualität sowie für die Erzielung eines größtmöglichen Nutzens. Erst eine differenzierte Gewinnung, Lagerung und Aufbereitung sichert eine Güteklassifizierung, die eine Wiederverwertung auch in höherwertigen Schichten ermöglicht.

Da das Mischgut aus Asphaltgranulat und neuen Materialien nach unterschiedlichen Rezepturen zusammengesetzt wird, ist durch die Mischwerke eine exakte Dosierung des Asphaltgranulats sicherzustellen.

Tabelle 3.6:
Prüfungen für Eignungsnachweis und Güteüberwachung [82]

Lfd. Nr.		Prüfgegenstand	Prüfverfahren	Voruntersuchung	Güteüberwachung		
					E	F	
1	Asphalt vor Gewinnung	Korngrößenverteilung	DIN 1996, Teil 14	3.)			
2		Bindemittelgehalt	DIN 1996, Teil 6	3.)			
3		Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52 011	3.)			
4	Asphaltgranulat	Korngrößenverteilung	DIN 1996, Teil 14		#	☒	
5		Bindemittelgehalt	DIN 1996, Teil 6		#	☒	
6		Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 51 011		#	☒	
7		Gleichmäßigkeit	Vergleich der Zusammensetzung an einer ausreichenden Anzahl Proben	3.)	1.)		
8		Wassergehalt	Trocknung bei 110 ± 5°C bis zur Gewichtskonstanz		2.)		
	resultierendes Mischgut			Eignungsprüfung			
9		Bituminöses Tragdeckschicht	Bindemittelgehalt	DIN 1996, Teil 6	x	o	☒
10			Erweichungspunkt Ring und Kugel am resultierenden Bindemittel	DIN 52 011	x	■	☒
11			Korngrößenverteilung	DIN 1996, Teil 14	x	o	☒
12			Hohlraumgehalt bzw. Wasseraufnahme am Marshall-Probe-körper	DIN 1996, Teil 7	x	■	☒
13		Binder-/Tragdeckschicht	Bindemittelgehalt	DIN 1996, Teil 6	x	+	☒
14			Erweichungspunkt Ring und Kugel am resultierenden Bindemittel	DIN 52 011	x	*	☒
15			Korngrößenverteilung	DIN 1996, Teil 14	x	+	☒
16			Hohlraumgehalt bzw. Wasseraufnahme am Marshall-Probe-körper	DIN 1996, Teil 7	x	*	☒
17		Deckschicht	Bindemittelgehalt	DIN 1996, Teil 6	x	••	☒
18			Erweichungspunkt Ring und Kugel am resultierenden Bindemittel	DIN 52 011	x	♠	☒
19	Korngrößenverteilung		DIN 1996, Teil 14	x	••	☒	
20	Hohlraumgehalt bzw. Wasseraufnahme am Marshall-Probe-körper		DIN 1996, Teil 7	x	♠	☒	
21	Eindringtiefe am Probekörper bei Gußasphalt		DIN 1996, Teil 13	x	♠	☒	

- | | |
|---|--|
| x - durchzuführen | + - je 750 Mg Produktion oder wie vor |
| 1.) - regelmäßige Durchführung wird empfohlen | o - je 1000 Mg Produktion oder wie vor |
| 2.) - stichprobenweise Durchführung wird empfohlen | ♠ - je 2500 Mg Produktion |
| 3.) - bei Bedarf durchzuführen | * - je 3750 Mg Produktion |
| •• - je 500 Mg Produktion, an Tagen mit mehr als 100 Mg Produktion oder bei geringer Produktion mindestens an jedem 5. Produktionstag | ■ - je 5000 Mg Produktion |
| | # - je 500 Mg Asphaltgranulat |
| | ☒ - 2 x jährlich |

Güteprüfungen

Neben den Voruntersuchungen der alten Fahrbahndecke müssen wie bei allen anderen Baustoffen auch Eigenüberwachungsprüfungen zur Feststellung der Asphaltgranulatzusammensetzung durchgeführt werden. Eine Güteüberwachung der Mineralstoffe nach den RG Min ist meist nicht erforderlich, da die im Asphaltgranulat enthaltenen Mineralstoffe bereits vor der erstmaligen Verwendung der Gütesicherung unterlagen. Der Umfang der Prüfungen, der für neue Baustoffe üblich ist, sollte ebenfalls für Baustoffe, die einer Wiederverwendung zugeführt werden, entsprechend der nachfolgenden Auflistung verstärkt vorgenommen werden.

Prinzipiell sind vor der Wiederverwendung von Ausbauphosphol folgende Eigenschaften bei der Eigenüberwachung zu prüfen [1]:

- Bindemittelgehalt;
- Bindemittleigenschaften; in der Regel genügt die Ermittlung des Erweichungspunktes Ring und Kugel; es können jedoch auch weitergehende Prüfungen erforderlich sein;
- Korngrößenverteilung;
- Mineralstoffart;
- Wassergehalt.

In Tabelle 3.6 sind die Prüfungen für Eignungsnachweis und Güteüberwachung zusammengestellt.

Bei der Eigenüberwachung ist nicht nur die durchschnittliche Zusammensetzung, sondern auch die Gleichmäßigkeit der Qualitätsmerkmale festzustellen. Die Anzahl der Prüfungen sollte daher der zu verarbeitenden Materialmenge angepaßt, je Baustelle sollten jedoch mindestens 5 Proben untersucht werden. Als Richtwert gilt, daß eine Prüfung je 500 Mg Asphaltgranulat durchgeführt wird.

Die ermittelten Prüfergebnisse dienen zum einen der Eigenüberwachung und zum anderen als Ausgangsdaten, die bei der Eigenprüfung für das resultierende Mischgut zu berücksichtigen sind.

Ein oberer Grenzwert für den Erweichungspunkt Ring und Kugel des im Ausbauphosphol enthaltenen Bindemittels kann hinsichtlich der Wirksamkeit des Bindemittels z. Zt. noch nicht festgelegt werden. Es ist zu prüfen, ob bei einem Erweichungspunkt $> 70^{\circ}\text{C}$ das Bindemittel nicht so sehr verhärtet, daß das Asphaltgranulat für die Wiederverwendung als Mischgut nicht mehr geeignet ist [1]. Die Wirksamkeit des Bindemittelanteils sollte dazu durch einen Vergleich mit den technischen Daten von Mischgut aus ausschließlich neuen Baustoffen überprüft werden. Der Erweichungspunkt darf den Höchstwert des Erweichungspunktes R.u.K. des für diese Mischgutart vorgesehenen Bitumens um nicht mehr als 8°C überschreiten [84].

Zum Vergleich ist in Tabelle 3.7 eine Zusammenstellung der in der Bundesrepublik Deutschland hergestellten Bitumensorten mit den nachstehend erläuterten Prüfmethoden dargestellt [117]:

- Penetration: Eindringtiefe einer Prüfnadel unter festgelegten Versuchsbedingungen in eine Bitumenprobe bei 25°C Methode zur Klassifizierung von Bitumen;

Tabelle 3.7: Penetration, Erweichungspunkt RuK und Brechpunkt für die in der Bundesrepublik Deutschland hergestellten Bitumensorten [76]

Bezeichnung		Penetration bei 25°C in 1/10 mm	Erweichungspunkt RuK $^{\circ}\text{C}$	Brechpunkt nach FRAASS höchstens $^{\circ}\text{C}$
1		2	3	4
1	B 300	250-320	27-37	-20
2	B 200	160-210	37-44	-15
3	B 80	70-100	44-49	-10
4	B 65	50- 70	49-54	- 8
5	B 45	35- 50	54-59	- 6
6	B 25	20- 30	59-67	- 2
7	B 15	10- 20	67-72	+ 3

- Erweichungspunkt Ring und Kugel: Temperatur, bei der eine Bindemittelschicht unter der Auflast einer Stahlkugel unter festgelegten Versuchsbedingungen eine bestimmte Verformung erreicht;
- Brechpunkt nach FRAASS: Temperatur, bei der eine auf ein Stahlblech geschmolzene Bitumenschicht bei wiederholtem Biegen bricht bzw. Risse bekommt.

Die Temperaturspanne zwischen Brechpunkt und Erweichungspunkt umfaßt die für den Straßenbau günstigen Zähigkeiten.

In Bild 3.3 ist die Auswertung von 198 Eigenüberwachungsprüfungen von 6 Mischgutherstellern mit insgesamt 19 Mischwerken aufgezeigt. Hieraus ergibt sich, daß extrem verhärtete Bindemittel mit einem Erweichungspunkt über 70°C selten festgestellt werden. In

Bild 3.3: Prüfung des Erweichungspunktes (R+K) und des Brechpunktes nach FRAASS am extrahierten Bindemittel aus Asphaltgranulat [1]

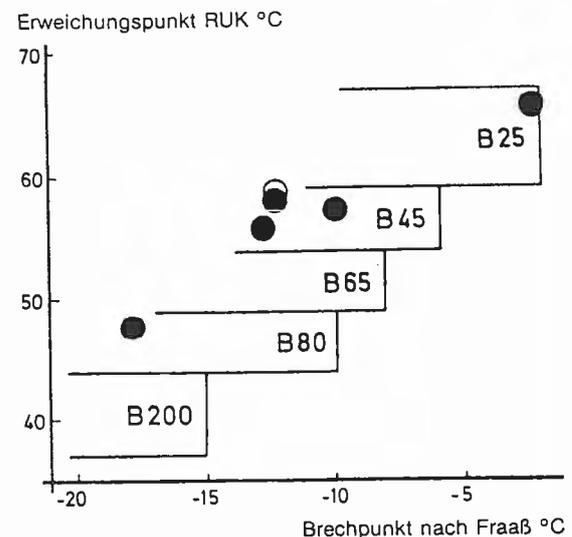
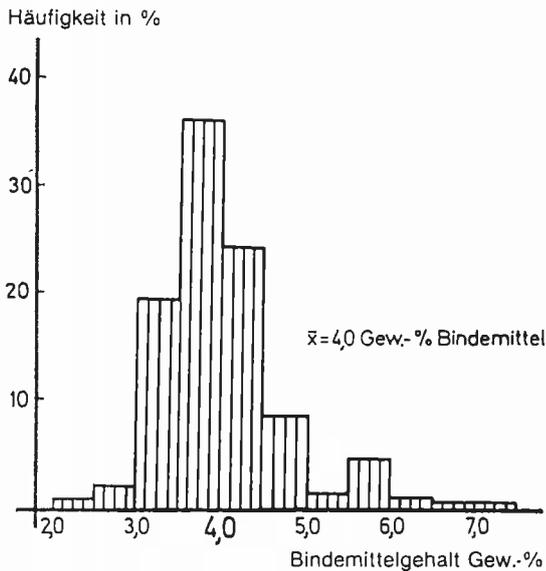


Bild 3.4: Bindemittelgehalt in Asphaltgranulat [1]



der Regel handelt es sich um ein gegenüber dem Ausgangsbitumen verhärtetes Bindemittel, das jedoch noch für eine Wiederverwendung geeignet ist.

Bei Untersuchungen der Bindemittelgehalte des Asphaltgranulats ergab sich, daß bei 77% aller Eigenüberwachungs-Prüfungen ($n = 186$, aus 19 Mischwerken) der Bindemittelgehalt zwischen 3 und 5 Gew.-% liegt (Bild 3.4). Bindemittelgehalte bis zu 7,5 Gew.-% werden hauptsächlich bei Fräsgut aus Deckschichten, insbesondere aus Gußasphalt gefunden [1].

In einer Eignungsprüfung sind die Auswirkungen der Kornzusammensetzung des Bindemittelgehaltes und des Erweichungspunktes auf die Eigenschaften des resultierenden Mischgutes zu ermitteln.

Im Prüfbericht über die Eignungsprüfung sind die Ergebnisse der Voruntersuchung und die Zugabemengen anzugeben.

In Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit des zuzugebenden Asphalt es zweckmäßig sein, die Anzahl der Eigenüberwachungsprüfungen am resultierenden Mischgut zu erhöhen.

Für die Recycling-in-place-Verfahren (Reshape, Repave und Remix) sind in dem Merkblatt für die „Erhaltung von Asphaltstraßen, Teil: Bauliche Maßnahmen, Instandsetzung, 2.4. Rückformen der Fahrbahnoberfläche“ Baugrundsätze, Bauverfahren, Ausführung, Anforderungen, Prüfungen sowie die Abnahmemodalitäten, Gewährleistung und der Abrechnung festgelegt.

Für die Ausführung von Recyclingarbeiten gelten neben zu sätzlichen Ausführungen zum Aufheizen, Auflockern und Einbau des Materials die Vorschriften der TV bit 3 bzw. 6. Die Angaben beziehen sich auch auf die Anforderungen bezüglich der profilgerechten Lage und die Bestimmung des Verdichtungsgrades beim Reshape und Remix-Verfahren. Beim Repaven mit Schichtdicken über 3,5 cm wird zur Ermittlung der Bezugsraumdicke der Bohrkern horizontal in zwei gleich dicke Hälften getrennt,

an denen jeweils die Raumdicke ermittelt wird. Mit dem Material der beiden Hälften werden die Probekörper hergestellt. Die bearbeiteten Schichten müssen einen Verdichtungsgrad von mind. 97 % aufweisen [83].

Zu Art und Umfang der Prüfungen wird lediglich vorgeschrieben, daß repräsentative Aussagen getroffen werden über [99]:

- die Lage der Schicht im Querprofil,
- die Zusammensetzung des Mischgutes,
- die Bindemittelart und -sorte.

Zudem wird in den „Baugrundsätzen“ eine geeignete Unterlage mit ausreichender Standfestigkeit und Tragfähigkeit gefordert. Beim Reshape-Verfahren gilt diese Forderung auch für das Deckschichtmaterial.

In den Vorschriften sind keine Prüfverfahren festgelegt, die Aussagen über die ausreichende Standfestigkeit und Tragfähigkeit erlauben. Für die Abnahme gelten die TV bit 7/71. Die Gewährleistungsfrist beträgt bei den genannten Verfahren zwei Jahre.

Das Langzeitverhalten von Deck-, Binder-, und Tragschichten unter Wiederverwendung von Ausbaupasphalt wurde mehrfach untersucht, verschiedene Versuchsstrecken mit unterschiedlichen Gehalten an Ausbaupasphalt in Trag- und Deckschichten wurden gebaut. Beispielfhaft wird genannt:

Bei einer Deckschichtbaumaßnahme an einer Bundesstraße wurden 1984 über 40.000 m² Asphaltbeton 0/11 mm verlegt. Der Fräsgutzusatz betrug 75 %. Die Deckschicht wurde nach 4,5 Jahren Liegezeit wie folgt beurteilt: geringe Verformungen zwischen 3 und 7 mm (höchste Verformung in einem Bereich mit ungünstigen Einbaubedingungen wie sommerliche Hitze und Verkehrsübergabe vor genügender Auskühlung), kein deutlicher Verschleiß, gute Struktur der Deckschicht, kein Unterschied zu vergleichbaren Decken [29].

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Erarbeitung von Qualitätsnachweisen bei der Wiederverwendung von Asphalt wurde eine Versuchsstrecke für bituminöse Tragschichten 0/32 mm mit und ohne Verwendung von Ausbaupasphalt gebaut. Das Mischgut wurde mit 30 Gew.-% Fräsgutanteil hergestellt. Aus den fertigen Tragschichten wurden Ausbaublöcke entnommen. Neben der optischen Beurteilung zur Abschätzung der Homogenität der zu vergleichenden Mischgutarten mit und ohne Fräsgutanteil wurden die mechanischen Eigenschaften zur Beurteilung des Langzeitverhaltens geprüft.

In Tabelle 3.8 sind die Ergebnisse der Kontrollprüfung dargestellt.

Die vergleichenden Untersuchungen (relative Reihung der Ergebnisse) zur Beurteilung des zu erwartenden Gebrauchsverhaltens bilden:

- dynamische Kriechversuche (Karlsruhe) an Bohrkernen bei einer Prüftemperatur von 40 bis 50° C,
- dynamische Biegezugversuche (Karlsruhe) an Prismen mit den Abmessungen 60 x 80 x 300 mm bei einer Prüftemperatur von 20° C,
- Abkühlversuche (Braunschweig) an Prismen mit den Abmessungen 60 x 60 x 160 mm im Tieftemperaturbereich.

	Einheit	IST		SOLL	
		1	2	3	4
Bindemittelgehalt	Gew.-%	4,2	3,9	4,0	4,0
Füller	Gew.-%	7,5	7,5	6,1	5,9
Sand	Gew.-%	28,3	26,9	28,5	29,1
Splitt	Gew.-%	63,9	65,6	65,4	65,0
Rohdichte R.Bit	g/cm ³	2,550	2,516	2,566	2,506
Raumdichte A	g/cm ³	2,397	2,337	2,381	2,351
Hohlraumgehalt	Vol.-%	6,0	7,1	6,4	6,2
Marshall-Stabilität	KN	11,5	13,0	12,0	12,0
Fließwert	mm	3,4	3,5	3,2	3,0
Erweichungspunkt Ruk	°C	57,0	59,0	-	-
Penetration	1/10 mm	39,0	39,0	-	-
Brechpunkt nach Fraass	°C	-18,0	-16,0	-	-

1 Mischgut 0/32 mm mit 30 Gew.-% Fräsgut
2 Mischgut 0/32 mm ohne Fräsgut

Tabelle 3.8:
Ergebnisse der Kontrollprüfung
[61]

Generell kann festgestellt werden, daß im Mittel die Anzahl der Lastwechsel bis zum Versagen durch Ermüdung beim Mischgut mit 30 Gew.-% Fräsgutanteil nahezu doppelt so hoch liegt wie derjenige für normales Mischgut. Bezüglich des Hohlraumgehaltes ist das Mischgut 1 mit Fräsgut deutlich homogener, während die Anzahl der bis zur definierten Ermüdung erreichten Lastwechsel – wenn auch auf hohem Niveau – doch stärker schwankt.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß sich Mischgut mit 30 Gew.-% Ausbauasphalt in der Praxis bei Kälte und Normaltemperatur nicht ungünstiger zu verhalten scheint als Standardmaterial [61].

Das Forschungsvorhaben zeigt die Bedeutung praxisorientierter Versuche im Vergleich mit herkömmlichen Laborversuchen zur Entwicklung von Qualitätskriterien für den Einsatz von Ausbauasphalt im Straßenbau.

3.2.2 Einsatzgebiete

Die Möglichkeiten der Wiederverwendung und somit die Einsatzgebiete von Ausbauasphalt lassen sich in Anlehnung an das Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstraßen in drei Kategorien einteilen [84]:

I. Wiederverwendung ohne Aufbereitung

Das anfallende Fräsgut und gegebenenfalls auch der Schollenbruch kann in geeigneter Größe ohne weitere Aufbereitung für den Bau von Lärmschutzwällen, zur Verbesserung des Untergrundes und des Unterbaues von Verkehrsflächen eingesetzt werden.

Bei Verwendung von Ausbauasphalt mit anderen Schüttgütern als Baustoffe für den Untergrund oder Unterbau muß beachtet werden, daß es nach Einbau und Verdichtung zu keinen schädigenden Setzungen kommt. Beim Bau von Lärmschutzwällen muß die Stückgröße des Ausbauasphaltes auf die Einbau- und Verdichtungsgeräte abgestimmt sein.

In geringem Umfang kann Fräsgut und zerkleinerter Schollenbruch bei untergeordneten Verkehrsflächen ohne besondere Anforderungen eingebaut werden. Unmittelbar befahrene Schichten werden hierfür möglichst mit noch nicht erkaltetem Warmfräsgut hergestellt, da so die Verdichtung innerhalb der Schicht sowie der Oberflächenschluß günstig beeinflußt werden.

Die Verwendbarkeit von gefrästem oder gebrochenem Asphalt im Oberbau von Straßen und Wegen als vollständiger oder teilweiser Ersatz von gebundenen oder

ungebundenen Tragschichten wurde weiterentwickelt. Der Ausbauasphalt wird dazu aufbereitet, siehe Kategorie III.

Fräsgut oder zerkleinerter Schollenbruch ist ohne zusätzliche Baustoffe nur schwer verdichtbar. Hierbei hat sich der Einbau von 10 bis 20 cm dicken Schichten unter Verwendung von korngestuftem Material unter Einsatz von Walzen als günstig erwiesen. Je nach Verwendungszweck eignen sich zum Einbau auch Fertiger und Verteilergeräte.

II. Wiederverwendung mit zusätzlichen Baustoffen

Es gibt Verfahren, bei denen gefräster oder gebrochener Asphalt im kalten Zustand nach Einmischung anderer Baustoffe vor Ort oder in Mischern wiederverwendet werden. Art und Menge der zusätzlichen Baustoffe richten sich nach dem Verwendungszweck. Unter Verwendung von z.B. Sand, Füller, Bitumenemulsion, Wasser und Zement kann der Ausbauasphalt derart aufbereitet werden, daß das Material für den Einbau für verfestigte oder unverfestigte Frostschutzschichten geeignet ist.

Wasser, Sand, Füller oder Zement können die Verdichtbarkeit des Ausbauasphaltes und die Standfestigkeit der Schichten verbessern. Bitumenemulsionen oder Lösungsmittel fördern die Verarbeitbarkeit des Asphaltes und können zum Verkleben beitragen, teerhaltige Anteile können umhüllt und gebunden werden.

Bei der Verwendung von Ausbauasphalt mit zusätzlichen Baustoffen ist eine homogene Durchmischung anzustreben (Verwendung von Mischanlagen).

Die Zugabe von bitumiösem Bindemittel oder Wasser erfolgt bei Verwendung von Bodenfräsen im Gerät oder falls erforderlich vorher mit Rampenspritzgeräten. Für den Einbau und die Verdichtung werden die im Straßenbau üblichen Einbau- und Verdichtungsgeräte verwendet.

Ausbauasphalt, der im eingebauten Zustand an der Oberfläche keine ausreichende Bindung hat, kann je nach Verwendungszweck nachbehandelt werden. Unmittelbar befahrene Flächen können z.B. mit kalt verarbeitbaren bituminösen Bindemitteln angespritzt und anschließend abgestreut werden.

Die in den Vorschriften festgelegten Prüfverfahren sind für die aus den vorstehenden Verfahren hergestellten Schichten nur zum Teil aussagefähig.

Tabelle 3.9: Zugabemengen an Ausbauasphalt bzw. Fräsasphalt zu verschiedenen Mischguttypen [121]

Schreiben vom	Land	Tragschicht				Binderschicht				Deckschicht				Landesvorschrift		
		Kalt-zugabe		Heiß-zugabe		Kalt-zugabe		Heiß-zugabe		Kalt-zugabe		Heiß-zugabe				
		z.Z.	Änderung geplant	z.Z.	Änderung geplant	z.Z.	Änderung geplant	z.Z.	Änderung geplant	z.Z.	Änderung geplant	z.Z.	Änderung geplant			
07.12.88	Baden-Württemberg	25 /1	-	40 /1	-	(20)/1	-	(20)/2	-	-	-	-	-	Erg. v. 19.08.87 ETV-BW 86		
28.11.88	Bayern	20 /1	25 /1	50 /2	75 /3	-	10 /1	-	20 /2	30 /3	-	10 /1	-	20 /2	30 /3	Erg. z. TVT 72 Altasph. 1983
21.11.88	Berlin	(25)/1	-	(25)/1	-	(10)/1	-	(10)/1	-	-	-	-	-	-	-	Allg. Anweisung vom 22.06.88
15.12.88	Bremen	(30)/1	-	(30)/1	-	(20)/1	-	(20)/1	-	-	-	-	-	-	-	ZTV stra Bremen 85
21.11.88	Hamburg	(30)/1	-	(30)/1	(50)/1	-	-	-	-	(15)/5	(15)/1	f. Guß- asphalt IV-VI	-	-	-	ZTV/St-HH 87
10.11.88	Hessen	(30)/1	ja	(60)/1	ja	-	ja	-	ja	-	ja	-	ja	-	ja	Rundverfüg. 8/85
29.11.88	Niedersachsen	(30)/1	ja	(30)/1	ja	(15)/1	ja	(15)/1	ja	-	ja	-	ja	-	ja	EBA-NS 86
02.12.88	NRW-LV Rheinland	(25)/1	-	(25)/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ZTV Stra. Rhld.
08.12.88	LV Westfalen-Lippe	(25)/1	-	(25)/1	(40)/1	-	-	-	(15)/2	b. BK 11	-	-	-	-	-	ZTV Stra. LV Westf.- Lippe 3/77 Erg. 2/87
21.11.88	Rheinland-Pfalz	(30)/1/2	-	(30)/1/2	-	(15)/2	-	(15)/2	-	-	-	-	-	-	-	Rundschr. v. 04.08.88
15.11.88	Saarland	(25)/1	-	(25)/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rundschr. v. 05.03.85
20.12.88	Schleswig-Holstein	(20)/1	-	50 /1/2	-	(20)/2	-	(20)/2	-	(20)/2/4	-	(20)/2/4	-	-	-	ZTV-Stras-Schleswig-Holstein 1/88

- () keine Aufschlüsselung auf Kalt- oder Heißzugabe
- /1 Aufbruchasphalt - Ausbauasphalt
- /2 Fräsgut aus Binder- und Deckschichten
- /3 Fräsgut aus Binder- und Deckschichten; besondere Fachkenntnisse bei Rezeptierung und Herstellung erforderlich
- /4 in Tragdeckschichten
- /5 Ausbauasphalt aus Gußasphalt

Der Wiederverwendung von Ausbauasphalt ohne Aufbereitung sind im Straßenbau Grenzen gesetzt; die großen Mengen an ausgebautem Asphalt lassen sich auf diese Weise nicht verarbeiten. Der Stand der Aufbereitungstechnik und parallel dazu die Entwicklung neuer Asphalt-schichten eröffnet demgegenüber den Einsatz von max. bis zu 100 Gew.-% Ausbauasphalt, siehe dazu auch Kapitel 5.

III. Wiederverwendung nach Aufbereitung

Die verschiedenen Verfahren zur Aufbereitung von Fräs- und Aufbruchasphalt sind in Kapitel 2.3 ausführlich beschrieben. Ausbauasphalt wird dabei in der Asphaltfabrikation miteingesetzt. Der Wiedereinsatz in der Herstellung von Mischgut für Trag- und Binderschichten ist Stand der Technik.

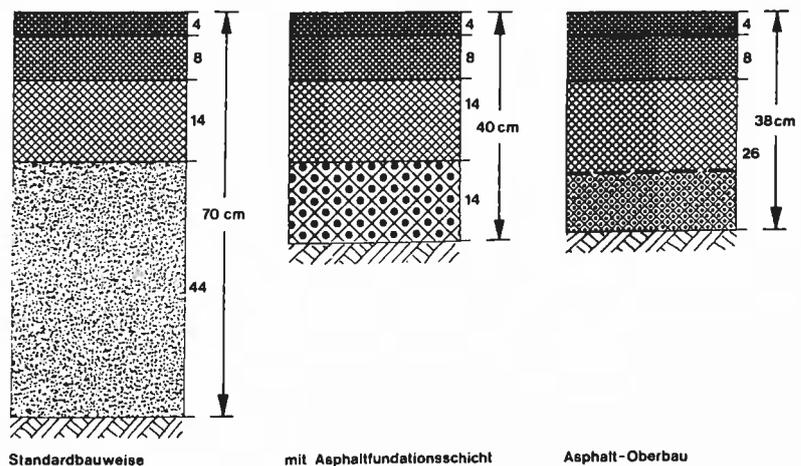
Dies gilt für Recycling-in-plant und eingeschränkt für Recycling-in-place Verfahren. Die Straßenverwaltungen der

Bundesländer haben Grenzwerte für den Wiedereinsatz von Ausbauasphalt in der Mischgutproduktion festgelegt. Tabelle 3.9 zeigt die Zugabemengen zu verschiedenen Mischguttypen in den Bundesländern zu Bundesrepublik.

Nach Schätzungen werden 10 bis 15 Mio Mg Asphalt jährlich ausgebaut und stehen für den Wiedereinsatz zur Verfügung. Die Sonderregelungen der Länder lassen den Wiedereinsatz von etwa bis zu 5 Mio Mg jährlich zu [6]. Die technische Weiterentwicklung der Aufbereitung erlaubt jedoch höhere Zugabemengen an Ausbauasphalt in der Mischgutproduktion. Qualitativ hochwertiges Mischgut ermöglicht damit eine Erhöhung des Recycling-Anteils in allen Aufbauschichten. Zusätzlich werden neue Schichten entwickelt, die aus bis zu 100 Gew.-% aufbereitetem Ausbauasphalt bestehen.

Bild 3.5 zeigt den Standard-Schichtenaufbau mit den derzeitigen und den möglichen Zugabemengen an Recyclingmaterial.

Bild 3.5
Standartschichtenaufbau mit den aktuellen und theoretisch möglichen Zugabemengen [6]



Der Einsatz von aufbereitetem Ausbauasphalt erfolgt in:

- **Deckschichten:** die bestehenden Landesvorschriften lassen den Einsatz in dieser Schicht noch nicht zu. Bei sorgfältiger Materialauswahl ist die Zugabe von 25 Gew.-% gefrästen Asphalt zum Mischgut möglich. Voraussetzung ist das lagenweise Abfräsen der einzelnen Asphaltsschichten und deren labormäßige Untersuchung vor der Rückführung in die Mischanlage [6].

Vorläufiger Höhepunkt ist der Bau einer Erprobungsstrecke mit einer Deckschicht aus Gußasphalt unter Verwendung von 50 Gew.-% Asphaltfräsgut. Vergleichende Untersuchungen zur Beurteilung des Gebrauchsverhaltens lassen den Schluß zu, daß Gußasphalte für Deckschichten mit bis zu 70 Gew.-% Asphaltbetonfräsgut hergestellt werden können, die in der Qualität einem aus ungebrauchten Baustoffen hergestellten Gußasphalt gleichwertig sind. Es gelten die obengenannten Voraussetzungen für Ausbau und Aufbereitung des Asphalts [42].

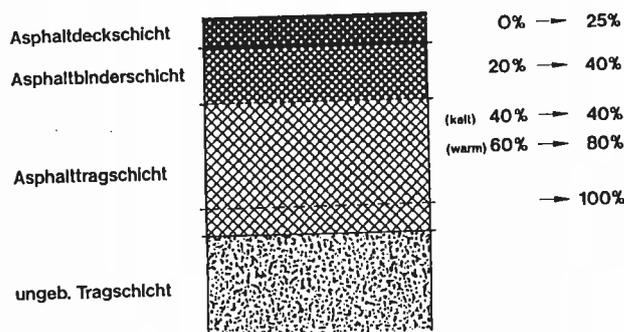
- **Binderschichten:** die bestehenden Landesvorschriften lassen in dieser Schicht die Zugabe von 20 Gew.-% zu. In Hessen sind seit 1989 30 % zulässig [126]. Eine Anhebung auf 40 % und mehr scheint möglich, wenn der rückgewonnene Asphalt gesondert erwärmt wird, d.h. Aufbereitung in Paralleltrommelmischanlagen. Die gezielte Materialrückgewinnung ist auch hier von besonderer Bedeutung [6].

- **Tragschichten:** Die zulässigen Zugabemengen variieren in den Bundesländern zwischen 25 Gew.-% (Saarland) und 60 Gew.-% (Hessen). Bituminöse Tragschichten können unter Zusatz von bis zu 80 Gew.-% Ausbauasphalt hergestellt werden. Die getrennte Erwärmung des Ausbauasphalts und Neumaterials in Doppeltrommeln ist dazu erforderlich [6]. Zugabegrenzen setzen hier die Rezepturen hochwertiger Tragschichten, die Materialzusammensetzungen innerhalb enger Grenzen vorschreiben.

Fräsasphalt und zerkleinerter Aufbruchasphalt ohne Aufbereitung können als Zuschlagstoff in dieser Schicht mit eingebaut werden. Dabei wird das im Asphaltgranulat enthaltene Bitumen nicht als Bindemittel verwendet. Der wirtschaftliche Wert des Asphaltgranulats sinkt dadurch und entspricht dem von wiederaufbereiteten Beton und ungebundenen Baustoffen.

Trotzdem erscheint der Einsatz in ungebundenen und hydraulisch gebundenen Tragschichten vertretbar, um den genannten Mengendruck an Ausbauasphalt abzubauen. Dies gilt auch für teerhaltige Asphaltgranulate, die wegen der beschriebenen Emissionsprobleme kalt aufbereitet, d.h. mit Hilfe von Emulsionen bituminös gebunden werden [6].

Bild 3.6 Standardaufbau einer Straße und Aufbau im gebundenem Oberbau mit Asphaltfundationsschicht [6]



Die Entwicklung eines neuen Tragschichttyps eröffnet die Möglichkeit, Ausbauasphalt in Anteilen von 60 bis 100 Gew.-% einzusetzen. Diese sogenannten Asphaltfundationsschichten sind gebundene Tragschichten. Diese sind im Bereich der ersten oder zweiten Tragschicht, d.h. unmittelbar unter der Asphalttragschicht anzusiedeln. Die bituminös gebundenen Tragschichten können im Heiß- oder Kalteinbau hergestellt werden. Die ungebundenen Tragschichten können so teilweise oder vollständig ersetzt werden. Diese Technik des vollgebundenen Oberbaus wurde mehrfach erprobt [71].

Bild 3.6 zeigt den Standardaufbau und den vollgebundenen Oberbau mit Asphaltfundationsschicht.

Es liegen Erfahrungen mit Asphaltfundationsschichten unter Zugabe von 70 Gew.-% und sogar 100 Gew.-% Asphaltgranulat vor. Die heiß einzubauende Schicht wird unmittelbar auf dem Erdplanum eingebracht. Untersuchungen während und nach dem Bau zeigten, daß Kornzusammensetzung und Bindemittelgehalt innerhalb der durch Voruntersuchung festgelegten Bandbreite blieben und ein Verdichtungsgrad von 98 % eingehalten wurde. Das Mischgut wurde in der zusätzlichen Gleichstromtrommel einer herkömmlichen Chargenmischanlage schonend erhitzt und mit Temperaturen zwischen 120 und 140° C eingebaut und verdichtet.

Asphaltfundationsschichten im Kalteinbau herzustellen, wird erfolgsversprechend versucht. Dazu wird Asphaltgranulat wie beschrieben mit Bitumenemulsion zu einem kalteinbaufähigen Mischgut aufbereitet.

Aus heutiger Sicht eignen sich Asphaltfundationsschichten aus bis zu 100 Gew.-% Ausbauasphalt für Straßenbefestigungen mit geringeren Beanspruchungen. Inwieweit diese Schichten höheren Anforderungen gerecht werden können, muß aus dem Gebrauchsverhalten und weiteren Untersuchungen abgeleitet werden [71,111].

4. Umweltbeeinträchtigungen

Neben den unbestreitbaren Vorteilen des Baustoffrecyclings hinsichtlich der Schonung der Rohstoffreserven, der Landschaft und der Entlastung immer knapper werdenden Deponieraumes, ergeben sich durch Betrieb und das Produkt selbst Umweltbelastungen, die durch eine sorgfältige Planung und Auslegung verringert werden können.

Die Beeinträchtigungen der Umwelt treten beginnend mit der Gewinnung der Rohstoffe, der Distribution der Produkte, der Errichtung, dem Umbau und dem Abriß von Bauwerken bis hin zur Aufbereitung, Verwertung oder aber der Beseitigung von Baurestmassen auf. Neben der Lärmbelästigung und den Erschütterungen, die in Stadtgebieten von Baufahrzeugen und Geräten ausgehen, entstehen im Bereich der Bauwirtschaft außerdem Luftverunreinigungen, Landschaftsverbrauch und Grundwassergefährdungen.

4.1 Schallemissionen

Das Hauptproblem bei der Aufbereitung von Baurestmassen dürften die Schallemissionen darstellen, da diese von der Bevölkerung sehr direkt empfunden wird.

Bei Betrieb einer Aufbereitungsanlage treten bei folgenden Aggregaten und Einrichtungen nennenswerte Schallemissionen auf:

- LKW, Bagger, Radlader,
- Fördereinrichtungen,
- Brecher,
- Siebstationen,
- Siebmaschinen,
- Generator.

Handelt es sich dabei um Emissionen von Anlagen im Sinne des § 3 BImSchG, so gilt die folgende Begriffsbestimmung:

„Emissionen im Sinne dieses Gesetzes sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.“

Anlagen im Sinne dieses Gesetzes sind

1. Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen,
2. Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen sowie Fahrzeuge, soweit sie nicht der Vorschrift des § 38 unterliegen, und
3. Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können, ausgenommen öffentliche Verkehrswege.“

Entsprechend der Anordnung von Lärminderungsmaßnahmen muß zwischen Emissionen aus Antriebsaggregaten und den Arbeitsgeräuschen infolge geräuscherzeugender Kraftübertragung zwischen Maschinen und Arbeitsgut und der Geräuschabstrahlung des bewegten Arbeitsgutes unterschieden werden.

In der 15. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 23.02. 1988 sowie in der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Emissionsmeßverfahren – vom 22.08. 1972 werden Emissionsrichtwerte für Radlader, Planiertrappen, Krane, Kettenlader, Druckluftpflüher, Kompressoren und Bagger angegeben und das Meßverfahren festgelegt. In Tabelle 4.1 sind Emissionswerte für einige Baumaschinen und Aggregate dargestellt.

Tabelle 4.1: Emissionswerte ausgewählter Geräuschquellen [50]

Lärmquellen	Meßabstand	Emissionswerte dB(A)	
Sprengung	110 - 120 m	110	
Bagger	Diesel	7 m	85 - 100
	Elektro	7 m	75 - 90
Radlader	7 m	80 - 105	
Schwerlastkraftwagen	Füllen	7 m	100
	Abkippen	7 m	95 - 105
	Fahren	7 m	85 - 95
Förderband	Antrieb	1 m	90 - 100
	Übergabe	1 m	90 - 110
Siebmaschine	1 m	95 - 115	
Prallbrecher	1 m	85 - 100	

Maßnahmen zum Immissionsschutz der benachbarten Bevölkerung und der betroffenen Arbeitnehmer müssen vorgenommen werden.

Vor diesem Hintergrund ist ein förmliches Genehmigungsverfahren nach § 4 Abs. 1, Satz 1 BImSchG für Anlagen durchzuführen, „die aufgrund ihrer Beschaffenheit oder ihres Betriebes in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen...“. In der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) wird geregelt, auf welche Anlagen dies zutrifft. Für „Anlagen zum Brechen, Mahlen oder Klassieren von natürlichem oder künstlichem Gestein“, worunter auch Bauschutt-Recyclinganlagen zu verstehen sind, unterliegen dem vereinfachten Genehmigungsverfahren nach § 19 BImSchG. Das Genehmigungsverfahren soll den Stand der Technik der entsprechenden Emissionsbegrenzungsmöglichkeiten gewährleisten und sicherstellen, daß keine beeinträchtigenden Umweltwirkungen hervorgerufen werden. Für die Beurteilung gelten die nach Nutzungsart der Baugebiete gestaffelten Immissionsrichtwerte der TA-Lärm.

Mit der Genehmigung ist die Errichtung und der Betrieb der Anlagen der behördlichen Einflußnahme hinsichtlich des Standortes und der Bauweise, als auch des angewandten Produktionsverfahrens und der Betriebsweise unterworfen.

Nach dem Bundesbaugesetz können in einem Bebauungsplan Festsetzungen über Schallschutzvorkehrungen getroffen werden.

Tabelle 4.2: Schutzabstände zu besonderen Gebieten [11]

Abstand zu	m
Industriegebiet	80
Gewerbegebiet	130
Mischgebiet	320
Allg. Wohngebiet	500

Zur Sicherung der Forderungen nach TA-Lärm werden im Mittel die in Tabelle 4.2 dargestellten Schutzabstände erforderlich sein.

Die Schalleinwirkung auf die Arbeitnehmer wird durch die Regelungen der Arbeitsstättenverordnung vom 01.05.1976 und der Unfallverhütungsvorschrift VBG 121 begrenzt.

Zur Verdeutlichung der Schallemission an einer Baustoffaufbereitungsanlage wurden an der Anlage der Firma Hebel Lärmmessungen vorgenommen. Aus der Abbildung 4.2. werden die Hauptquellen für Lärm erkennbar. Dies sind neben dem Brecher vor allem die Beschickung. Mit zunehmender Entfernung sinkt der Schallpegel entsprechend, so daß die Auflagen nach der TA-Lärm eingehalten werden können.

Der Einsatz von inzwischen auf dem Markt befindlichen lärmarmen Radladern und Baggern kann den Gesamtimmisionspegel um bis zu 5 dB(A) verringern. Lärmschutzwälle können als Sekundärmaßnahmen weitere Eindämmungen von Immissionen erreichen.

Weitere Umweltbeeinträchtigungen werden durch Erschütterungen verursacht, deren rechtliche Handhabung ebenfalls im Bundesimmissionsschutz-Gesetz geregelt ist.

Bei Erschütterungen treten niederfrequente Schwingungen auf, die sich in festen Körpern ausbreiten und Schäden an Gebäuden, Sachgütern sowie gesundheitliche Gefahren oder Unwohlsein bei Menschen hervorrufen können. Die von stationären Anlagen ausgehenden

Erschütterungen lassen sich nicht verallgemeinern, da die entstehenden Schwingungen jeweils vom anstehendem Baugrund, der Höhe des Grundwasserspiegels, der Art der Erschütterungsleitung in den Untergrund etc. abhängen.

Eine weitere Quelle für Erschütterungen sind Sprengungen in Steinbrüchen.

Personen können sich vor Erschütterung im Gegensatz zu Geräuschimmissionen innerhalb von Gebäuden nicht schützen. Je nach Körperhaltung wird der menschliche Körper in Schwingungen versetzt und dadurch mehr oder weniger spürbar belastet. Die Belästigung ist nicht nur von der Intensität der Schwingungen, sondern auch von anderen gleichzeitig auftretenden Einwirkungen, wie z.B. Lärm, sichtbaren Bewegungen, Vibrieren von Fenstern usw. abhängig. Weiterhin ist die Situation des Betroffenen von Bedeutung, wie der körperliche und seelische Gesundheitszustand, die augenblicklich ausgeführte Tätigkeit, die Gewöhnung und die Einstellung zum Erzeuger der Erschütterungen [94].

Erfolge hinsichtlich der Verringerung von anlagenspezifischen Erschütterungen wurden in jüngerer Zeit durch die Lagerung der Maschinen auf Gummi-Luftpolstern oder Schwingungsdämpfern erzielt [10].

4.2 Luftverunreinigungen

Im § 3 des BImSchG wird der Begriff „Luftverunreinigung“ wie folgt definiert: „Luftverunreinigungen im Sinne des Gesetzes sind Veränderungen der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.“

Bezüglich der hier betrachteten Anlagen lassen sich folgende Emissionsquellen unterscheiden:

- An- und Abfahrtswege
Bei unbefestigten Fahrwegen wird durch den Fahrzeugverkehr, in Abhängigkeit von der Art der Fahrzeuge deren Geschwindigkeit und die jeweiligen Witterungsverhältnisse, eine beträchtliche Menge an Staub aufgewirbelt.
- Ablade-, Förder- und Aufgabevorgänge
Sowohl bei der Entladung der Fahrzeuge und der

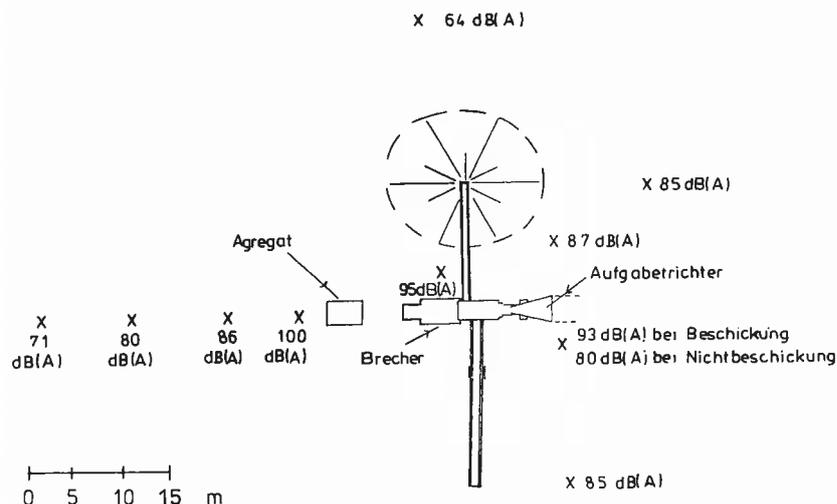


Bild 4.1: Schallpegel in unterschiedlicher Entfernung von der Quelle (Recyclinganlage Fa. Hebel) [30]

Aufgabe des aufzuarbeitenden Materials in die Anlage, als auch beim Befördern und Austrag der klassifizierten Fraktionen entsteht Staub. Die Emission ist zunächst eine Funktion der freien Fallhöhe und der Transportgeschwindigkeit des Gutes.

- Brecher, Siebe
Die Herstellung der geforderten Kornfraktionen verstärkt die Staubemission sowohl bei der Übergabe vom Brecher zur Siebung, als auch direkt in der Siebstufe.
- Mischanlagen zur Asphaltauftbereitung
Das Befüllen der Mischanlagen mit Asphaltgranulat und Neumaterial erzeugt Staub an den Anlageteilen: Trockentrommel, Heißelevator, Siebmaschine, Mineralstoffwaage und Mischer; Geruchsemissionen sind zu erwarten am Mischer, beim Befüllen und Entleeren der Mischgutsilos, beim Befüllen und Aufheizen der Bindemittel tanks, bei der Mischgutübergabe auf LKW bzw. Gußasphaltkocher [109]; Rauch, hier genannt „Blue Smoke“, entsteht beim Erhitzen von bindemittelhaltigem Ausbaupasphalt.
- Verbrennungsmotoren
Die Dieselmotoren des Generators und der Fahrzeuge emittieren Kohlenstoffpartikel, mit aliphatischen und aromatischen Bestandteilen.

Wie beim Lärmschutz ist bei der Luftreinhaltung ebenfalls zwischen Immissionsschutz und Arbeitsschutz zu unterscheiden.

Nachfolgend sind zwei Beispiele aufgeführt, wo die Anforderungen bezüglich der „Maximalen-Arbeitsplatz-Konzentration“ (MAK-Liste) berücksichtigt werden müssen [60]:

- Bei der Gewinnung, Zerkleinerung und Aufbereitung von Straßenaufbruch kam es beim Bedienungspersonal zu nachhaltigen Reizungen der Atemwege sowie zu allergischen Reaktionen der Haut. Besonders für mobile Anlagen sind hier Arbeitsschutz-Maßnahmen erforderlich. Der Einsatz teerhaltiger Substanzen sollte eingestellt werden.
- Bei Neubau und insbesondere bei Reparaturarbeiten (z.B. Frostschuttschäden) werden lösemittelhaltige

Vorspritzmittel und teerhaltige Substanzen (Straßenpech) eingesetzt, siehe dazu Kap. 3.2. Die darin enthaltenen Schadstoffe können durch einen Brechvorgang auch nach Jahren wieder freigesetzt werden. Die im Straßenpech enthaltenen PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) entweichen gasförmig, die Phenole werden ausgewaschen und gefährden Boden und Grundwasser.

Im Hinblick auf die Belange des Arbeitsschutzes sind die Luftverunreinigungen daher detailliert zu untersuchen.

4.2.1 Bauschutt

Da stationäre Anlagen der Bauwirtschaft gemäß der 4. Verordnung zum BImSchG genehmigungsbedürftige Anlagen darstellen, gelten die Vorschriften der TA-Luft. Entsprechend der Fassung vom 27.02.1986 werden detaillierte Anforderungen an solche Anlagen gestellt. Es heißt dort unter anderem:

„Maschinen, Geräte oder sonstige Einrichtungen zur Aufbereitung ... staubender Güter sind zu kapseln. Soweit eine staubdichte Ausführung, insbesondere an den Aufgabe-, Austrage- oder Übergabestellen nicht möglich ist, sind staubhaltige Abgase zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.“

Eine Staubbekämpfung an der Quelle durch Besprühen mit Wasser erbringt nur einen begrenzten Erfolg. Befriedigende Luftverhältnisse sind nur durch angepaßte Absaugsysteme zu erreichen. Zur Reinigung der abgesaugten Stäube werden Naßentstauber oder Tuchfilter eingesetzt. Die hierbei anfallenden Filterstäube sind zu entsorgen oder nachzubehandeln.

Bild 4.2 zeigt eine gekapselte Trockensichtung an der Anlage der Firma Schempp.

Die Bestimmung der Staubkonzentration (Emissions- und Immissionsmessungen) kann sowohl mit kontinuierlichen als auch mit diskontinuierlichen Verfahren durchgeführt werden.

Die einzelnen Verfahren sowie die Durchführung der Messungen sind in VDI-Richtlinien beschrieben. Bei der

Bild 4.2.:
Gekapselte Trockensichtung der
Fa. Schempp



Untersuchung von Stäuben muß zwischen der Staubmengen- bzw. -konzentrationsmessung (Massenkonzentration g/m^3), der Staubniederschlagsmessung, der Partikeluntersuchung und der chemischen Analyse des Staubes unterschieden werden.

Der Staubniederschlag beschreibt die am Immissionsort pro Flächen- und Zeiteinheit aus der Umgebungsluft sedimentierte Staubmenge. Diese wird als zeitbezogene Massenbedeckung in der Einheit $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ angegeben.

Gemäß der VDI-Richtlinie 2119 wird Staub entsprechend der Korngröße in drei Fraktionen eingeteilt:

Grobstaub < 10 mm, langsam sedimentierend, leicht aus einem Abgasstrom entfernbar.

Feinstaub 0,5–10 mm, langsam sedimentierend, nur mit erheblich schlechteren Wirkungsgraden oder mit größerem technischen Aufwand abscheidbar.

Feinstaub < 0,5 mm, fast nicht sedimentierend.

Stäube < 10 mm werden beim Menschen nicht im oberen Nasen-Rachen-Raum, sondern in der Lunge abgeschieden, d.h. diese sind lungengängig. Anhaftende Schadstoffe, wie z.B. Schwermetalle oder PAK gelangen somit direkt in die Lunge [41,94].

Die chemische Analyse der an die Staubmatrix gebundenen Stoffe kann u.a. durch naßchemische, spektroskopische oder chromatographische Verfahren sowie die Röntgenfluoreszenzanalyse vorgenommen werden.

Bei Staub aus Bauschutt-Recyclinganlagen muß mit zusätzlichen Schwermetallbelastungen gerechnet werden, die aus Abrieben von Kabeln, Rohren, Ummantelungen, Farbpigmenten u.ä. herrühren [15].

Da derzeit keine direkten Auflagen nach TA-Luft für mobile und semimobile Bauschutt-Recyclinganlagen bestehen, werden entsprechende Entstaubungseinrichtungen bei diesen Anlagen nicht installiert. Eine übermäßige Staubentwicklung wird ausschließlich durch Berieselung mit Wasser unterbunden.

4.2.2 Asphalt

Gemäß TA Luft werden folgende, besondere Anforderungen an stationäre Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen gestellt:

- Die staubförmigen Emissionen im Abgas der Trockentrommel und des Mischers dürfen $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ nicht überschreiten;
- die Abgase müssen durch einen Schornstein von mindestens 12 m Höhe über Immissionsniveau abgeführt werden;
- die Feuerungsanlagen dürfen nur mit gasförmigen Brennstoffen, Heizöl nach DIN 51 603 oder Kohle mit einem Massengehalt an Schwefel von weniger als 1 % betrieben werden;

Die Technologie der Aufbereitungsanlagen für bituminöses Mischgut und die Möglichkeiten zur Verminderung und Verteilung der Emissionen sind in der VDI-Richtlinie 2283 vom März 1978 dargestellt [74].

Entsprechend der oben zitierten VDI-Richtlinie wird aus allen mit Heizöl befeuerten Betriebseinrichtungen Schwefeldioxid emittiert. Dabei wird der Schadstoffgehalt im

Abgas durch den Schwefelgehalt des Brennstoffes und den Luftüberschuß bestimmt.

Bei gemeinsamer Abführung der Trommelabgase und der an den einzelnen Betriebseinrichtungen abgesaugten Luft verringert sich die Konzentration des Schwefeldioxids. Einrichtungen zur Verringerung der Schwefeldioxid-Konzentration der Abgase sind bei Asphalt-Mischanlagen nicht üblich.

Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid werden nur in geringem Maße emittiert. Die Aufheizung von bitumenhaltigem Asphaltgranulat in den Feuerungsräumen der Chargenmischanlagen läßt „Blue Smoke“ entstehen. Anteile von Steinkohleteeren im Asphaltgranulat können die PAH-Gehalte (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) im Abgas erhöhen. Der „Blue Smoke“ des heißen Asphalts besteht aus einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen mit sehr unterschiedlichen Siede- und Kondensationspunkten.

Nach der TA-Luft darf die Konzentration organischer Stoffe im Abgas $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ angegeben als Gesamtkohlenstoff nicht überschreiten. Die Beweisführung, unter welchen Bedingungen der Asphaltaufheizung und der Abgasführung dieser Wert unterschritten wird, ist noch nicht abgeschlossen. Verschiedene Meßergebnisse liegen vor, die deutlich unter $50 \text{ mg C-gesamt}/\text{m}^3$ Abluft liegen, bezogen auf 17% O_2 [66].

Nach der TA-Luft sind organische Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential der Klasse I zuzuordnen, zu denen auch die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe gehören. Die Massenkonzentration darf auch beim Vorhandensein mehrerer Stoffe dieser Klasse $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ Abluft nicht überschreiten. Dies gilt für einen Massenstrom von 0,1 kg/h oder mehr.

Die im Aufbruchasphalt möglicherweise enthaltenen Steinkohleteere machen besondere Maßnahmen erforderlich. Nach der MAK-Liste von 1987 (Liste der Maximalen Arbeitsplatzkonzentration der Deutschen Forschungsgemeinschaft) sind die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) ebenso wie Steinkohleteer, -teerpech und -teeröl in der Gruppe der „eindeutig als krebserzeugend“ ausgewiesenen Arbeitsstoffe aufgeführt.

Für die Stoffe dieser Gruppe werden keine Werte für Arbeitsplatzkonzentrationen genannt, da eine noch als unbedenklich anzusehende Konzentration nicht angegeben werden kann. Das heißt, es läßt sich keine Dosis-Wirkungs-Beziehung herstellen.

Konzentrationsmessungen von Benzo(a)pyren in Luftstaubproben von Mischanlagen ergaben Gehalte von unter $0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$ [53]. Das Vorhandensein mehrerer PAH im „Blue Smoke“ läßt weitere Untersuchungen zur Erstellung eines PAH-Profiles an Arbeitsplätzen notwendig erscheinen.

Auch für mobile und semimobile Aufbereitungsanlagen ist die Entwicklung geeigneter Arbeitsschutzmaßnahmen zu fordern. Die Vermeidung des Einsatzes von Steinkohleteeren in Neu- und Recycling-Material ist anzustreben. Die Versuche zum Ersatz der Steinkohleteere in den verschiedenen Einsatzbereichen und die Verfahren zur Umhüllung und Fixierung (Emulsions-Verfahren) von

Tabelle 4.3:
Konzentration von PAH in Bitumen- und Pechproben, angegeben in ppm [53]

PAK	FORMEL	BITUMEN					STEINKOHLENTEERPECH	
		I	II	III	VI	V	I	II
Anthracen	C ₁₄ H ₁₀	-	-	-	-	-	8.600*	10.000*
Phenanthren	C ₁₄ H ₁₀	2,3	0,4	1,3	35*	2,3*	31.000*	29.000*
Pyren	C ₁₆ H ₁₀	0,6	1,8	8,3	38	0,08	20.000	29.000
Fluoranthren	C ₁₆ H ₁₀	+	+	+	5	-	40.000	43.000
Benzo(a)anthracen	C ₁₈ H ₁₂	0,15	2,1	0,7	35	-	8.900	12.500
Chrysen	C ₁₈ H ₁₂	0,2	8,9	3,9	34	0,04	7.400	10.000
Benzo(a)pyren	C ₂₀ H ₁₂	0,5	1,7	2,5	27	-	8.400	12.500
Benzo(e)pyren	C ₂₀ H ₁₂	3,8	13	3,2	52	0,03	5.400	7.000
Benzo(k)fluoranthren	C ₂₀ H ₁₂	+	-	+	-	-	7.100	9.000
Perylen	C ₂₀ H ₁₂	-	39	6,1	3,0	-	2.000	3.300
Anthanthren	C ₂₂ H ₁₂	-	Sp	Sp	1,8	-	1.300	2.100
Benzo(ghi)perylen	C ₂₂ H ₁₂	2,1	4,6	1,7	15	Sp	3.200	3.300
Indeno(1,2,3-cd)pyren	C ₂₂ H ₁₂	Sp	-	Sp	1,0	-	7.300	9.300

*: inkl. Alkyl-Derivate +: nicht bestimmt, jedoch in geringen Mengen vorhanden
Sp: in Spuren vorhanden -: unterhalb der Nachweisgrenze

schadstoffhaltigem Recycling-Material sind weiterzuerfolgen.

Bitumen ist in der MAK-Werte-Liste der Gruppe der Stoffe zugeordnet, bei denen ein nennenswertes krebs-erzeugendes Potential zu vermuten ist. Diese Stoffe sollen jährlich aufgrund neuerer Untersuchungen daraufhin überprüft werden, ob diese in die Gruppe der „krebs-erzeugenden Stoffe“ überführt oder aus der Liste gestrichen werden können [53].

Tabelle 4.3 zeigt die Konzentration von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in verschiedenen Bitumenproben und in Pechproben in ppm.

Bei den Kontrolluntersuchungen in den Asphaltlabors werden Lösungsmittel in größeren Mengen eingesetzt. Diese sollten durch personal- und umweltfreundlichere Lösungsmittel ersetzt werden. Aufgrund neuer Qualitätsprüfmethoden kann eventuell ganz darauf verzichtet werden [109].

Der Vermeidung und Behandlung der Abgase kommt große Bedeutung zu. In Kapitel 2.3 sind Verfahren wie Paralleltrommel, Darre etc. beschrieben, sowie Systeme der Abgasführung dargestellt.

Mit hochwertigen Brennern und gutem Wartungszustand sowie richtiger Anordnung und Einstellung der Feuerungsanlage können die Emissionen an Ruß, Ölbestandteilen und Gasen auf ein Minimum reduziert werden.

Ruß entsteht bei Luftmangel bzw. bei Heizölüberschuß oder auch durch ungenügende Ölzerstäubung. Gestörte Flammenbildung sowie die Ausbildung von Temperaturgradienten in der Verbrennungszone fördern zusätzlich die Rußbildung.

Emission von unverbranntem Heizöl erfolgt hauptsächlich bei zu hohem Luftüberschuß und durch Ansprühen der Brennkammerwand oder des Trockengutes bei zu langer Flamme bzw. bei zu kurzem Ausbrennraum. Bei Ölbrennern mit automatischer Öl-Luft-Steuerung ist die Gefahr der Rußbildung bzw. der Emission von Ölderivaten durch Bedienungsfehler geringer als bei handgesteuerten Ölbrennern.

Außer der Emission von unverbranntem Heizöl erfolgen Emissionen von Geruchsstoffen hauptsächlich aus den Einrichtungen, in denen heiße Bindemittel gelagert oder verarbeitet werden. Weiterhin können beim Füllen von Heizölbehältern Geruchsstoffemissionen auftreten.

Bei den Geruchsstoffen aus den Bindemitteln handelt es sich hauptsächlich um dampfförmige Kohlenwasserstoffverbindungen, die aus den Entlüftungsöffnungen der Bindemittelbehälter und dem Mischer sowie beim Fördern und Verladen des heißen Mischgutes in die Atmosphäre gelangen.

Um die Geruchsemissionen zu neutralisieren, sollten in folgenden Bereichen Exhaustoren mit anschließenden Absorptionsfiltern angebracht werden: Mischer, Mischgut-silos, Bindemittel-tanks. Alle Silos sollten oben und unten mit entsprechend dichten Verschlüssen ausgerüstet sein [109].

4.3 Wassergefährdung und Landschaftsverbrauch

Im Bereich der Erweiterung bestehender Lagerstätten, Erkundung neuer Vorkommen von Kies-, Schottergruben und Steinbrüchen sowie der Deponierung der Reststoffe gehen die Maßnahmen oft nicht konform mit den Belangen des Umweltschutzes. Insbesondere Teile der Landschaft sowie das Grund- und Oberflächenwasser werden durch die entsprechenden Maßnahmen gefährdet oder zumindest über einen längeren Zeitraum belastet.

Besonders in dicht besiedelten Gebieten, wo zuerst Rohstoffverknappungen auftreten, kommt der Erhaltung der verbleibenden Grünflächen und dem Schutz der natürlichen Umweltfaktoren, vor allem des Wassers, des Erdbodens und der lokalen Flora und Fauna, eine vorherrschende Bedeutung zu.

Bei der Ausführung von Baumaßnahmen wird die Geländeoberfläche verändert, die vorhandene Pflanzendecke aufgerissen, natürliche Bach- und Flußläufe reguliert und die bestehenden Grundwasserverhältnisse beeinflusst.

4.3.1 Gewinnung von Rohstoffen

Beim Abbau der Rohstoffe für die Baustoffindustrie entstehen im einzelnen folgende Belastungen [94]:

- Veränderungen der Grundwasserverhältnisse durch Grundwasserabsenkung oder den Einbau von Baugrubenwänden, die im Boden verbleiben;
- Verunreinigungen des Baugrundes, des Grundwassers sowie von Oberflächengewässern durch den Baubetrieb; hierbei besonders durch Maschinenein-

- satz und durch Ablagerungen von verunreinigtem Bauschutt;
- Beeinträchtigungen der lokalen Vegetation durch den Abtrag, Auftrag und die Verdichtung des Bodens sowie durch direkte Beschädigungen im Zuge des Baubetriebes.

Beim Abbau von Sand- und Kiesgruben wird im allgemeinen unmittelbar in den Grundwasserbereich eingegriffen, wobei insbesondere beim Trockenlegen der Gruben Grundwasserabsenkungen auftreten. In Abhängigkeit von der Schichtung und Durchlässigkeit des Bodens führt eine Wasserentnahme zu einer weiträumigen Absenkung des Grundwasserspiegels, die bei länger andauernden Absenkungen zu unterschiedlichen Auswirkungen führen kann [94]:

- Gefährdung der Trinkwasserversorgung;
- Bodensetzungen und fehlender Auftrieb infolge der Entwässerung verursachen Schädigungen an benachbarten Gebäuden;
- Schädigung des Pflanzenbewuchses und Störung lokaler Ökosysteme, wie Feuchtbiotope durch Wasserentzug.

Im Bereich von Tiefbauarbeiten werden Injektionsverfahren zur Verfestigung und Abdichtung des Bodens verwendet, die zu einer Gefährdung des Grundwassers führen können. Beim Einpressen der Injektionsmischung als wäßrige Suspension, Emulsion oder Lösung und beim anschließenden Verfestigungsprozeß verbleiben unterschiedliche Mengen ungebunden im Boden zurück. Diese können mit der Grundwasserströmung ausgewaschen werden und eine Beeinflussung der Wasserqualität zur Folge haben [41].

Bei Ausbau und Einrichtung von Sand- und Kiesgruben wird die Pflanzendecke sowie die obere Bodenschicht entfernt, wodurch sich im Bereich der angrenzenden Vegetation die Wachstumsverhältnisse verändern können.

Durch unsachgemäße Behandlung und fehlende Schutz-einrichtungen treten häufig direkte Schäden auf [41]:

- durch Entfernen von Teilen der Baumkronen und des Wurzelwerkes,
- durch Beschädigungen der Baumrinde bei Befestigung von Seilen, Ketten u.ä. sowie durch Einschlagen von Nägeln;
- durch Verschmutzung des Bodens durch schädliche Fremdstoffe wie Mineralöle, Lösungsmittel, Säuren etc.

Von der öffentlichen Hand wird im Rahmen des Naturschutzes angestrebt, unvermeidbare Belastungen vor Abwicklung der Baumaßnahmen festzulegen und die zu schützenden Naturflächen und Naturobjekte zu kennzeichnen und durch Schutz-einrichtungen zu sichern [41,94].

Nach Abschluß der Abbautätigkeit muß der Eingriff in den Naturhaushalt durch entsprechende Folgemaßnahmen soweit wie möglich behoben werden. Nachstehende Folgenutzungen lassen sich aufzählen [5]:

- I. Folgenutzung wasserflächengebundener Art (Naßabbau) :
 - Landschaftspflege/Naturschutz (Artenschutzgewässer);

- Wasserwirtschaft (Nutzwassersee als Trink- und Brauchwasserspeicher);
- Fischereiwirtschaft (Berufsfischerei, Fischzuchtaltung);
- Freizeit und Erholung (Angelsee für die Hobbyfischerei, Ruder-, Bade-, Segelsee, extensive Erholung wie Wandern, Naturbeobachtung);
- Besiedlung am See ggf. industrielle/gewerbliche Bebauung evtl. mit Brauchwassernutzung.

II. Folgenutzung landflächengebundener Art (Trockenabbau):

- Landschaftspflege/Naturschutz (Ökologische Zellen für Flora und Fauna, geologische Erscheinungsformen);
- Landwirtschaft;
- Forstwirtschaft;
- Besiedlung (Wohnbebauung, industrielle/gewerbliche Bebauung);
- Freizeit und Erholung (Parkanlagen, Spiel- und Sportplätze im Siedlungsbereich, außerhalb des Siedlungsbereichs extensive Erholung wie Wandern, ökologischer Lehrpfad).

Umstritten ist dagegen die Nutzung des Geländes als Freizeitanlage, da dadurch eine weitere intensive Inanspruchnahme erfolgt. Demzufolge wäre es erforderlich, eine Wiederherstellung eines dem ursprünglichen Landschaftsbild angenäherten Zustands anzustreben oder durch die Anlage von Seen neue Biotope zu schaffen [116].

Neben dem Landschaftsverbrauch beim Abbau von mineralischen Rohstoffen kommt es zu weiteren Belastungen wie Lärmbelastigungen und Luftverunreinigungen.

4.3.2 Anwendung des aufbereiteten Materials

Weitere Umweltbeeinträchtigungen sind direkt von dem aufbereiteten Material zu erwarten. Bei erneutem Gebrauch im Straßen- oder Wegebau können Schadstoffe ausgelaugt werden, was eine Gefährdung für das Grund- und Oberflächenwasser bedeuten kann. Gemäß § 34 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) dürfen Stoffe nur so gelagert oder abgelagert werden, daß eine schädliche Verunreinigung des Grund- und Oberflächenwassers nicht zu besorgen ist.

Auslaug- und Ausschwemmvorgänge können im Labor nachgeahmt werden. Das dabei anfallende Eluat wird analysiert und kann so Aufschluß über eine mögliche Beeinträchtigung der Gewässer geben. Derartige Versuche werden nach verschiedenen Methoden durchgeführt, nämlich gemäß der S4-Methode des deutschen Einheitsverfahrens für die Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV), mit Hilfe von Lysimetern, nach dem ISE-Verfahren der TU Karlsruhe und nach dem Trogverfahren aus dem Bundesgesundheitsblatt vom April 1977.

Das DEV S4-Verfahren ist das einzig genormte Verfahren zur Eluatherstellung (DIN 38414, Teil 4); das Prüfgut wird auf eine Korngröße von 10 mm zerkleinert und in einem 24stündigen Schüttelvorgang ausgelaugt.

Die Zerkleinerung und die starke mechanische Beanspruchung des Prüfgutes sind Bedingungen, denen nicht alle Recycling-Baustoffe in der Praxis ausgesetzt sind.

Tabelle 4.4: Konzentration des Eluats bei verschiedenen Auslaugversuchen nach der S4-Methode [108]

		dest. H ₂ O	Trinkwasser	CO ₂ -gesätt. dest. H ₂ O	0,1 n HCl	0,1 n NaOH	
Lösungswasser	pH-Wert	5,97	7,30	4,10/5,05	1,21	13,10	
	Leitfähigkeit mS/m	0,45	52,80	1,32	3800	2130	
	Ca ²⁺ mg/l	0	49,5	0	0	0	
	Mg ²⁺ mg/l	0	14,6	0	0	0	
	Cl ⁻ mg/l	0,4	61,0	0	3552	0	
	SO ₄ ²⁻ mg/l	0	55,7	0	0	0	
Eluat	pH-Wert	1	10,64	10,20	7,47	6,22	13,09
		2	11,47	11,34	7,48	3,21	13,13
	Leitfähigkeit mS/m	1	67,68	102,0	136,0	1010	1950
		2	72,60	85,08	56,80	1020	2090
	Ca ²⁺ mg/l	1	101,8	163,3	219,2	2024,0	6,0
		2	49,7	106,4	72,4	1647,2	5,2
	Mg ²⁺ mg/l	1	1,4	1,0	11,0	77,9	0
		2	0	1,0	2,7	56,5	2,4
	Cl ⁻ mg/l	1	9,2	75,6	8,15	3532	63,3
		2	7,8	56,6	9,93	3518	5,9
	SO ₄ ²⁻ mg/l	1	205,6	296,9	359,0	386,8	203,5
		2	13,8	87,4	47,1	141,1	39,2

1 Füllsand
2 Schotter 0 - 45 mm

So können sogenannte „bedingt umweltverträgliche alternative Baustoffe“ und auch „umweltunverträgliche alternative Baustoffe“ mit Hilfe von Modifizierungsmaßnahmen verbessert werden. Die Umweltverträglichkeit muß vor der Verwendung bzw. dem Einbau dann erneut nachgewiesen werden.

Modifizierungsmaßnahmen sind z.B. die Umhüllung des Baustoffs mit Bindemitteln, Mörtel oder die Einbindung in wasserundurchlässige Schichten. Die Überprüfung des Erfolges der Modifizierung erfolgt wiederum mit Auslaugversuchen; Zerkleinerung und mechanische Beanspruchung umhüllter oder eingebundener Sekundärbaustoffe führt jedoch zur Erschließung neuer Reaktionsflächen, an denen Auslaugvorgänge stattfinden können. Zur Vermeidung dieser Nachteile des DEV S4-Verfahrens wurde das ISE-Durchlaufverfahren entwickelt.

Beim ISE-Durchlaufverfahren werden lose anfallende Körner bzw. Stücke, deren Haufwerk gut wasserdurchlässig ist, in einen Prüfcylinder gegeben. Dieser steht in einer Wanne mit Wasser, das Prüfgut befindet sich über dem Wasserspiegel. An dem Zylinder wird eine Teichpumpe angeschlossen und hält die Eluationsflüssigkeit 24 Stunden im Durchlauf durch das Prüfgut. Das resultierende Eluat wird analysiert [122].

Tabelle 4.5: Qualitätsanforderungen an Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung bzw. an Trinkwasser [57]

Parameter	Einheit	Rohrwasser f. Trinkwassergew.		Trinkwasser	
		EG-Richtlinie	Trinkwasserverordnung	EG-Richtlinie	DVGW-Arb.-bl. W 151
pH-Wert	-	6,5 - 8,5	-	5,5 - 9	-
elektr. Leitfähigkeit	mS/m	-	-	100	100
CSB	mg/l	-	-	-	20
Chrom	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05
Zink	mg/l	-	-	5,0	1,0
Nickel	mg/l	0,05	-	-	0,05
Blei	mg/l	0,05	0,04	0,05	0,05
Quecksilber	mg/l	0,001	0,004	0,001	0,001
Cadmium	mg/l	0,005	0,006	0,005	0,01
Sulfat	mg/l	250	240	250	150
Chlorid	mg/l	-	-	-	200

Der Fachbereich Bauwesen der Universität Essen hat eine umfangreiche Untersuchung über das Elutionsverhalten von aufbereitetem Bauschutt vorgelegt [57].

Hierbei ist Füllsand aus der ersten trockenen Sandabsiebungskörnung 0/8 mm, und Schotter mit der Korngröße 0/45 mm nach einer Naßaufbereitung mittels Aquamatoren untersucht worden. Als Untersuchungsmethode dienten das S4-Verfahren und Lysimeterversuche.

Die Tabelle 4.4 zeigt die Ergebnisse der Auslaugversuche nach der S4-Methode mit unterschiedlichen Lösungsmitteln.

Die Qualität des Eluats aus Füllsand und Schotter kann mit den in Tabelle 4.5 angegebenen Anhaltswerten für Trinkwasserqualitäten verglichen werden. Diese Werte können bei Verwendung des Baumaterials als wasserwirtschaftliche Grenzwerte in Trinkwasserschutzzonen angesehen werden.

Der pH-Wert der Eluate sowohl für den Füllsand als auch für den Schotter überschreitet die Anforderungen zum Teil erheblich. Teilweise liegen auch die Werte für die Leitfähigkeit und den Sulfatgehalt über den Richtwerten. Aufgrund der Ergebnisse des Forschungsvorhabens wird eine Verwendung der Fraktion 8-45 mm („Bauradur“) außerhalb der Trinkwasserschutzzonen I und II für vertretbar gehalten. Die Fraktion 0-8 mm (Füllsand) sollte, vor allem wegen der hohen Sulfatgehalte, nur außerhalb der Trinkwasserschutzzone III erfolgen.

Bei späteren Untersuchungen wurde der Füllsand auch auf eluierbare Schwermetallgehalte hin untersucht. Die Konzentrationen waren jedoch sehr niedrig, so daß von ausgelaugten Schwermetallen keine Schädigung zu erwarten ist.

Untersuchungen auf auslaugbare Bestandteile in Füllmaterial (Korngröße 0/11 mm) aus aufbereitetem Bauschutt der Recyclinganlage Hebel führten zu nachstehenden Resultaten [30].

Das aufbereitete Material wurde entsprechend dem „Merkblatt für die Beurteilung der Korrosionsgefährdung von Eisen und Stahl im Erdboden“ von einem unabhängigen Materialprüfinstitut untersucht.

In Tabelle 4.6 sind die Ergebnisse mit den entsprechenden Bewertungszahlen aufgeführt.

Das Materialprüfinstitut kommt dabei zu folgender Bewertung [105]: „Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen an dem zum Zeitpunkt der Entnahme vorliegenden Material mit einer Korngröße von 0/11 mm ergibt sich nach den vorgenannten Einflußgrößen eine Summe der Bewertungszahl von 0. Entsprechend wird das untersuchte Material eingestuft als schwach aggressiv.“

Tabelle 4.6: Untersuchungsergebnisse und Bewertung für Füllmaterial aus aufbereitetem Bauschutt der Recyclinganlage der Fa. Hebel [30]

Untersuchung	Einheit	Ergebnisse der Untersuchung	Forderung zur Bewertung	Bewertungszahl
1	2	3	4	5
1	Bodenart	Kalksteine mit Tonanteilen	Kalk, Kalkmergel, Löß, Sand	+1
2	Wassergehalt	3,0	20,0	0
3	pH-Wert	11,1	6,0	0
4	Gesamtacidität	entfällt		0
5	Redoxpotential	belüftet		0
6	Calcium- und Magnesiumcarbonat	41,8	5	+2
7	Sulfide	nicht vorhanden	-	0
8	Kohle- und Koksanteile	nicht vorhanden	-	0
9	Chlorid	21,0	100	0
10	Sulfat	1260	1000	-3
11	Summe der Bewertungszahlen			0

Dabei wird jedoch beachtet werden müssen, daß das untersuchte Material Sulfationen über 200 mg/kg enthält. Diese könnten korrosionsbegünstigend wirken.

Für die Bewertung insgesamt wirkte sich ein gleichzeitiges Vorhandensein von Carbonaten, sowie von Chloriden und Sulfaten günstig aus, wie dies an Hand der Bewertungszahlen zu ersehen ist.“

In einer weiteren Untersuchung wurde belastetes Material aus dem Hochbau, das durch Geruch und Farbe auffiel, eluiert und untersucht.

Dabei ergaben sich folgende Werte [60]:

- Gesamtphenole 52,9 mg/g
- PAK (gesamt) 6.600 ng/g
- Benzo(a)pyren 800 ng/g

Das Vorkommen dieser Verbindungen dürfte vor allem auf Anstrich- und Beschichtungsmaterialien zurückzuführen sein. Wie ersichtlich ist, liegt sowohl der PAK-Wert als auch der Phenolgehalt deutlich über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung. Das untersuchte Material stellt Abfall im Sinne des Abfallgesetzes dar und muß entsprechend geordnet beseitigt werden.

Im Straßen- und Wegebau stellen Steinkohlenteere im Ausbausphal mit hohen Gehalten an PAK und Phenolen besondere Anforderungen. Die PAK werden bei der Erhitzung des Materials freigesetzt, die Phenole durch Oberflächenwasser ausgewaschen. Die Schadstoffgehalte werden mit Eluivertests ermittelt.

Dazu eignet sich das Trogverfahren aus dem Bundesgesundheitsblatt vom April 1977 und das ISE-Verfahren der TU Karlsruhe. Gegenüber dem S4-Verfahren nach DIN 38414, Teil 4 gelten diese als reproduzierbar und praxisgerecht. In einer Untersuchungsreihe zur Wirkungsweise von Bitumenemulsionen wurde das Trogverfahren vorgezogen [24].

Mit speziellen Bitumenemulsionen können PAK und Phenole umhüllt und eingekapselt werden. Der mobile PAK-Anteil läßt sich teilweise um 10^{-2} senken; Phenole sind aufgrund der chemischen Eigenschaften schwerer

xierbar, Reduzierungen um max. 10^{-1} waren möglich [24].

Tabelle 4.7 zeigt die PAK- und Phenolgehalte von pechhaltigen Proben vor und nach Einkapselung mit Bitumenemulsionen.

Tabelle 4.7: PAK- und Phenolgehalte von pechhaltigen Proben [24]

Proben		PAK [mg/kg]	Phenol [mg/kg]
1	Teersand original	0,033	0,32
	eingekapselt	0,004	0,018
2	Vermörtelung original	0,007	0,136
	eingekapselt	0,0005	0,086
3	Teersand original	1,151	13,0
	eingekapselt	0,011	0,4

Insgesamt läßt sich aus den aufgeführten Untersuchungen ableiten, daß die Verwendung von Sekundärbaustoffen in Abhängigkeit vom Einbauort untersucht und zugelassen werden sollte. Bei Verwendung in Trinkwasserzonen oder Bauvorhaben mit leicht korrodierbaren Materialien müssen daher zuvor chemische Untersuchungen durchgeführt werden, damit Umweltbeeinträchtigungen durch Eluate oder Schäden an Bauwerken vermieden werden können. Diese Untersuchungen sind wegen der Inhomogenität des Bauschuttes in regelmäßigen Abständen zu wiederholen.

Die zukünftige Verwertbarkeit von aufbereitetem Bauschutt wird teilweise kritisch prognostiziert [10], weil bautechnologische Veränderungen, und hier vor allem im Hochbau, den entstehenden Bauschutt noch zusätzlich belasten könnten. Vor dem Hintergrund, daß das wesentliche Kriterium für geringen Schadstoffgehalt des aufbereiteten Bauschuttes dessen Herkunft, und nicht dessen Aufbereitung darstellt, ist diesem Umstand in Zukunft größere Beachtung zu schenken.

4.4 Deponierung der Restmassen

Die weitgehende Deponierung von Bauschutt, Straßenaufbruch und Erdaushub geschieht trotz des Trends, die Annahme von unbelastetem Erdaushub und Bauschutt zur Schonung des Deponieraumes zu verweigern. Das neue hessische Abfallgesetz in der Fassung vom 10.07.1989 schreibt in § 3a fest: „Unbelasteter Bauschutt darf nicht auf Deponien, die für Hausmüll oder hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zugelassen sind, abgelagert werden.“ Dieser soll vielmehr einer Verwertung zugeführt werden. Belastetes Material ist einer Behandlung zu unterziehen. Die kurzzeitige Ablagerung des Bauschuttes und Erdaushubs erfolgt in Zwischenlagern [31].

Durch die oben erwähnten Verunreinigungen des an sich inerten Materials können sich bei dessen Ablagerung Umweltbeeinträchtigungen ergeben.

Entsprechend der Klassifizierung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall werden Baurestmassen als Inertabfälle bezeichnet, deren Inhaltsstoffe kein oder nur ein geringes Reaktionsvermögen gegenüber umweltrelevanten

Medien besitzen. Dabei sollten keine löslichen Inhaltsstoffe enthalten sein.

Bauschuttdeponien werden noch ohne spezielle Untergrundabdichtungen zugelassen. Das bedeutet, daß die anfallenden Sickerwässer den Deponiegrund durchdringen können. An entsprechend abgelagerte Abfälle sind erhöhte Anforderungen zu stellen, da bei erhöhten Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser unmittelbare und irreparable Gewässerunreinigungen drohen.

Nach dem Entwurf der Deponierichtlinie Nordrhein-Westfalen vom Dezember 1987 [77] werden Deponieklassen in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Untergrundes eingeführt. Dabei nimmt die Deponiekategorie mit Abnahme der Durchlässigkeit zu. Als Kriterien für Bauschuttdeponien bzw. bauschuttähnliche Abfälle (Deponie-

klasse 2) werden aufgrund wasserwirtschaftlicher Überlegungen ein schlecht durchlässiger Untergrund mit überwiegendem Abfluß oder Ableitung der Sickerwässer in ein Oberflächengewässer gefordert.

Für den Begriff „schlecht durchlässig“ wird ein K_f -Wert (Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert) von kleiner 10^{-8} m/s angenommen. Die Dichtigkeit kann im natürlichen Zustand vorliegen oder nach einer entsprechenden Behandlung z.B. durch Verdichtung erreicht werden [69].

Die Deponierichtlinie beinhaltet im Einzelnen:

Deponiekategorie 1

– Zugelassene Abfallarten

Im wesentlichen nicht nachteilig veränderte mineralische Stoffe (z.B. Steine, Erden, gesinterte Aschen),

Tabelle 4.8:
Zulässige Konzentrationen von Inhaltsstoffen in Eluaten von Abfällen – Deponiekategorie I – [77]

	Innerhalb der Zone II und III von Trinkwasser- sowie der Zone III und IV von Heilquellenschutzgebieten		außerhalb von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten	
1. pH-Wert	6,5–9,5		5,5–10	
2. Leitfähigkeit	< 40 mS/m		< 100 mS/m	
3. CSB	20 mg O ₂ /l		20 mg O ₂ /l	
4. Fischtest	Eluat unverdünnt negativ		Eluat unverdünnt negativ	
5. Polycyclische Aromaten (PAK)	0,0002 mg/l	0,002 mg/kg	0,002 mg/l	0,02 mg/kg
6. Gesamphenol (Phenolindex)	0,0005 mg/l	0,005 mg/kg	0,005 mg/l	0,05 mg/kg
7. Kohlenwasserstoffe	0,01 mg/l	0,1 mg/kg	0,2 mg/l	2,0 mg/kg
8. EOX (Cl)			0,01 mg/l	0,01 mg/kg
9. Antimon	0,01 mg/l	0,1 mg/kg	0,05 mg/l	0,5 mg/kg
10. Arsen	0,04 mg/l	0,4 mg/kg	0,05 mg/l	0,5 mg/kg
11. Barium	0,1 mg/l	1,0 mg/kg	0,5 mg/l	5,0 mg/kg
12. Beryllium			0,004 mg/l	0,04 mg/kg
13. Blei	0,04 mg/l	0,4 mg/kg	0,05 mg/l	0,5 mg/kg
14. Bor	1,0 mg/l	10,0 mg/kg	1,0 mg/l	10,0 mg/kg
15. Cadmium	0,005 mg/l	0,05 mg/kg	0,005 mg/l	0,05 mg/kg
16. Chrom gesamt	0,05 mg/l	0,5 mg/kg	0,05 mg/l	0,5 mg/kg
17. Chrom-VI			0,01 mg/l	0,1 mg/kg
18. Eisen (gelöst)	0,2 mg/l	2,0 mg/kg	1,0 mg/l	10,0 mg/kg
19. Kobalt			0,05 mg/l	0,5 mg/kg
20. Kupfer	0,1 mg/l	1,0 mg/kg	0,1 mg/l	1,0 mg/kg
21. Mangan	0,05 mg/l	0,5 mg/kg	0,5 mg/l	5,0 mg/kg
22. Nickel	0,05 mg/l	0,5 mg/kg	0,05 mg/l	0,5 mg/kg
23. Quecksilber	0,001 mg/l	0,01 mg/kg	0,001 mg/l	0,01 mg/kg
24. Selen	0,01 mg/l	0,1 mg/kg	0,01 mg/l	0,1 mg/kg
25. Silber	0,01 mg/l	0,1 mg/kg	0,01 mg/l	0,1 mg/kg
26. Thallium	0,01 mg/l	0,1 mg/kg	0,01 mg/l	0,1 mg/kg
27. Vanadium			0,05 mg/l	0,5 mg/kg
28. Zink	0,1 mg/l	1,0 mg/kg	0,1 mg/l	1,0 mg/kg
29. Zinn			0,5 mg/l	5,0 mg/kg
30. Fluorid (F ⁻)	0,7–1,5 mg/l	7–15 mg/kg	1,5 mg/l	15 mg/kg
31. Ammoniak (N)	0,08 mg/l	0,8 mg/kg	0,08 mg/l	0,8 mg/kg
32. Chlorid (Cl ⁻)	200,0 mg/l	2000 mg/kg	200 mg/l	2000 mg/kg
33. Cyanide gesamt (CN ⁻)	0,05 mg/l	0,5 mg/kg	0,05 mg/l	0,5 mg/kg
34. Cyanide leicht freisetzbar (CN ⁻)			0,01 mg/l	0,5 mg/kg
35. Nitrat (N)	11,3 mg/l	113 mg/kg	11,3 mg/l	113 mg/kg
36. Nitrit (N)	0,03 mg/l	0,3 mg/kg	0,15 mg/l	1,5 mg/kg
37. Phosphat (P)	1,6 mg/l	16 mg/kg	1,6 mg/l	1,6 mg/kg
38. Sulfat (SO ₄ ²⁻)	240 mg/l	2400 mg/kg	250 mg/l	2500 mg/kg

die auch nachträglich keinen schädlichen Einfluß auf die Umgebung ausüben können.

- Wasserwirtschaftliche Merkmale
Lage außerhalb von festgesetzten Zonen I und II von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten.
- Grenzwerte

Das Eluat des Abfalles sollte einem Wasser entsprechen, das nach herkömmlichen Aufbereitungsverfahren als Trinkwasser verwendet werden kann. Für die Beurteilung zeigt Tabelle 4.8 die entsprechenden Werte, die nicht überschritten werden sollten.

Für eine Reihe von Abfällen aus dem Bereich der Steine und Erden reicht es aus, nur wenige Summenparameter für die Beurteilung des Eluats anzuwenden. Folgende Untersuchungen werden vorgeschlagen:

- pH-Wert,
- Leitfähigkeit,

Tabelle 4.9: Zulässige Konzentrationen von Inhaltsstoffen in Eluaten von Abfällen – Deponieklasse II – [77]

1. pH-Wert	5,5 - 12
2. Leitfähigkeit	< 300 mS/m
3. CSB	< 50 mg O ₂ /l
4. Fischttest	Eluat unverdünnt negativ
5. Polycyclische Aromaten (PAK)	0,003 mg/l
6. Gesamtphenol (Phenolindex)	0,1 mg/l
7. Kohlenwasserstoffe	1,0 mg/l
8. EOX (Cl)	0,1 mg/l
9. Antimon	0,1 mg/l
10. Arsen	0,1 mg/l
11. Barium	1,0 mg/l
12. Beryllium	0,005 mg/l
13. Blei	0,5 mg/l
14. Bor	1,0 mg/l
15. Cadmium	0,05 mg/l
16. Chrom gesamt	1,0 mg/l
17. Chrom-VI	0,1 mg/l
18. Eisen (gelöst)	2,0 mg/l
19. Kobalt	0,5 mg/l
20. Kupfer	1,0 mg/l
21. Mangan	1,0 mg/l
22. Nickel	0,5 mg/l
23. Quecksilber	0,005 mg/l
24. Selen	0,05 mg/l
25. Silber	0,1 mg/l
26. Thallium	0,1 mg/l
27. Vanadium	0,2 mg/l
28. Zink	5,0 mg/l
29. Zinn	0,5 mg/l
30. Fluorid (F ⁻)	5,0 mg/l
31. Ammoniak (N)	4,1 mg/l
32. Chlorid (Cl ⁻)	350 mg/l
33. Cyanide gesamt (CN ⁻)	0,5 mg/l
34. Cyanide leicht freisetzbar (CN ⁻)	0,1 mg/l
35. Nitrat (N)	22,6 mg/l
36. Nitrit (N)	0,3 mg/l
37. Phosphat (P)	3,3 mg/l
38. Sulfat (SO ₄ ²⁻)	500 mg/l

- Geruch,
- Aussehen,
- CSB (chemischer Sauerstoffbedarf).

Bei Hinweisen oder bei Verdacht auf mögliche Belastungen sind Untersuchungen nach den bereits erwähnten Anforderungen erforderlich.

Deponieklasse 2

- Zugelassene Abfallarten
Bauschutt, Abfälle als sogenannte Inertstoffe mit Inhaltsstoffen, die eine geringfügige und vorübergehende, im Ausmaß tolerierbare Veränderung des Wasserhaushaltes herbeiführen können.
- Wasserwirtschaftliche Merkmale
Lage außerhalb der Zonen I bis III von Trinkwasser- und der Zonen I bis IV von Heilquellenschutzgebieten. Die Deponiebasis muß mindestens 1 m über dem höchsten Grundwasserstand liegen.
- Grenzwerte
Läßt die Herkunft oder die Zusammensetzung des Materials den Verdacht auf kritische Inhaltsstoffe zu, so sind die in Tabelle 4.9 dargestellten Parameter zu untersuchen. Grundsätzlich sind jedoch wiederum Untersuchungen nach den o. a. Summenparametern zu tätigen.

Folgende Abfallarten sind ohne einen entsprechenden Untersuchungsaufwand für eine Ablagerung geeignet:

- Straßenaufbruch,
- Gesteins- und Polierstäube,
- entwässerte Schlämme aus der Betonherstellung,
- Tonsuspensionen,
- Steinschleifschlamm.

Die für die Deponieklasse 1 zugelassenen Stoffe dürfen auch auf Anlagen der Deponieklasse 2 abgelagert werden.

Besteht ein Verdacht auf erhöhte und leicht mobilisierbare Inhaltsstoffe, so muß der Absolutgehalt dieser Bestandteile zur Beurteilung einer möglichen Belastung mit herangezogen werden. Andernfalls kann zur Absicherung auch ein entsprechender Negativkatalog unter Angabe der Abfallart und des Herkunftsbereiches erstellt werden.

Diese Richtlinien setzen umfassende Kenntnisse und entsprechende Untersuchungen über die physikalischen, chemischen und biochemischen Eigenschaften der Baurestmassen voraus.

Zusätzlich ist die Qualität des Grundwassers im Bereich der Deponien regelmäßig zu kontrollieren, was mit einer ausreichenden Anzahl von Beobachtungsbrunnen einhergeht.

In der Praxis müssen die angelieferten Baurestmassen per Augenschein im Eingangsbereich und beim Abladevorgang kontrolliert werden. Eine Annahme erfolgt, wenn die Ablagerung zulässig oder eine Aufarbeitung möglich ist.

In einer Untersuchung des Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen wurden von sechs Bauschuttdeponien zu verschiedenen Jahreszeiten die angelieferten Abfallsorten und -mengen erfaßt, die in der folgenden Tabelle 4.10 in der prozen-

Tabelle 4.10: Verteilung der Baurestmassen bei einer Untersuchung von sechs Bauschuttdeponien des Landes Nordrhein-Westfalen [2]

Baurestmassen		Einheit	Menge
1		2	3
1	Bodenaushub	Gew.-Z	45
2	Bauschutt	Gew.-Z	38
3	Straßenaufbruch	Gew.-Z	15
4	Sonstige Abfälle	Gew.-Z	2

tualen Verteilung der angelieferten Abfallmenge dargestellt sind.

Neben dem Bodenaushub, Straßenaufbruch und Bauschutt wurden in den entsprechenden Containeranlieferungen von Renovierungen und aus Neubauten auch hausmüllähnliche Abfälle, Verpackungsmaterialien (sonstige Abfälle) auf den Bauschuttdeponien angeliefert und abgelagert.

In den Tabellen 4.11 und 4.12 sind in Laboruntersuchungen nach dem Deutschen Einheitsverfahren DEV S4 unter Verwendung von vollentsalztem Wasser und Versuchen nach der IWL-Säulenauslaugungsmethode, Eluate aus den verschiedenen abgelagerten Materialien dargestellt. Dabei ist anzumerken, daß das IWL-Säulenauslaugungsverfahren eine praxisnähere Beurteilung ermöglicht, da einer Probemenge von 10 kg eine halbjährlichen Niederschlagsmenge an Regenwasser aufgegeben wird. Das Feststoff/Wasser Verhältnis beträgt 5:1, d.h. verglichen mit der S4-Methode wird bei den IWL-Verfahren eine 50mal geringere Wassermenge aufgebracht.

Das Sickerwasser aus Bauschuttdeponien ist, wie die Tabellen 4.9. und 4.10. zeigen, geringer belastet als die Eluate aus Hausmülldeponien, trotzdem kann es auf Grund fehlender Basisabdichtungen zu Belastungen des Grund- und Oberflächenwassers kommen. Auffällig ist in dieser Hinsicht vor allem die Fraktion „Sonstige Abfälle“, unter denen vor allem Baustellenabfälle zu verstehen sind.

Eine potentielle Gefährdung des Grundwassers von Bauschuttdeponien ist allein aus den Analysewerten des

Eluates nicht zu ermitteln. Hierzu gehört ebenfalls die Kenntnis der Wasserdurchlässigkeit und des Wasserhaltevermögens des abgelagerten Materials und des Untergrundes, die Sickerwassermenge, die Beschaffenheit des betreffenden Grundwassers, der Flurabstand, die Fließgeschwindigkeit sowie die Mächtigkeit des Grundwasserleiters [64].

Die Ablagerung der Baurestmassen soll so durchgeführt werden, daß bei der Wahl des Standortes, beim Betrieb und nach Abschluß den Anforderungen des Gewässer-, Immissions- und Landschaftsschutzes Rechnung getragen wird.

In der Praxis werden sowohl die Anforderungen des Landschaftsschutzes durch das Verfüllen ehemaliger Abgrabungsflächen wie Kies-, Tongruben, Steinbrüche und Bodenvertiefungen als auch die Standorte von Bauschuttdeponien erfüllt. Da an der Deponiebasis Sickerwasser anfällt und Bauschuttdeponien keine Untergrundabdichtungen besitzen, ist die zu erwartende Sickerwasserqualität von ausschlaggebender Bedeutung bei der Auswahl des Deponiestandortes und der zugelassenen Abfälle.

Anlieferungen mit hausmüllähnlichen Abfällen sollten nicht auf Bauschuttdeponien abgelagert werden. Baustellenabfälle sollten im Vorfeld getrennt von Bauschutt erfaßt, und grundsätzlich als Abfall entsorgt werden. Auch eine manuelle Auslese und Wiederverwendung von Baustellenabfällen sollte ins Auge gefaßt werden.

Um unnötige Umweltbeeinträchtigungen von Bauschuttdeponien zu vermeiden, sollte bei der Genehmigung ein Betriebs- und Rekultivierungsplan vorgeschrieben werden, der die folgenden Punkte enthalten sollte [2]:

- Eingangs- und Abkippskontrolle durch das Deponiepersonal;
- Betriebstagebuch über Anfuhrmengen, Herkunft und Abfallarten;
- Einbau nach erdbautechnischen Gesichtspunkten;
- Einsatz von Planiergeräten zum Einbau und zur Verdichtung;
- Laufende Rekultivierung der Deponie;
- Erfassung und Ableitung des Oberflächenwassers nach Abschluß der Einbauzeit;
- Schutz gegen wilde Ablagerungen durch Umzäunung, Tor und entsprechende Bewachung;
- Konsequente Eingangskontrolle mit Zurückweisungsrecht, bzw. einer Einsammlung nicht zugelassener Abfälle.

Tabelle 4.11: Ergebnisse der Eluatuntersuchungen nach DEV S4 [40]

Abfallarten	pH	elektr. Leitf. (µS/cm)	Abdampfrst. (mg/l)	610hrückst. (mg/l)	Gesamthärte (°dH)	Chlorid (mg/l)	Sulfat (mg/l)	CSB (O ₂ mg/l)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 Bauschutt	min.	7,0	105	72	44	0,3	1	8	< 10
	max.	11,8	2600	2480	2370	90,5	71	1300	38
	Mittel	9,1	706	724	683	22,7	17	167	12
2 Bodenaushub	min.	6,8	60	64	64	1,1	3	10	< 10
	max.	11,4	550	946	880	29,0	42	320	22
	Mittel	8,3	194	212	194	6,0	13	50	< 10
3 Straßenaufbruch	min.	6,8	60	112	94	1,7	6	8	< 10
	max.	11,6	1100	360	340	15,6	18	38	18
	Mittel	9,3	333	212	195	6,9	12	23	< 10
4 Sonstige Abfälle	min.	7,2	25	76	56	0,1	8	6	< 10
	max.	10,7	21000	14180	12180	19,2	184	2900	1100

Tabelle 4.12:
Ergebnisse von Auslaugungsuntersuchungen an Bauschutt nach unterschiedlichen
Untersuchungsmethoden im Vergleich zu Sickerwasser aus Hausmülldeponien [40]

Parameter	pH	elektr. Leitf. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Gesamthärte (*dH)	Abdampfrückstand bez. auf die Abfallmenge		Chlorid bez. auf die Abfallmenge		Sulfat bez. auf die Abfallmenge	
				ein Eluat (mg/l)	(mg/kg)	ein Eluat (mg/l)	(mg/kg)	ein Eluat (mg/l)	(mg/kg)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 IML - Methode 1. Stufe 2. Stufe	8.6.	3400	83,6	2750	468	220	37	-	-
	8.2	2100	48,0	1500	300	99	20	-	-
2 S4 - Methode	9.2	250	10,9	420	4200	80	800	95	950
3 IML - Methode (halbtechnisch) mit 50 kg Bauschutt	8.2	3000	87,0	2720	207	240	18	1340	102
4 Eluate bei Bau- schuttdeponien	5.5-10.0 *	1000 *	-	-	-	350	-	500	-
5 Hausmülldeponien Erfahrungswerte	4-9	3000-3900	-	-	-	750-5200	-	1-1600	-

Anmerkung: * nach Merkel

In der Praxis ergibt sich jedoch meist ein anderes Bild. Eine lückenlose Betriebskontrolle ist wegen der unterschiedlichen Benutzungsintensität und der großen Anzahl von Bauschuttdeponien personell meist nicht möglich. Illegale Ablagerungen und Stoffgruppen in den Anlieferungen sind schwer zu kontrollieren, da diese mit dem Planiergerät in kürzester Zeit abgedeckt werden können. Eine Auflage, nicht zugelassene Abfälle nach dem Abkippen wieder einzusammeln und ordnungsgemäß abzufahren, wird teilweise nicht eingehalten.

Eine zusätzliche Gefahr geht von unzulässigen Ablagerungen sowie von der großen Zahl kleiner und kleinster Ablagerungen aus, die nur ungenügend überprüft werden können. Außer der Umweltgefährdung durch Sickerwasser bestehen bei der Anlage von Bauschuttdeponien die gleichen Umweltbeeinträchtigungen hinsichtlich des Landschaftsverbrauches und der Lärmbelästigung, wie bei der Anlage von Baugruben. Gegen die Neuanlage von Deponien wird aufgrund des Eingriffs in den Naturhaushalt bzw. wegen des Landschaftsverbrauchs durch

kommunale Behörden und Bürgerinitiativen verstärkt Einspruch erhoben. Dabei wird oft das Argument ins Feld geführt, daß Deponien nicht mehr zeitgemäß seien, und einer Entwicklung hin zur Abfallvermeidung entgegenstünden. Das Recycling von Bauschutt ist so gesehen ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung; es muß aber dafür gesorgt werden, daß Beeinträchtigungen der Umwelt erkannt und ausgeschlossen werden können. Dazu gehört, daß nur möglichst systemneutrales Material zur Anwendung gelangt sowie der Betrieb von verbleibenden Baustoffdeponien ordnungsgemäß abgewickelt wird.

Welche Bedeutung der ordnungsgemäße Betrieb von Bauschuttdeponien hat, zeigt ein Urteil des schleswig-holsteinischen Verwaltungsgerichtes vom 06.12. 1984 – 2 A 236/83. Mit diesem Urteil wird nur der Erdaushub für die Wiederauffüllung einer Sand- und Kiesgrube genehmigt, während Bauschutt und Straßenaufbruch als Abfall im Sinne des Abfallgesetzes angesehen wird und aufgrund der Gefährdung des Grundwassers nicht abgelagert werden darf.

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Wirtschaftlichkeit einer Aufbereitungsanlage wird beeinflusst durch unterschiedliche Faktoren, wie z.B.:

- Standortbedingungen,
- Anzahl der Bauvorhaben im Einzugsgebiet,
- Betriebs- und Kapitalkosten der Aufbereitungsanlage,
- Deponiegebühren,
- Konkurrenzangebot an Primärbaustoffen.

Die nachfolgenden Ausführungen berücksichtigen die Wirtschaftlichkeit von Bauschutt-Recyclinganlagen und Asphaltmischanlagen, die Ausbausphal einsetzen.

5.1 Bauschutt-Recyclinganlagen

Eine ausführliche Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Bauschutt-Recyclinganlagen wurde von Offermann in Rahmen einer Dissertation angefertigt. Die nachfolgenden Ausführungen sind der Veröffentlichung entnommen [93]. Die Einzelkosten, die in Zusammenhang mit den unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren entstehen, sind in der zitierten Arbeit im Detail beschrieben. Die entwickelten Diagramme bieten die Möglichkeit, die einzelnen Kosten in Abhängigkeit des jeweiligen Anlagen-Durchsatzes abzulesen. Die angegebenen Kosten beziehen sich auf eine Preisbasis von 1987/88.

Mobile Anlagen

Die für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigte Anlage besteht aus einem Aufgabebunker, einem Schwerlastsieb, einem Prallbrecher und einem Magnetscheider. Die Beschickung erfolgt mittels eines Radladers über einen Aufgabeförderer. Für die Stromversorgung ist ein Dieselaggregat kalkuliert. Die Investitionskosten für eine mobile Anlage mit Durchsatzleistungen bis 100 Mg/h sind in Bild 5.1 gezeigt. Die angegebenen Kosten berücksichtigen keine Planung und Inbetriebnahme. In Bild 5.2 sind die ermittelten Kosten für die Aggregate, das Personal, die Betriebs- und Gemeinkosten dargestellt.

Bild 5.1 Investitionskosten für eine mobile Anlage bei separater Betrachtung eines Förderers und eines Stromaggregats [93]

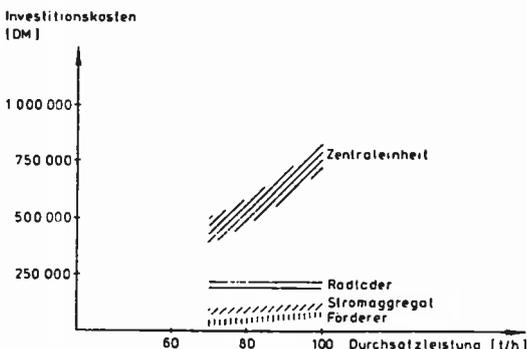
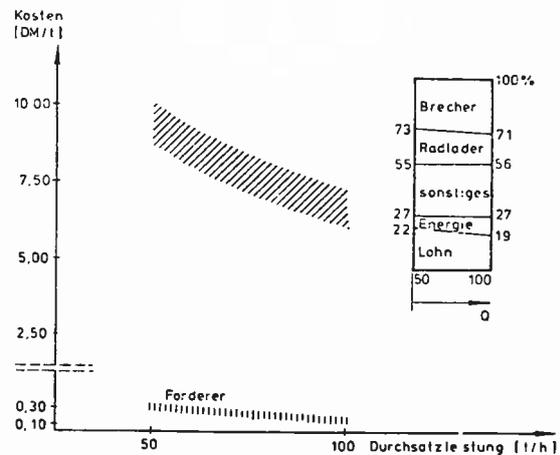


Bild 5.2 Aufbereitungskosten einer mobilen Bauschutt-Recyclinganlage [93]



Die Gemeinkosten beinhalten die Kosten für die Verwaltung, Qualitätskontrolle, Werbung, Infrastruktur, Aufbau und Einfahren der Anlage, Energieversorgung und sonstige Kosten wie Steuern und Versicherungen. Da die Anzahl der Einsatzorte nicht bestimmbar ist, müssen die Montagekosten zu den Aufbereitungskosten addiert werden. Es kann von 3.000 DM pro Auf- und Abbauvorgang sowie zwei Ausfalltagen ausgegangen werden.

Aus Bild 5.2 wird deutlich, daß die Aufbereitungskosten bei einem Durchsatz von 50 Mg/h bei durchschnittlich 9,50 DM/Mg liegen, während bei steigendem Durchsatz bis 100 Mg/h die Kosten auf ca. 7,50 DM/Mg sinken.

Bild 5.3 Investitionskosten für eine semimobile Anlage – der obere Bereich gilt beim Einsatz eines Aufgabeförderers und der untere beim Einsatz einer Rampe – [93]

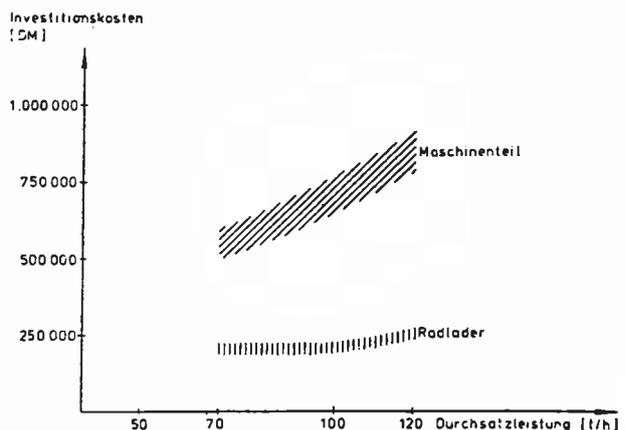
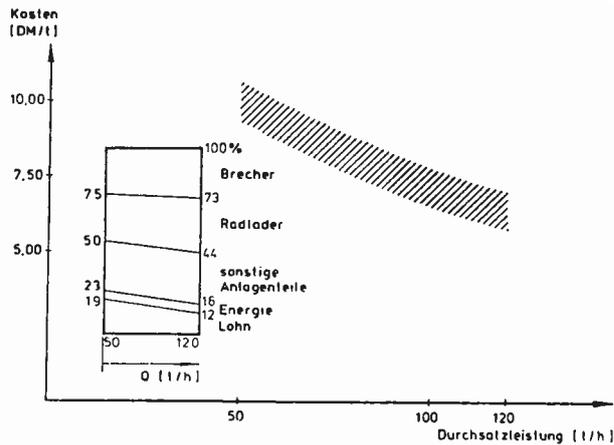


Bild 5.4 Aufbereitungskosten einer semimobilen Bauschutt-Recyclinganlage beim Einsatz einer Rampe [93]



Semimobile Anlagen

Analog zur Berechnung der Aufbereitungskosten mobiler Anlagen erfolgt die Kostenkalkulation für semimobile Anlagen. Die Anlagenkonfiguration sieht die Beschickung mittels eines Radladers über eine Rampe in einen Aufgabebunker vor. Über einen Förderer (bei der 2. Variante ein Aufgabeförderer) mit Handlesmöglichkeit gelangt das Material über ein Schwerlastsieb in einen Prallbrecher. Es folgt ein Magnetscheider, ein weiteres Leseband sowie eine Produktsiebeeinheit. Der Aufgabeförderer wird in einer zweiten Variante zur Direktaufgabe angesetzt. Insgesamt werden vier Arbeitskräfte kalkuliert. Die Investitionen sind im Bild 5.3 dargestellt. Die sich ergebenden Aufbereitungskosten sind in Bild 5.4 gezeigt.

Im Vergleich zur mobilen Aufbereitungsanlage zeigt sich, daß bei geringen Durchsätzen (50 Mg/h) die Kosten der semimobilen Anlagen höher liegen, bei ca. 100 Mg/h vergleichbar sind und danach deutlich absinken. Die Vergleichsrechnung mit einem Förderer ergibt gegenüber der Rampe einen Kostenvorteil ab 90 Mg/h, der bei 120 Mg/h ca. 0,15 DM/Mg beträgt. Diese Berechnungen lassen die Schlußfolgerung zu, daß ohne Berücksichtigung der Anzahl der Einsatzorte die semimobile Anlage ab einem Durchsatz von 90 Mg/h wirtschaftlicher ist als eine mobile Einheit. Gleichzeitig weist die semimobile Anlage den Vorteil der Auslese von Verunreinigungen sowie eines besseren Endproduktes durch eine Nachsiebung auf, was insgesamt zu einer höheren Flexibilität z.B. hinsichtlich der Produktkörnungen führt.

Ein Standortwechsel einer semimobilen Anlagen kostet ca. 6.000 DM und dauert ca. drei Arbeitstage. In Abhängigkeit der Anzahl der Einsatzorte pro Jahr lassen sich die endgültigen Aufbereitungskosten ermitteln.

Stationäre Anlagen

Für die Berechnung der Kosten einer stationären Bauschutt-Recyclinganlage wurde das in Bild 5.5 dargestellte Anlagenkonzept zugrunde gelegt. Der Mindestdurchsatz beträgt 100.000 Mg/a.

In Bild 5.6 sind die Investitionskosten für das zugrunde gelegte Anlagenkonzept in Abhängigkeit von der Durchsatzleistung dargestellt. Die Kosten enthalten alle Investitionen mit Ausnahme von Mietgeräten für die Vorzerkleinerung sowie einen Zuschlag von 10 % für die Planung und Sonstiges. Bild 5.7 zeigt die sich daraus errechnenden Aufbereitungskosten.

Aus der Abbildung wird deutlich, daß bei einem Durchsatz von 100.000 Mg/a durchschnittliche Aufbereitungs-

Bild 5.5 Anlagenkonzept einer stationären Aufbereitungsanlage [93]

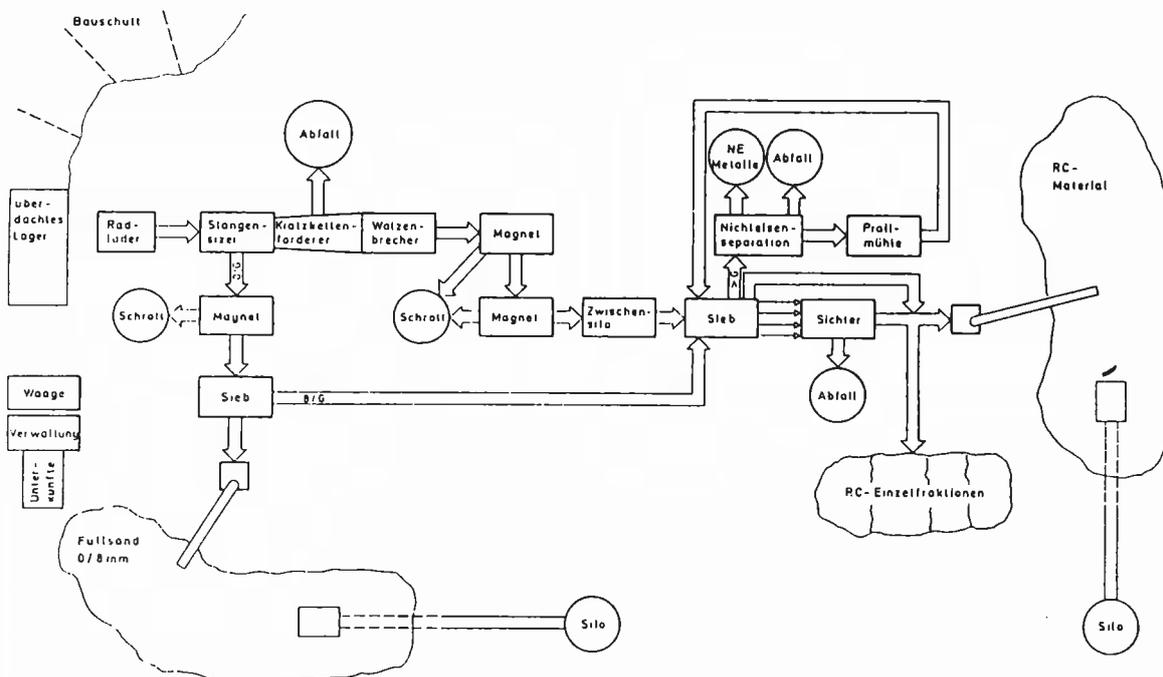
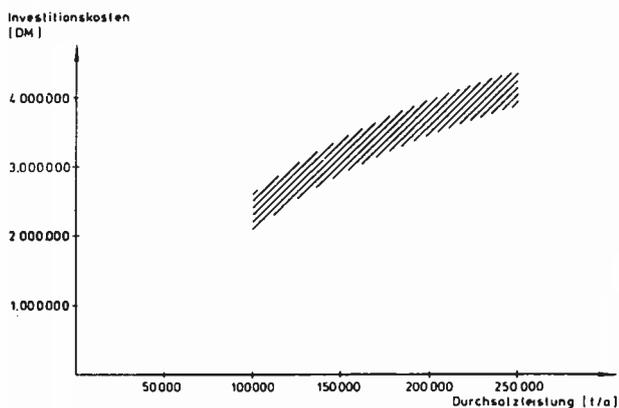


Bild 5.6 Investitionskosten einer stationären Aufbereitungsanlage mit einer Trockensichtung [93]



kosten von 12,00 DM/Mg entstehen. Diese sinken bei steigendem Durchsatz auf ca. 8,80 DM/Mg bei einem Durchsatz von 250.000 Mg/a. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Anlagen entsprechend der Dimensionierung voll ausgelastet sind.

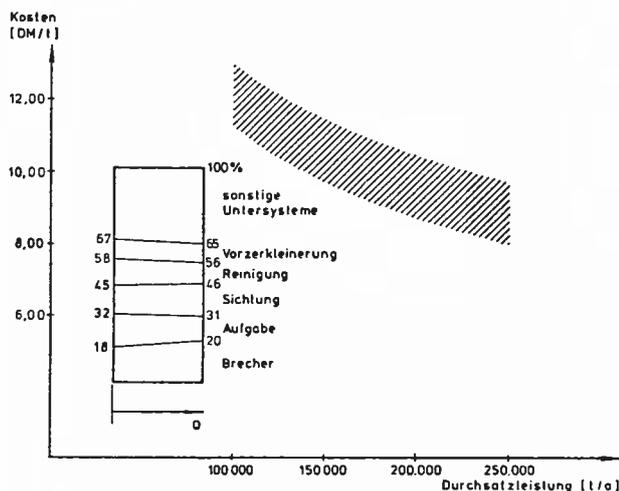
Da insbesondere die stationären Aufbereitungsanlagen eine deutliche Abhängigkeit von der Auslastungsrate zeigen, ist vor der Planung einer entsprechenden Anlage eine Absatzmarktstudie unter Berücksichtigung des Anfalls an Baurestmassen und der natürlichen Rohstoffe durchzuführen. Offermann empfiehlt in diesem Zusammenhang erst eine kleinere Anlage zu errichten, die so konzipiert ist, daß diese bei Bedarf erweitert werden kann [93].

Zusammenfassung

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit einer Bauschutt-Recyclinganlage sind neben den Investitions- und Aufbereitungskosten die folgenden Faktoren:

- Anfall von Baurestmassen, d.h. die Anzahl der Abbruchmaßnahmen im Hochbau sowie der Neubau,

Bild 5.7 Aufbereitungskosten einer stationären Bauschutt-Recyclinganlage mit einer Trockensichtung [93]



Ausbau oder die Sanierung von Straßen-, Geh- und Radwegen im Einzugsbereich der geplanten Anlage muß ausreichend groß sein, ansonsten muß eine mobile Einheit berücksichtigt werden.

- Verfügbarkeit an Deponiekapazitäten: da die Kapazitäten an Deponien für Bodenaushub, Bauschutt und Hausmüll kontinuierlich abnehmen, werden langfristig alle Stadt- und Landkreise den zur Verfügung stehenden Deponieraum schonen und die Deponiegebühren erhöhen. Mit steigenden Deponiegebühren wiederum steigt die Wirtschaftlichkeit einer Recyclinganlage, da für die Annahme der Baurestmassen ein höheres Entgelt verlangt werden kann. Bei den Annahmehöhen sollte jeweils eine Staffelung nach den angelieferten Qualitäten erfolgen.
- Verfügbarkeit an Primärbaustoffen: der erzielbare Preis für die Sekundärbaustoffe hängt entscheidend von den Marktpreisen inklusiv Transport der Primärbaustoffe ab. Hier kann z.B. ein Preisvorteil entstehen, wenn die Recyclinganlage innerhalb eines Ballungsgebietes angesiedelt ist, während sich die nächsten Steinbrüche und Kiesgruben mindestens in einem Abstand von 15 bis 20 km im Umland befinden. Mittlerweile zeichnet sich auch die Tendenz ab, daß Besitzer von Steinbrüchen und Kiesgruben die eigenen Vorkommen schonen und bei untergeordneten Baumaßnahmen auf Recyclingbaustoffe verweisen. Hauptgrund für diese Entwicklung sind die zunehmenden Schwierigkeiten bei der Genehmigung neuer Abbaurechte für natürliche Mineralstoffe.
- Akzeptanz des Sekundärbaustoffs; Ein weiterer Einflußfaktor für die erzielbaren Marktpreise stellt die Akzeptanz der Sekundärbaustoffe durch die öffentlichen Auftraggeber dar sowie die Berücksichtigung in den öffentlichen Ausschreibungen.

5.2 Asphaltrecycling

Die Kosten für die Zerkleinerung des Ausbausphaltes werden nachfolgend nicht weiter betrachtet, da Asphalt-schollen in den gleichen Anlagen wie Bauschutt zerkleinert werden können (siehe Kap. 5.1). Unterschiede bestehen hingegen beim Fräsgut, das einer Nachsiebanlage zur Abtrennung des Überkorns aufgegeben werden muß [103].

Für die Aufbereitung des Asphaltgranulats werden hauptsächlich die beschriebenen Chargenmischanlagen verwendet. Bereits bestehende Anlagen müssen für das Recycling jedoch durch geeignete Zugabemöglichkeiten ergänzt und umgerüstet werden. Unabhängig davon, ob das Asphaltgranulat in den Mischer, Heißelevator oder die Trockentrommel zugegeben wird, ist die Installation einer zusätzlichen Dosiereinrichtung für das Recyclingmaterial mit geeigneten Abzugsvorrichtungen erforderlich. Zur exakten Dosierung sind weiterhin Wägevorrichtungen wie z.B. Bandwaagen für das Asphaltgranulat wie auch für die neuen Mineralstoffe erforderlich, da die Dosiergenauigkeit vorhandener Einrichtungen teilweise nicht ausreichend sind. Die verringerte Menge an neuen Mineralstoffen, die die Trockentrommel passieren, führt ebenfalls zu entsprechenden Umbauten. Zwischen dem Heißelevator, dem Bypass bis hin zum Mischer müssen häufig Engpässe beseitigt werden, die Verklebungen des vorgewärmten Ausbausphaltes hervorrufen können.

Kosteneinsparung durch Asphaltrecycling							
	DM/Mg (100 %)	Anteil der Einsparung	Zugabeanteil Asphaltgranulat				
			15 %	20 %	25 %	30 %	
Transp. Bit.	23,04	(5 %)	1,15 DM	0,17 DM	0,23 DM	0,29 DM	0,35 DM
Transp. Min.	6,90	(95 %)	6,56 DM	0,98 DM	1,31 DM	1,64 DM	1,97 DM
Mineralst.	13,00	(95 %)	12,35 DM	1,85 DM	2,47 DM	3,09 DM	3,71 DM
Bitumen	287,00	(5 %)	14,35 DM	2,15 DM	2,87 DM	3,59 DM	4,31 DM
Lagerung Min.	1,05	(95 %)	1,00 DM	0,15 DM	0,20 DM	0,25 DM	0,30 DM
Summe I				5,31 DM	7,08 DM	8,85 DM	10,62 DM

Tabelle 5.1
Modellrechnung für die Kalt-
zugabe von Asphalt in Bremen,
Stand 1987 [70]

Kosten für Asphaltrecycling							
	DM/Mg	DM/Mg (100 %)	Zugabeanteil Asphaltgranulat				
			15 %	20 %	25 %	30 %	
Transp. Asp.	0,30	5,01	0,75 DM	1,00 DM	1,25 DM	1,50 DM	
Energie			0,21 DM	0,27 DM	0,33 DM	0,42 DM	
Brechen Asp.			1,35 DM	1,80 DM	2,25 DM	2,70 DM	
Lagerung Asp.			0,30 DM	0,40 DM	0,50 DM	0,60 DM	
Verschleiß			0,40 DM	0,60 DM	0,70 DM	0,80 DM	
Summe II			3,01 DM	4,07 DM	5,03 DM	6,02 DM	
			Zugabeanteil Asphaltgranulat				
			15 %	20 %	25 %	30 %	
Summe I - Summe II = Kostenvorteil			2,30 DM	3,01 DM	3,82 DM	4,60 DM	

Weiterhin sind die Absaugvorrichtungen zu erweitern, um die evtl. explosionsartig entstehenden Wasserdampfmen- gen schadlos abzuführen, wenn kaltes und feuchtes Asphaltgranulat mit den heißen Mineralstoffen zusam- mentrifft [36].

Je nach Anlageausführung kann ein Investitionsbedarf zwischen 100.000 DM und 400.000 DM angesetzt werden.

Neben den zusätzlich entstehenden Kapitalkosten kommt es zu einer Erhöhung der Betriebskosten, da für die Trocknung des Ausbaasphaltes und die erforderlichen höheren Mineralstofftemperaturen ein Mehraufwand an Energie benötigt wird. Weiterhin entstehen zusätzliche Kosten durch die notwendigen Prüfungen der Oberbau- schichten. Wie beschrieben, sollte je 500 m² Verkehrs- fläche eine Untersuchung erfolgen. In Tabelle 5.1 wird der variable Kostenvorteil des Asphaltrecycling mod- ellhaft berechnet.

Die Wirtschaftlichkeit des Asphaltrecycling ist unter anderem vom Bitumenpreis abhängig.

Untersuchungen über den Bitumengehalt, von Fräsgut- und Aufbruchasphaltproben ergaben Bindemittelgehalte von 3,1 Gew.-% bis 5,6 Gew.-% im Aufbruchasphalt und im Fräsgut von 4,5 Gew.-% bis 7,7 Gew.-% [36]. Tabelle 5.2 zeigt die Entwicklung der Bitumenpreise von 1979 bis 1988.

Prinzipiell ist die Wiederverwendung von Altasphalt tech- nisch durchführbar. Die qualitativen und quantitativen Grenzen der Wiederverwendung werden noch unter-

schiedlich beurteilt. Die Wirtschaftlichkeit der Wiederver- wendung im Straßenbau kann durch zwei wesentliche Maßnahmen verbessert werden:

- Steigerung der Zugabemengen in das Tragschicht- mischgut
= Maximierung der Asphaltgranulatmenge;
- Gezielte Berücksichtigung der unterschiedlichen Bin- demittelgehalte der Oberbauschichten und damit eine entsprechende Verwendung in Deck- und Binder- schichten
= Optimierung des Asphaltgranulateinsatzes.

Wie im Kapitel 3.2 beschrieben, sind Zugabemengen möglich, die die von den Länderbehörden festgelegten Grenzen um ein Mehrfaches überschreiten.

Das Einhalten der Mineralstoffzusammensetzung und Bindemittelgehalte in den Grenzen der TVT 72 bzw. der Eignungsprüfung kann gewährleistet werden. Dazu muß allerdings der Untersuchungsaufwand gesteigert werden, um die unvermeidlichen Schwankungen in der Zusam- mensetzung des Ausbaasphaltes zu erfassen und bei der Zusammensetzung des resultierenden Mischgutes zu berücksichtigen. Kürzere Untersuchungsintervalle erlau- ben auch eine exaktere Berücksichtigung des Bindemit- telgehaltes und damit eine bessere Nutzung des tatsäch- lichen Wertes des Ausbaasphaltes. Zudem lassen sich die Anforderungen besser kontrollieren. Die höheren An- forderungen an die Qualität führen vom Prinzip der Ma- ximierung weg, hin zu einer Optimierung der Zugabe- mengen.

Bitumenpreise B 80 in DM/Mg										
Monat	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
3.	200	314	394	512	415	485	540	460	240	300
7.	240	350	440	452	380	510	580	275	270	260
10.	230	324	450	395	460	510	520	225	300	285

Tabelle 5.2
Entwicklung der Bitumenpreise
für B 80 von 1979 bis 1988
in DM/Mg [70]

Wegen der abnehmenden Anteile des Neubaus am gesamten Straßenbau, nimmt auch der Anteil an Tragschichten zugunsten von Deck- und Binderschichten ab. Die anfallenden Ausbausphaltemengen können demnach nur dann wirtschaftlich wiederverwendet werden, wenn diese dem Binder- und Deckschichtmischgut zugegeben werden. Die höheren Anforderungen an diese Mischguttypen bedingen, daß der Ausbausphalt gezielt gewonnen, gelagert und entsprechend dem Stand der Technik aufbereitet wird.

Diese Faktoren müssen bereits in der Planungs- und Ausschreibungsphase durch Abstimmung folgender Arbeitsgänge miteinbezogen werden:

- Art der Gewinnung;
- Zahl der Fräsgänge;
- Frästiefe;
- Lagerung des Ausbausphaltes.

Diese Vorgehensweise macht es möglich, sowohl die Zugabemengen bei bekannter Zusammensetzung zu erhöhen als auch Ausbausphalt in geringeren Mengen aber mit höheren Bindemittelanteilen im Binder- und Deckschichtmischgut zu verarbeiten. Positive Kosteneinflüsse ergeben sich aus Einsparungsmöglichkeiten an Bitumen und Mineralstoffen, aus veränderten Aufbereitungsverfahren durch Senkung des Energieverbrauchs, veränderten Heiz- und Trocknungszeiten und verlängerter Mischdauer. Gegebenenfalls sind zusätzliche Auflagen bzw. Aufwendungen für die Inanspruchnahme von Flächen, Transportwegen, Emissionen u.ä. zu kalkulieren [36].

Neben den betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten müssen auch volkswirtschaftliche Aspekte in die Überlegungen miteinbezogen werden.

Bei der Erneuerung einer Straße sind die Baukosten, die Auswirkungen auf die Straßennutzerkosten, die volkswirtschaftlichen und die ökologisch bedingten Kosten zu berücksichtigen.

In die Straßennutzerkosten gehen neben dem Zeitverlust der Nutzer auch erhöhte Unfallkosten durch Baustellen ein. Verlängerte Bauzeiten wirken sich dabei ebenso negativ aus, wie z.B. vermehrte Straßensperrungen durch Unterhaltungsarbeiten und vorzeitige Erneuerung aufgrund geringerer Nutzungsdauer infolge der Verwendung von Baumaterialien minderer Qualität. Verkürzte Bauzeiten sind demgegenüber positiv anzusetzen.

Volkswirtschaftlich und ökologisch bedingte Kosten entstehen durch den Landschaftsverbrauch für Rohstoffla-

gerstätten (Kiesgruben) und in stark zunehmenden Maße für die Deponierung von Straßenaufbruch (vgl. hierzu Kapitel 4).

Die dargestellten Abhängigkeiten zeigen, daß bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Recycling-in-plant-Verfahren neben den betriebswirtschaftlichen Parametern wie Kapital- und Betriebskosten auch regional bedingte Einflußfaktoren bestehen.

In Ballungsgebieten mit mehr als 100.000 Einwohnern besteht ein sehr guter Absatzmarkt mit überwiegend kleineren Mischgutaufträgen für höherwertige Schichten. Die Mineralstoffversorgung erfolgt über große Transportentfernungen. Der Ausbausphalt hat einen hohen Fräsgutanteil und damit einen hohen Bitumenanteil. Große Ausbausphaltemengen garantieren einen kontinuierlichen Materialzufluß aus der unmittelbaren Umgebung. Die Lagermöglichkeiten sind sehr beschränkt. Das Brechen von Asphaltchollen ist aufgrund des exponierten Standortes oft nur eingeschränkt möglich.

In ländlichen Regionen besteht ein befriedigender Absatzmarkt mit großen und mittleren Aufträgen überwiegend für die Tragschichten. Die Mineralstoffe kommen aus der näheren Umgebung. Der Ausbausphalt besteht überwiegend aus Schollenaufbruch mit geringerem Bitumenanteil. Dieser fällt zeitlich und mengenmäßig sehr unbeständig und über mittlere bis weite Transportentfernungen an. Für die Lagerung und zum Brechen von Ausbausphalt bestehen gute Möglichkeiten.

An Mineralstoffbasen bestehen dieselben Verhältnisse wie für die ländlichen Regionen beschrieben. Die Versorgung mit Mineralstoffen ist jedoch sehr gut, da keine Transporte bestehen [125].

Die Tabelle 5.3 zeigt den variablen Kostenvorteil der verschiedenen Mischwerk-Standorte in den einzelnen Bundesländern bei gesetzlich maximal zulässigen Zugabesätzen für die Kaltzugabe in die Tragschichten. Ein variabler Kostenvorteil heißt: den Kosteneinsparungen gegenüber der konventionellen Produktion werden die Kosten für die Ausbausphalt-Aufbereitung vom Transport bis zum resultierenden Mischgut gegenübergestellt.

Tabelle 5.4 gibt eine Relation der variablen Kostenvorteile zu den dafür erforderlichen Investitionen. Dazu werden die kritischen Mengen zweier Investitionen bei unterschiedlichen Kostenvorteilen dargestellt. Die Investitionssumme beträgt zum einen 100.000 DM und zum

Tabelle 5.3
Variabler Kostenvorteil der verschiedenen Standorte in den einzelnen Bundesländern bei gesetzlich maximal zulässigen Zugabesätzen für die Kaltzugabe in die Tragschicht, Stand 1987 [70]

stationäre Mischwerke						
	Ballungsgebiete		ländliche Region		Mineralstoffbasis	
	Kies/Naturstein		Kies	Naturstein	Kies	Naturstein
Baden-Württemberg	(25 %)	2,77 DM	0,98 DM	1,22 DM	0,21 DM	0,45 DM
Bayern	(20 %)	2,80 DM	1,31 DM	1,70 DM	0,74 DM	1,13 DM
Berlin (West)	(30 %)	9,53 DM				
Bremen	(30 %)	4,60 DM				
Hamburg	(30 %)	6,66 DM				
Hessen	(30 %)	3,33 DM		1,52 DM	1,14 DM	0,27 DM
Niedersachsen	(30 %)	3,93 DM	1,99 DM		0,77 DM	1,78 DM
Nordrhein-Westfalen:						
- L. V. Rheinland	(25 %)	2,78 DM	1,09 DM		0,28 DM	0,52 DM
- L. V. Westfalen-Lippe	(25 %)	3,25 DM		1,62 DM	0,76 DM	0,52 DM
Rheinland-Pfalz	(25 %)	3,13 DM		1,44 DM	1,62 DM	0,66 DM
Saarland	(-- %)					
Schleswig-Holstein	(25 %)	4,53 DM	3,01 DM		1,96 DM	

Kostenvorteil					
Investition	1,00 DM/Mg	1,50 DM/Mg	2,00 DM/Mg	2,50 DM/Mg	3,00 DM/Mg
100.000 DM	17.100 Mg/a	11.400 Mg/a	8.500 Mg/a	6.800 Mg/a	5.700 Mg/a
400.000 DM	76.100 Mg/a	51.200 Mg/a	38.400 Mg/a	30.700 Mg/a	25.600 Mg/a

Tabelle 5.4
Kritische Mengen zweier Investi-
tionen [70]

anderen 400.000 DM. Die erforderliche Investitionssumme wird auf dem Kapitalmarkt zu 7,5 % Zinsen auf 8 Jahre aufgenommen.

Bei den Recycling-in-place-Verfahren zeigen die nicht-verfahrensspezifischen Faktoren ebenfalls bedeutende Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit. Diese lassen auch hier weder eine pauschale noch direkte monetäre Bewertung zu.

Nachfolgend werden die Abhängigkeiten von diesen Faktoren beschrieben [108]:

- Witterungsverhältnisse: Recycling-in-place-Verfahren können nur bei bestimmten Schönwetterlagen angewandt werden, da Abhängigkeiten von der Temperatur, den Windverhältnissen und der relativen Feuchtigkeit bestehen.
- Mischgutkosten: Abhängigkeit vom Bitumen- und Mineralstoffpreis; überschüssiger Ausbauasphalt kann u.U. bei anderen Baumaßnahmen eingesetzt und vergütet werden.
- Losgröße: Je nach Größe der Baustelle ergibt sich die Einsatzzeit und damit das Verhältnis zwischen Zu- und Abfahrzeit der Geräte zur Arbeitsdauer;
- Kosten der Baustelleneinrichtung und -sicherung: Durch kürzere Baustellenzeiten ergeben sich geringere Kosten gegenüber konventionellen Methoden;
- Transportaufwand für den Abtransport des Ausbauasphaltes sowie die Anlieferung des Neumaterials;
- Deponiekosten bzw. Deponiekostenersparnis bei Wiedereinbau des Materials;
- Aufwand für die notwendigen Bohrkern- und Mischgutprüfungen;

Neben den nicht-verfahrensspezifischen Kosten ergeben sich z.B. geringere Personalkosten gegenüber den konventionellen Verfahren [99]:

- Konventionelle Verfahren = 8 Mann plus Bauführer und Polier;
- Repaving = 7 Mann plus Bauführer und Polier;
- Remixing = 6 Mann plus Bauführer und Polier;

Qualitative Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Verfahren sind nicht möglich. Beim Recycling ergeben sich teilweise Verbesserungen mehrerer Qualitätsmerkmale der Straßenbefestigung, die nur schwer quantifizierbar sind.

Generell kann jedoch folgendes festgestellt werden [108]:

Ein Kostenvergleich zwischen den konventionellen Bauweisen (overlay/inlay) und den Recycling-in-place-Verfahren ergibt Hinweise auf Kostenvorteile für das Kaltfräsen gegenüber dem Warmfräsen.

Bei geeigneter Unterkonstruktion lassen sich durch das Repaving gegenüber konventionellem inlay Kostenvorteile von 40 bis 60% erzielen.

In Abhängigkeit von Deponie- und Transportkosten ergeben sich beim Remix-Verfahren gegenüber konventionellen Verfahrensweisen Kostenvorteile von 15 bis 30 %. Zusätzliche Verbesserungen der Mischgutqualität sind monetär nur schwer quantifizierbar.

Für die Baumaßnahmen nach dem Prinzip des Recycling-in-place kann im Vergleich zu konventionellen Straßenbaumaßnahmen bislang mit keinem Kostenvorteil gerechnet werden, sofern der Anteil an Ausbauasphalt nicht mindestens bei 50–65 % liegt.

Ebenso sind die zu erzielenden Energieeinsparungen in hohem Maße von externen Faktoren abhängig. In einer Vergleichsrechnung zwischen konventioneller Bauweise und Recycling-in-place-Verfahren wurden Energieeinsparungen von 30 bis 40 % angesetzt [27].

Zusammenfassung:

Nur knapp die Hälfte aller stationären Mischwerke hat sich bis 1988 für die Wiederverwendung von Asphalt in stationären Mischwerken entschieden. Die größte Anzahl der Investitionen in Zugabesysteme für Asphaltrecycling wurde während der Zeit der hohen Bitumenpreise durchgeführt. Mit dem Rückgang des Bitumenpreises gingen auch die Investitionen im Asphaltrecyclingbereich zurück. Für die Zukunft muß u.a. durch den niedrigen Bitumenpreis von einer verminderten Investitionsneigung ausgegangen werden. Angenommen, daß in der Vergangenheit vor allen die stationären Mischwerke mit guten wirtschaftlichen Voraussetzungen Investitionen in den Recyclingbereich getätigt haben, dann wird die Investitionsrate in den nächsten Jahren sehr gering ausfallen [70].

Die steigenden Ausbauasphaltmengen verlangen dagegen für die Zukunft nach einer flächendeckenden Wiederverwendung von Asphalt, sowohl mit der Kalt- als auch mit der Heißzugabe. Wenn die Anstöße für die Wiederverwendung von Asphalt nicht stärker vom Markt kommen, müssen die Bundesländer bessere Rahmenbedingungen für Asphaltrecycling schaffen.

Die einzelnen Bundesländer verfügen z.T. noch über ausreichend Spielraum, um die gesetzlichen Vorschriften für die Wiederverwendung von Asphalt den technischen Möglichkeiten anzupassen. Im folgenden sollen drei Punkte genannt werden, die unmittelbar durch die Straßenbauverwaltungen der Länder veranlaßt werden können.

Zugabeverordnung

Maximierung: Die gesetzliche Vorschrift über die Zugabe von Ausbauasphalt sollte mehr an die technischen Möglichkeiten angepaßt werden. Dabei muß klar zwischen den Möglichkeiten der Kalt- und der Heißzugabe unterschieden werden.

Optimierung: Die Zugabe von Ausbauasphalt in höherwertige Schichten darf nicht nur auf die Binderschicht be-

grenzt werden. Bei einem immer größeren Anteil der Deckschichten an der zukünftigen Mischgutproduktion dürfen diese nicht prinzipiell von dem Wiedereinsatz ausgeschlossen werden. In den nächsten Jahren sollte zumindest in Pilotprojekten die Zugabe in die Deckschicht verstärkt erprobt werden.

Sowohl in der Maximierung als auch in der Optimierung stecken für viele Bundesländer noch sehr große Potentiale um die Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Asphalt nachhaltig zu verbessern.

Submissionen

Bei der Ausgestaltung der Submissionen sollte in Zukunft die Wiederverwendung von Asphalt in Haupt- und Nebenangeboten noch stärker berücksichtigt werden. Oft werden Nebenangebote mit resultierendem Mischgut nicht zur Wertung der Submission zugelassen, da diese zwar technisch brauchbar sind, aber der ausgeschriebenen Bauleistung nicht entsprechen. Hier liegt es an den Straßenbauverwaltungen, den bestehenden ordnungspolitischen Spielraum zu nutzen. Die ausschreibenden Stellen sind zu diesem Schritt auf Grund der geringen Kompetenz nicht in der Lage.

Eigentumsverhältnisse

Auch der Faktor „Eigentum“ ist von Interesse und vertragsrelevant; im folgenden werden fünf Modelle beschrieben [95]:

1. Das Material bleibt Eigentum des Auftraggebers. Dieser läßt es vom gleichen Auftragnehmer, der es gewonnen hat, wiederverwenden. Dieses Modell wird beim Rückformen bevorzugt und ist bei der Verwendung von Fräsgut in Mischanlagen nicht möglich.

2. Das Material bleibt Eigentum des Auftraggebers. Dieser läßt es von einem anderen Auftragnehmer wiederverwenden. Dieses Modell wird vereinzelt z.B. bei der Wiederverwendung ohne Heißaufbereitung am Gewinnungsort angewendet und bei der Verwendung auf anderen Baustellen bevorzugt.

3. Das Material wird vom Auftraggeber zur Wiederverwendung verkauft.

4. Das Material wird nach dem Bauvertrag Eigentum des Auftragnehmers, der es selbst wiederverwendet.

5. Das Material wird nach dem Bauvertrag Eigentum des Auftragnehmers, der es zur Wiederverwendung verkauft. Dies ist das bevorzugte Vorgehen bei der späteren Wiederverwendung in Mischanlagen [95].

Der Eigentumsübergang des Ausbauasphalts sollte verstärkt an die Versorgungslage der stationären Mischwerke mit diesem Sekundärrohstoff gekoppelt werden. Obwohl die Ausbauasphaltmenge in den kommenden Jahren immer mehr ansteigt, gibt es regional doch sehr starke Unterschiede in der Quantität und Qualität des Ausbauasphalts. Solange es für Unternehmen immer noch günstiger ist, den knappen Deponieraum mit Ausbauasphalt zu belasten, stellt sich die Frage, ob die Deponierung von Ausbauasphalt zu billig oder die Wiederverwendung von Asphalt zu teuer ist. Das knapper werdende Deponievolumen wird diese Fragen in Zukunft von selbst beantworten.

Die einzelnen Bundesländer verfügen auf Grund äußerer Umstände, die sie nicht beeinflussen können, über unterschiedliche wirtschaftliche Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Asphalt an den drei typischen Mischwerksstandorten. Um ein günstiges Investitionsklima für die Kalt- und Heißzugabeverfahren zu schaffen, müssen die Bundesländer unterschiedlich stark die Rahmenbedingungen für Asphaltrecycling verändern [70].

6. Ausblick

Die derzeit am Markt angebotenen Anlagen zur Aufbereitung von Baurestmassen und Ausbauasphalt zeigen deutlich, daß abgesehen von Detailproblemen, die Verarbeitung der Recyclingmaterialien technisch durchführbar ist. Zunehmend wird den entsprechenden Bauunternehmern, Kommunen und Deponiebetreibern bewußt, daß diese Aufbereitungstechnologien ökologisch notwendig sind, um Ressourcen einzusparen und Deponiekapazitäten zu schonen.

Die zukünftigen technologischen Entwicklungsbestrebungen zur Lösung noch bestehender Probleme liegen bei den Aufbereitungsverfahren zur Verarbeitung von Baustellenabfällen sowie bei den bestehenden Verfahren an den Zerkleinerungsgregaten und der Qualitätsanhebung durch Verminderung von Verunreinigungen der Sekundärprodukte.

Im Bereich der Aufbereitung von Ausbauasphalt zielen die Entwicklungen vor allem auf eine Verbesserung der Aufbereitungstechnologien ab, um eine Erhöhung der Einsatzquoten für Asphaltgranulat zu gewährleisten. Unterstützend wirken hierbei gleichzeitig Qualitätsbestimmungen der eingebauten Materialien im Hinblick auf Einsatzgebiete mit höheren Qualitätsanforderungen.

Das Recycling von Baurestmassen und Asphalt ist ökonomisch sinnvoll. Dabei hängt die Wirtschaftlichkeit der Recyclinganlagen entscheidend von den lokalen Gegebenheiten ab.

Erste Schritte zu einem verstärkten Bauschutt- und Asphaltrecycling sind durch das neue Hessische Abfallgesetz vom Juli 1989 (HAbfAG) eingeleitet worden. Eine derartige Gesetzesformulierung ist bisher einmalig in der Bundesrepublik. Weder das Abfallgesetz des Bundes (AbfG) noch die Abfallgesetze anderer Bundesländer haben derzeit solche eindeutigen Vorgaben getroffen [31].

Die wichtigsten Punkte des § 3 a HAbfAG sind.

- unbelasteten Erdaushub nicht auf Deponien abzulagern,
- unbelasteten Bauschutt nicht auf Hausmülldeponien abzulagern,
- Zwischenlager mit befristeter Laufzeit einzurichten.

Es beispielsweise kann eine erhöhte Ablagerungsgebühr erhoben werden, wenn Abfallwertstoffe so vermischt werden, daß ein unverhältnismäßiger Aufwand zur Trennung notwendig wäre.

Vom Bundesumweltministerium wird zur Zeit eine Zielsetzung (Referentenentwurf) zur Verwertung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Erdaushub und Straßenaufbruch erarbeitet [90].

Die Zielsetzungen richten sich an alle, die mit Abwicklungen von Bau-, Sanierungs- und Abbruchmaßnahmen sowie mit der Einsammlung, Beförderung, Aufbereitung, Verwertung und Entsorgung von Bauschutt, Baustellenabfällen, Erdaushub und Straßenaufbruch beschäftigt sind.

In dem Referentenentwurf sind konkrete Verwertungsziele vor gegeben. Bis zum 31. Dezember 1991 sollen:

- 60 Gew.-% des Bauschutts,
- 40 Gew.-% der Baustellenabfälle,
- 70 Gew.-% des Erdaushubs und
- 90 Gew.-% des Straßenaufbruchs verwertet werden.

Vor Beginn von Abbruchmaßnahmen soll vom beauftragten Abbruchunternehmen festgelegt werden wie und in welcher Reihenfolge die verschiedenen Abbrucharbeiten durchgeführt werden. Eine getrennte Erfassung der bei Abbruchmaßnahmen an fallenden Stoffe und eine Getrennthaltung erleichtern die Aufbereitung der verwertbaren Bestandteile sowie die ordnungsgemäße Entsorgung der nichtverwertbaren Bestandteile.

Der Vorrang der Abfallverwertung vor der sonstigen Entsorgung muß dann gewährleistet werden. Die zukünftigen Körperschaften haben somit verstärkt dafür Sorge zu tragen, daß dem geltenden Vorrang der Abfallverwertung vor der sonstigen Entsorgung Rechnung getragen wird.

Sofern die Entsorgung von Bauschutt in der Zuständigkeit der entsorgungspflichtigen Körperschaften liegt, haben diese entweder selbst für die Errichtung und den Betrieb der notwendigen Aufbereitungsanlagen zu sorgen oder aber Dritte damit zu beauftragen. Fällt die Entsorgung von Baurestmassen nicht in die Zuständigkeit der entsorgungspflichtigen Körperschaften, so sind diese aufgefordert, durch geeignete Überwachungsmaßnahmen den Vorrang der Verwertung von Baurestmassen vor der sonstigen Entsorgung zu gewährleisten.

Der Referentenentwurf sieht ein Ablagerungsverbot für verwertbare Bestandteile von Baurestmassen vor. Hiernach soll vom 1. Januar 1991 an sichergestellt werden, daß die unter wirtschaftlich zumutbaren Bedingungen verwertbaren Bestandteile von Bauschutt, Baustellenabfällen, Erdaushub und Straßenaufbruch grundsätzlich nicht vermischt mit nicht verwertbaren Bestandteilen auf Bauschutt- oder Hausmülldeponien abgelagert werden. Nicht getrennt gehaltene und unter wirtschaftlich zumutbaren Bedingungen verwertbare Baurestmassen sind demnach von der Ablagerung auszuschließen und einer Sortieranlage zuzuführen. Um dies zu gewährleisten, sind am Deponieeingang strikte Eingangskontrollen durchzuführen. Die Nutzung verwertbarer Baurestmassen für Abdeckungsmaßnahmen und für den Wegebau soll davon unberührt bleiben.

Der Entwurf wendet sich an die entsorgungspflichtigen Körperschaften, im Rahmen des geltenden Gebührenrechts alle Möglichkeiten zu einer deutlichen Anhebung der Ablagerungsgebühren zu nutzen. Daneben prüft der Bundesumweltminister, inwieweit eine Abgabe für die Ablagerung sich verwertbaren Baurestmassen eingeführt werden kann. Die Höhe dieser Abgabe sollte bei den heute üblichen Aufbereitungskosten für Baurestmassen festgesetzt werden.

Die öffentlichen Bauträger werden aufgefordert, vom 1. Juli 1990 an sicherzustellen, daß bei der Ausschreibung und der Vergabe von Bauprojekten Aufbereitungsprodukte aus Baurestmassen unter Beachtung der Qualitätsanforderungen an Baustoffe und deren Umweltverträglichkeit angemessen berücksichtigt werden.

Bei den bis Ende 1991 geforderten Verwertungsquoten wird es wahrscheinlich schwierig werden, die entsprechend notwendigen Aufbereitungsanlagen zu genehmigen und zu errichten.

Probleme bzw. ein erweitertes Aufgabengebiet für das Bauschutt-Recycling werden dabei durch die bevorstehende deutsch-deutsche Wiedervereinigung auftreten. Nach Schätzungen der Bauakademie Leipzig beläuft sich das voraussichtliche Abbruch- und Aufbruchvolumen der DDR auf ca. 4,2 Mio m³/a, worin kein Erdaushub enthalten ist. Die Schätzungen für die neunziger Jahre gehen von einer Verdopplung des jährlich anfallenden Volumens an Baurestmassen aus.

Die Ursachen für den zu erwartenden, massiven Anstieg des Abbruchmassenvolumens liegen im wesentlichen [59]

- in der jahrelangen Vernachlässigung von Instandhaltungen der traditionellen Wohn- und Industriebausubstanzen,
- in einer weitgehend verfehlten und durch Ideologismen bestimmten Raumordnungs- und Baupolitik, die systematische Stadtentwicklung und damit auch systematische Reproduktion der städtischen Bausubstanz eher zum Ausnahmefall machten,

- in einem Nachholbedarf zwar ausgesonderter, aber aus Mangel an Kapazitäten nicht abgerissener Bausubstanz.

In diesem Zusammenhang erscheinen die Möglichkeiten zur Verteilung der anfallenden Baurestmassen mit Hilfe von Bauschuttbörsen, die die anfallenden Stoffe zu den bestehenden Aufbereitungsanlagen vermitteln, als sinnvoller Ansatzpunkt. Seit einiger Zeit besteht eine Bauschuttbörse im Landkreis Unna.

So können z.B. die Baurestmassen als Frachten bei Schifftransporten auch über längere Strecken transportiert werden, wenn die Schiffe ansonsten leer eine Rückfahrt antreten. Dies wird beispielsweise seit einigen Monaten von Berlin aus durchgeführt, wo Baurestmassen als Frachten bei Rückfahrten eingesetzt werden und zu einer 450 km entfernten Aufbereitungsanlage ins Bundesgebiet verschifft werden. Die entstehenden Kosten liegen in den gleichen Größenordnungen wie die derzeitigen Entsorgungsgebühren.

Wie im gesamten Wirtschaftsleben ist die Förderung des Bauschutt-Recyclings neben den umweltpolitischen Zielen auch wesentlich von den marktwirtschaftlichen Mechanismen abhängig.

Die Deckung regional unterschiedlicher Nachfragen mit qualitätsgesicherten Produkten sowie die Transportentfernungen, die jeweilige Preispolitik und Kostenhöhe für eine anderweitige Entsorgung sind oft deutlichere Signale für ein verstärktes Recycling als gesetzliche Rahmenforderungen ohne zwingende Vorschriften zur gezielten Anwendung in definierten Bereichen.

7. Literatur

- [1] Bellin, P.; Rode, F.: Qualitätssicherung bei der Wiederverwendung von Asphalt, in: Straße und Autobahn Nr.7, Jhrg.36, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1985
- [2] Benkenstein, K.; Gallenkemper, B.; Schmelzer, B.: Überlegungen zur Neuordnung der Beseitigung von Bauschutt und Bodenaushub im nördlichen Regierungsbezirk Neumünster, in : Müll und Abfall Nr.7, Jhrg.15, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1983
- [3] Bilitewski, B.: Recyclinganlagen für Haus- und Gewerbeabfälle, in: Beiheft 21 für Müll + Abfall, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1985
- [4] Blumer, M.: Wiederaufbereitung von Belagsmaterial, in: Die Asphaltstraße Nr.4, Jhrg.19, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1985
- [5] Bramer, G.: Die Folgenutzung aus der Sicht der kommunalen Gebietskörperschaften, in : Steinbruch und Sandgrube Nr.6, Jhrg.75, Verlagsgesellschaft Grütter GmbH + Co KG, Hannover, 1982
- [6] Deters, R.: Aktuelle Aspekte zur Wiederverwendung von Asphalt, Teerbau-Veröffentlichungen Nr. 35, Teerbau Gesellschaft für Straßenbau mbH, Essen, 1989
- [7] Deters, R.: Entwicklungstendenzen in der Wiederverwendung von Asphalt, in: Teerbau-Veröffentlichungen, Nr. 32, Teerbau Gesellschaft für Straßenbau mbH, Essen, 1986
- [8] Dienemann, B.; Barz, G.: Deckeninstandsetzung nach dem Remix-Verfahren auf der B4 in Braunschweig, in: Teerbau Veröffentlichungen Nr.27, Teerbau Gesellschaft für Straßenbau mbH, Essen, 1986
- [9] Ditter, K.: Entwicklungen und Erfahrungen bei der Wiederverwendung von Asphalt, in: Bauschutt-Recycling, Nr. 3, Jhrg.4, Stein-Verlag, Baden-Baden, 1988
- [10] Dohmann, M.: Gefahren durch Bauschuttrecycling, in: Entsorgungspraxis, Nr. 10, Jhrg. 4, Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH, Gütersloh 1987
- [11] Drees, G.: Recycling von Baustoffen im Hochbau, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1989
- [12] Dupré, F.: Abscheidetechniken – Naßverfahren, in: Baustoff-Recycling, Nr. 2, Jhrg. 2, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1986
- [13] Durth, W.; u.a.: Wiederverwendung einer bituminösen Fahrbahnbefestigung auf der BAB 48 – Erprobungsstrecke Gießen, in: Straße und Autobahn Nr.4, Jhrg. 30, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1979
- [14] Durth, W.: Möglichkeiten der Deckenerneuerung mit dem Repave-Verfahren, in: Straße und Autobahn Nr.11, Jhrg. 28, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1977
- [15] Ellerbrok, E.-M.: Recyclinganlagen für Bauschutt, Probleme des Staubemission- und Immissions-schutzes, Studienarbeit, Gesamthochschule Wuppertal, 1988
- [16] Erhardt, H.; Neumann, G.: Technische Aspekte zur Wiederverwendung von Asphalt, in: Straße und Autobahn Nr. 7, Jhrg. 36, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1985
- [17] Erhardt, H.: Wiederverwendung von Asphalt, in: Baustoff-Recycling, Nr.2, Jhrg. 1, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1985
- [18] Erhardt, H.: Wiederverwendung von Asphalt – Ein Bericht vom Asphalt Seminar 1985, in: Die Asphaltstraße, Nr.5, Jhrg. 19, Stein-Verlag GmbH, Bonn-Bad Godesberg, 1985
- [19] Erhardt, H.: Herstellen und Wiederverwenden von Asphalt in Trommelmischanlagen – Bericht über ein Symposium Juni 1984, in: Die Asphaltstraße, Nr.3, Jhrg. 19, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1985
- [20] Gallenkemper, B.: Anfall von Bauschutt und Straßenaufbruch – Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit, in: Recycling International, Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1984
- [21] Gallenkemper, B.: Stand der Technik der Bauschuttaufbereitung, in: Fortschritte der Deponietechnik '83, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, 1983
- [22] Gallenkemper, B.: Bauschuttrecycling und Aufbereitungsanlagen, in: Steinbruch und Sandgrube Nr. 11, Jhrg. 79, Verlagsgesellschaft Grütter mbH + Co Kg, Hannover, 1986
- [23] Gewiese, A.: Auswertung der Sortieranalyse von Baurestmassen an der Umschlagstelle Nonnendammallee, Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen, Berlin, 1987, Unveröffentlicht
- [24] Glet, W.; Rode, F.: Die Wiederverwendung von Ausbauasphalten durch Bindung mit Bitumenemulsionen, in: Bitumen Nr. 2, Jhrg. 51, Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie (Hrsg.), Hamburg, 1989
- [25] Görisch, U.: Aufbereitungstechnik auf dem Prüfstand – Neue Erkenntnisse aus der Praxis, Vortrag 4. Symposium Recycling-Baustoffe, Würzburg, 1988
- [26] Görisch, U.: Ein Zuschlag für die Herstellung von Betonsteinen, Vortrag 5. Symposium Recycling-Baustoffe, Bad Dürkheim, 1989
- [27] Gragger, F.: Stand der Wiederverwendung von Asphalt, in: Bitumen, Nr.6, Jhrg. 41, Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie (Hrsg.), Hamburg, 1979
- [28] Härdtle, G.; Marek, K.; Bilitewski, B.; Kijewski, K.: Recycling von Kunststoffabfällen, Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit, in: Beiheft 27 zu Müll und Abfall, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1988
- [29] Hartmann, R.: Ausbauasphalt in Deckschichten, in: Straße + Tiefbau, Nr. 6, Jhrg. 43, Giesel-Verlag GmbH + Co Kg, Isernhagen, 1989

- [30] Hebel, K.-H.: Baustoffgewinnung durch Aufbereitung von Baurestmassen, Diplomarbeit an der TU-Berlin, 1985
- [31] Heil, J.; Laufs, P.: Das neue hessische Abfallgesetz und dessen Auswirkungen auf Erdaushub- und Bauschuttrecycling, in: Abfallwirtschafts-Journal Nr. 12, 1989, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin
- [32] Heimsoth, W.: Abscheidetechniken – Trockenverfahren, in: Baustoff Recycling Nr. 2, Jhrg. 2, Stein Verlag GmbH, Baden-Baden, 1986
- [33] Hendriks, Ch.F.: Verwendung von Beton- und Mauerwerkschutt als Zuschlagstoff bei der Betonherstellung in den Niederlanden, in: Thomé-Kozmiensky, Pietrzeniuk (Hrsg.): Recycling in der Bauwirtschaft, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1987
- [34] Hermann, R.: Baurestmassen gehören nicht auf die Deponie, in: Müll und Abfall Nr. 9, Jhrg. 13, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1981
- [35] Hermann, R.: Verwertung von Bauabbruch, in : Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 8665, 1982, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1982
- [36] Heyde, K.H.; Tappert, A.: Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit bei der Wiederverwendung von Asphalt, in: Straße und Autobahn, Nr.7, Jhrg. 36, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg 1985
- [37] Hiersche, E.; Leutner, R.; Wörner, T.: Einsatzmöglichkeiten und zu fordernde Qualitätseigenschaften von alternativen Baustoffen im Straßenbau, Studie erstellt im Auftrag der Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Heft 101, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987
- [38] Hintsteiner, E.: Recycling im Straßenbau, in : Die Asphaltstraße, Nr.5, Jhrg. 18, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1984
- [39] Höcker, R.: Interview, in: Baustoff-Recycling Nr. 1, Jhrg. 2, Stein-Verl. GmbH, Baden-Baden, 1986
- [40] Hoffmann, H.: Mindestanforderungen an Deponien für Bodenaushub, Bauschutt und bauschutt-ähnliche Abfälle, Entwurf einer Richtlinie, in: Fortschritte der Deponietechnik '84, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, 1984
- [41] Homes, J.: Erfassung und Bewertung der Umweltbelastungen bei innerstädtischen Bauprozessen, Fortschrittsberichte der VDI Zeitschriften, Reihe 4: Bauingenieurwesen Nr.67, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1984
- [42] Hoppe, W.; Schellenberg, K.: Gußasphalt mit 50 Gew.-% Asphaltbetonfräsgut – erste Erprobungsstrecke in Baden-Württemberg, in: Die Asphaltstraße Nr. 6, Jhrg. 22, Stein-Verlag GmbH, 1988
- [43] Huwald, E.: Bauschutt ist weiterverwertbar, in: Umweltmagazin, Nr.2 (Sonderdruck), Vogel-Verlag, Würzburg, 1985
- [44] Huwald, E.: Die Lösung von Verschleißproblemen bei der Prallmahlung harter Stoffe, in: Aufbereitungs-Technik, Nr. 10, Jhrg. 28, Verlag für Aufbereitung, Wiesbaden, 1988
- [45] Huwald, E.: Aufbereitung von Baustellenabfällen, in: Technische Mitteilungen, Nr. 3, Vulkan Verlag, Essen, 1987
- [46] Ivnyi, 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
- [47] Junghänel, A.: Moderne Asphalt-Mischanlagen und die Wiederaufbereitung von Ausbaupasphalt, in: Die Asphaltstraße, Nr.2, Jhrg. 18, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1984
- [48] Kirchhoff, B.: Anlagen für die Aufbereitung von Altbaustoffen, in: Baumaschine und Bautechnik, Nr. 5, Jhrg. 29, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1982
- [49] Kirchhoff, B.: Recycling von Altbaustoffen – Aufbau- und Betriebserfahrungen mit Prallbrecheranlagen, in: Technische Mitteilungen, Nr. 3, Vulkan Verlag, Essen, 1987
- [50] Kirchhoff, B.: Aufbereitung von Altbaustoffen, Orenstein und Koppel, Zementanlagen und Aufbereitungstechnik, Ennigerloh, Selbstverlag, 1986
- [51] Koppe, W.: Beseitigung von Spurrinnen an bituminösen Fahrbahnbefestigungen mit dem Asphaltdecken-Regenerierungszug, in: Straßen- und Brückenbau, Straßenplanung und -verwaltung, Nr.3, 1970
- [52] Kotte, G.: Maschinelles Rückformen abgetragener oder deformierter Schwarzdecken – künftig ein Muß, in: Baugewerbe, Nr.4, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln, 1980
- [53] Krass, K.: Umweltverträglichkeit von Asphalt, Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V. (Hrsg.), Offenbach, 1987
- [54] Kuhne, V.: Recycling von Abbruchmaterialien – eine Aufgabe für die Zukunft, in: Baugewerbe Nr.3, 1985, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln, 1985
- [55] Kuhne, V.: Recycling von Baustoffen, in: Baumaschine und Bautechnik, Nr.8, Jhrg. 31, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1984
- [56] Kuhne, V.: Recycling von Bauschutt, in: Baumaschine und Bautechnik Nr. 3, Jhrg. 34, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1987
- [57] Kuhne, V.; Nendza, H.; Ivnyi, G.; u.a.: Auslaugungsversuche mit aufbereitetem Bauschutt, in : Recycling International, Thomé-Kozmiensky, K.J.(Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1984
- [58] Kuhne, V.: Möglichkeiten und Grenzen des Recyclings von Bauschutt, in: Baustoff-Recycling, Nr. 1, Jhrg. 4, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1988
- [59] Lemser, B.: Baurestmassen in der DDR, – Problem, Lösungsmöglichkeiten und Chancen, in: Müll + Abfall, Nr. 3, 1990, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [60] Leutner, R.: Untersuchung alternativer Baustoffe auf ihre Verwendbarkeit und Umweltverträglichkeit, in: Straße und Autobahn, Nr. 5, Jhrg. 36, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1985
- [61] Leutner, R.: Qualitätsnachweise bei der Wiederverwendung von Asphalt – ein Zwischenbericht zum Forschungsauftrag, in: Die Asphaltstraße, Nr.6, Jhrg. 22, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1988

- [62] Loewenstein, H.-H.: Qualität und Wirtschaftlichkeit von Recycling-Baustoffen im Straßenbau, in : Baustoff- Recycling, Nr.1, Jhrg. 1, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1985
- [63] Lotz, W.: Recycling-Anlagen, Kosten senken – neue Baustoffe schaffen, in: Straße und Tiefbau, Nr. 2, Jhrg. 43, Giesel-Verlag GmbH & CoKG, Isernhagen, 1989
- [64] Lübbert, E.: Referat anlässlich des Symposiums „Recycling-Baustoffe“, Bonn-Bad Godesberg, Juni 1984
- [65] Marek, K.: Recycling von Baurestmassen, in: Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 8666, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1988
- [66] Märten, H.: Asphaltrecycling in Plant, in: Straße und Tiefbau, Nr. 6, Jhrg. 43, Giesel-Verlag GmbH & CoKG, Isernhagen, 1989
- [67] Maurer, H.: Der Schlagwalzenbrecher – die Vorebrecheralternative im Steinbruch und im Großta- gebau, in: Aufbereitungs-Technik Nr. 1, Jhrg. 29, Vortrag für Aufbereitung, Wiesbaden, 1989
- [68] Maurer, H.: Schlagwalzenbrecher in mobilen Bau- schutt-Recyclinganlagen, in: Allgemeine Bauzeit- ung, Nr. 51, Verlag Waldheim, Wien, 1988
- [69] Merkel, E.: Untersuchung und Beurteilung der Ab- lagerungsfähigkeit von Abfällen auf unterschiedli- chen Deponietypen, in: Fortschritte der Deponie- technik '80, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, 1980
- [70] Morof, Th.: Regional- und Wirtschaftlichkeitsunter- suchung zur Wiederverwendung von Asphalt, in: Straße und Autobahn, Nr. 4, Jhrg. 40, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1985
- [71] Neumann, G.: Erweiterte Möglichkeiten der Asphaltwiederverwendung in Tragschichten, in: Straße und Autobahn, Nr. 10, Jhrg. 40, Kirsch- baum Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1983
- [72] Nix, H.: Erfahrungen mit einer nassen Bauschut- aufbereitungsanlage in: Recycling International, Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1984
- [73] N.N.: Ausrüstung für die Asphalt- und asphaltver- arbeitende Industrie auf dem deutschen und eu- ropäischen Markt – Wiederverwendung, in : Die Asphaltstraße Nr.2, 1984, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
- [74] N.N.: Auswurfbegrenzung, Aufbereitungsanlagen für bituminöses Mischgut, VDI-Richtlinie Nr. 2283, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, März 1978
- [75] N.N.: Daten zur Umwelt 1988/89, Umweltbundes- amt (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin, 1989
- [76] N.N.: Der Eisner, Handbuch für Straßen- und Ver- kehrswesen, Darmstadt, 1982
- [77] N.N.: Entwurf einer Richtlinie über die Untersu- chung und Beurteilung von Abfällen, Landesamt NRW, in: Hösel, Schenkel, Schnurrer (Hrsg.), Müll und Abfallbeseitigung, Kennziffer Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin, 1988
- [78] N.N.: Firmendruckschrift IBAG M+F, Neu- stadt/Weinstraße
- [79] N.N.: Baustellenabfälle – und nun ?, Informations- schrift der Fa. Bezner, Ravensburg
- [80] N.N.: Firmendruckschrift der Firma Marini-Ver- trieb, ATS Asphalttechnik und Straßenbaugeräte GmbH & Co. KG, Eschborn
- [81] N.N.: Hundert Millionen Tonnen-Grenze über- schritten, in: Entsorga-Magazin, Nr. 11, 1989, Jhrg. 8, Deutscher Fachverlag GmbH, Frankfurt a.M.
- [82] N.N.: Leitfaden Wiederverwendung von Asphalt in Mischanlagen, Verband der Teer- und Asphalt- mischwerke (VTA) e.V. und Deutsches Asphaltin- stitut e.V. (Hrsg.), twp-druck und Verlag, Muggen- sturm
- [83] N.N.: Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstra- ßen Teil: Bauliche Maßnahmen, Instandsetzung 2.4 Rückformen der Fahrbahnoberfläche, For- schungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrs- wesen (Hrsg.), Köln, 1983
- [84] N.N.: Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstra- ßen, Teil: Bauliche Maßnahmen, Wiederverwen- den von Asphalt, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 1985
- [85] N.N.: Merkblatt über die Verwendung von indu- striellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen, Forschungs- gesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 1985
- [86] N.N.: Recycling-Baustoffe für den Straßenbau- Gütesicherung RAL-RG 501/1, RAL Deutsches In- stitut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Bornheimer Str.180, Bonn, 1985
- [87] N.N.: Recycling von Asphalt, Technische Informa- tion 1, Deutsche Asphalt GmbH (Hrsg.), ohne Datum
- [88] N.N.: Recycling von Schwarzmaterial für Backen- brecher nicht nur eine Winteraufgabe, in: Stein- bruch und Sandgrube Nr. 2, 1988, Jhrg. 81, Ver- lagsgesellschaft Grütter GmbH + Co KG, Hanno- ver
- [89] N.N.: Statistisches Jahrbuch 1989, Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hrsg.), Verlag Metzler- Poeschel, Stuttgart, 1989
- [90] N.N.: Zielfestlegung zur Verwertung von Bau- schutt, Baustellenabfällen, Erdaushub und Stra- ßenaufbruch, Referentenentwurf des Bundesum- weltministeriums, Stand Dezember 1989, Bonn
- [91] Offermann, H.: Sortierung von Baustellenabfällen, in: Straße und Tiefbau, Nr. 5, Jhrg. 43, Giesel Verlag GmbH & CoKG, Isernhagen, 1989
- [92] Offermann, H.: Stand des Recyclings von Bau- schutt, in: Straße und Tiefbau, Nr. 2, Jhrg. 43, Giesel Verlag GmbH & CoKG, Isernhagen, 1989
- [93] Offermann, H.: Recycling von Bauschutt – techni- sche und ökonomische Kriterien bei der Verfah- rensauswahl, Mitteilungen aus dem Fachgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft, Heft 7, Kuhne, V. (Hrsg.), Universität-Gesamthochschule-Essen, 1988
- [94] Olshausen, H.-G.; Homes, J.: Berücksichtigung von Umwelteinflüssen bei der Auswahl von Bau- verfahren, Schriftenreihe „Bau- und Wohnfor- schung“ Nr.04095, H. Fuck Verlag, Koblenz, 1983
- [95] Paulmann, G.: Planhaftes Vorgehen bei der Wie- derverwendung von Asphalt, in: Die Asphaltstra- ße, Nr. 8, 1986, Jhrg. 20, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

- [96] Petzschmann, E.: Wirtschaftliche Durchführung von Baustoffrecycling im Hochbau – Geräteinsatz, Leistung, Kosten, in: Thomé-Kozmiensky, Pietrzeniuk (Hrsg.): Recycling in der Bauwirtschaft, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1987
- [97] Petzschmann, E.: Recycling – der Umwelt zuliebe, in: Baumarkt, Nr. 5, Jhrg. 50, Bauverlag, Düsseldorf, 1987
- [98] Pietrzeniuk, H.-J.: Recycling im Bauwesen, in: Entsorgungs-Praxis Nr. 7, Jhrg. 3, Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH, Gütersloh, 1986
- [99] Pleetz, W.: Sanierung bituminöser Fahrbahndecken durch Asphalt-Recycling, Diplomarbeit an der TU Berlin, 1983
- [100] Roth, R.H.: Moderne Verfahren zur Belagserneuerung, in: Schweizer Bauwirtschaft, Nr.10, 1985
- [101] Scheffold, K.-H.: Baustellenmishabfall – Sortierung leichtgemacht, in: Baustoff-Recycling, Nr. 5, Jhrg. 5, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1989
- [102] Schmidt, H.J.: Referat anlässlich eines Betriebsleiterseminars zum Thema: „Wiederverwendung von Asphalt in stationären Mischwerken – Grundregeln, Empfehlungen, Probleme“, in: Die Asphaltstraße, Nr.4 Jhrg. 18, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1984
- [103] Schmidt, H.J.: Asphaltgranulat im Blickfeld von Qualität und Wirtschaftlichkeit, in: Baustoff-Recycling Nr.1, Jhrg. 1, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1985
- [104] Schöndorfer, G.: Die ökonomischen Grenzen möglicher Recyclingmaßnahmen von Bauschutt, Diplomarbeit, Universität Essen, August 1984
- [105] Scholz, W.: Untersuchungsbericht – Chemische Untersuchungen an Auffüllmaterial hergestellt aus Bauschutt, Aalener Materialprüfinstitut für Baustoffe, unveröffentlicht, Juli 1984
- [106] Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Band 1, 3. Auflage, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1975
- [107] Schuler, B.A.: Asphaltrecycling im bituminösen Straßenbau, unveröffentlichte Studie, Berlin, 1983
- [108] Schuler, B.A.: Asphaltrecycling im Straßenbau, in: Recycling International, K.J. Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1984
- [109] Schüler, D.: Entwicklungstendenzen in der Asphaltindustrie, in: Straße und Autobahn, Nr. 8, Jhrg. 40, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1989
- [110] Schulz, R.-R.: Betonzuschlag aus Baurestmassen, in: Baustoff-Recycling, Nr. 4, Jhrg. 3, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden, 1987
- [111] Simm, P.: Die Wiederverwendung von Aufbruchasphalt im vollgebundenen Oberbau, in: Bitumen, Nr. 2, Jhrg. 50, Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie (Hrsg.), Hamburg, 1988
- [112] Stein, V.: Recycling-Produkte und Abfallstoffe, in: Baustoff-Recycling, Nr. 1, Jhrg. 1, Stein Verlag GmbH, Baden-Baden, 1985
- [113] Toussaint, A.: Verwertung industrieller Rückstände im Straßenbau, in: Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 8661, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1982
- [114] Fa. T.U.C.: Anlagen für die Sortierung von Baustellenabfällen, unveröffentlicht, Zürich, 1988
- [115] Werner, V.: Genehmigungsvoraussetzungen für Bauschuttrecyclinganlagen, in: Baustoff-Recycling Nr. 3, Jhrg. 2, Stein Verlag GmbH, Baden-Baden, 1986
- [116] Westphal, J.: Rekultivierung von Kiesgruben, in: Steinbruch und Sandgrube, Nr.12, Jhrg. 77, Verlagsgesellschaft Grütter mbH & CoKG, Hannover, 1983
- [117] Wiehler, H.G. (Hrsg.): Straßenbau – Konstruktion und Technologie Band 2, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1979
- [118] Wilbertz, J.: Sortierung von „Containerabfällen“ und Konsequenzen für die Abfallbeseitigung, in: Fortschritte der Deponietechnik '83, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, 1983
- [119] Wilbertz, J.: Deponientlastung durch Aufbereitung von Bauschutt und Baustellenabfällen, in: Müll und Abfall Nr.6, Jhrg. 17, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1985
- [120] Wilbertz, J.: Sortierung von Baustellenabfällen, in: Baustoff-Recycling, Nr. 1, Jhrg. 3, Stein Verlag GmbH, Baden-Baden, 1987
- [121] Willkomm, W.: Betonrecycling, in: Straße und Tiefbau Nr. 7, Jhrg.42, Giesel Verlag GmbH & CoKG, Isernhagen, 1988
- [122] Wörner, Th.: Nachweis der Umweltverträglichkeit alternativer Baustoffe mit dem ISE-Durchlaufverfahren, in: Bitumen, Nr. 3, Jhrg. 50, Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie (Hrsg.), Hamburg, 1988
- [123] Zurbrügg, E.: Sortierung und Aufbereitung von Baustellenabfällen, in: Baustoff-Recycling, Sonderausgabe zur BAUMA 89, Stein Verlag GmbH, Baden-Baden, 1989

8. Herstellerverzeichnis

8.1 Bauschutt- und Straßenaufbruchaufbereitung

Aulmann & Beckschulte
Maschinenfabrik GmbH & Co. KG
Postfach 11 51
Bergneustadt

Ammann IMA GmbH
Postfach 1350
3220 Alfeld (Leine)

Maschinenfabrik Bezner GmbH & Co.
KG
Holbeinstraße 30
7980 Ravensburg

Böhringer & Ratzinger GmbH
Postfach 726
7101 Oedheim

Brown Lenox Deutschland
Hirschfelderhof 2
5504 Zerf

Bräuer GmbH & Co. KG
Postfach 3143
6140 Bensheim 3

BOA B.V. Maschinefabrik
Postbus 212
NL – 7500 AE Enschede

Fischer-Jung KG
Postfach 926
4150 Krefeld

GFA, Gesellschaft für Aufbereitungsma-
schinen mbH & Co. KG
Postfach 1240
6834 Ketsch/Rhein

Paul Häußler Fördersysteme
Stauerstraße 27
7085 Bopfingen

Haver & Boecker
Postfach 3320
4740 Oelde

Hartl Powercrusher
Mobile Sieb- und Brechanlagen GmbH
Brunnenstraße 15
A – 4482 Ennsdorf

Salzgitter-Maschinenbau GmbH
-Bereich Hazemag-
Rösnerstr. 6 – 8
4400 Münster

IBAG M+F
Branchweilerhofstr. 33 – 35
6730 Neustadt

Kleemann & Reiner GmbH
Postfach 760
7320 Göppingen-Faurndau

Klöckner-Becorit GmbH
Postfach 10 19 45
4620 Castrop-Rauxel

Krupp Lonrho GmbH
Bereich Baustofftechnik
Frohnhauser Str. 75
4300 Essen

Lokomo Aufbereitungsanlagen GmbH
Eichelgasse 7
8562 Hersbruck

Mogensen GmbH & Co. KG
Kronskamp 126
2000 Hamburg/Wedel

Müller Aufbereitungstechnik GmbH
Postfach 1360
2330 Eckernförde

Orenstein & Koppel
Postfach 1463

4722 Ennigerloh
PHB Weserhütte AG
Unternehmensbereich Bad Oeynhausen
Postfach 101351
4970 Bad Oeynhausen

Bergeaud GmbH
Am Sportplatz 1
6114 Groß-Umstadt-Richen

SBM Wageneder GmbH
Postfach 18
A – 4663 Laakirchen

Svedala Arbra GmbH
Berner Straße 75
6000 Frankfurt/Main 56

Voest-Alpine AG
Postfach 2
A – 4010 Linz

VTP Kronenberger GmbH
Zerwasstr. 14
6643 Perl/Butzdorf
Westfalia Lünen
Postfach 1409
4670 Lünen

Dederichs Industriebau GmbH & Co.
KG
Rudolf-Diesel-Str. 26
2410 Mölln

Hoppe Anlagentechnik und Recycling
GmbH
Karlstraße 12
4353 Oer-Erkenschwick

Bernard Avermann GmbH & Co KG
Lengericher Landstr. 35
4500 Osnabrück-Hellern

Horstmann Fördertechnik
4970 Bad Oeynhausen

T.U.C. Consult AG
Zentralstr. 2
CH – 8036 Zürich

8.2 Asphaltrecycling

Bomag-Menck GmbH
Postfach 180
5407 Boppard

Dynapac GmbH
Postfach 1165
6080 Groß-Gerau

Linnhoff & Thesenfitz
Maschinenbau GmbH
Postfach 1409
2090 Winsen

Marini-Vertrieb
ATS-Asphalttechnik und Straßenbauge-
räte GmbH & Co. KG
Max-Plank-Str. 21
6236 Eschborn/Taunus

MVG Maschinenvertriebsgesellschaft
mbH
In der Loh 36
4005 Meerbusch 3

Wirtgen GmbH
Spezialunternehmen für Abfräsen von
Schwarzdecken
Hohner Str. 2
5461 Windhagen

WIBAU Maschinen GmbH
WIBAU-Straße
6466 Gründau-Rothenbergen

Strabag Bau-AG
Straßen- und Tiefbau
Schiess-Straße 45
4000 Düsseldorf 11

Tief- und Straßenbau GmbH
Gottlieb-Braun-Str. 17
7262 Althengstett

Teerbau Gesellschaft für Straßenbau
mbH
Prinz-Friedrich-Str. 3
4300 Essen 15

Deutsche Asphalt GmbH
Neuhausstr. 1
6000 Frankfurt a.M. 18

OHL Industrietechnik
Theodor OHL AG
Blumenröder Str. 3
6250 Limburg/Lahn

WASMUS
Maschinen- und Stahlbauges.mBH
4520 Melle 1



Zeichen der Zeit
Recycling
Baustoffe
Brünger bringt's

Wir bearbeiten und vermarkten
mit Erfolg Reststoffe aus:

- Steinkohlekraftwerken
- Hausmüllverbrennungsanlagen
- Hoch-, Tief- und Straßenbau
- Industrie

für den

- Hochbau
- Tiefbau
- Straßenbau
- Landschaftsbau

Recycling schafft Baustoffe!

AUFBEREITUNG UND VERTRIEB VON RECYCLINGPRODUKTEN IN DER BAUINDUSTRIE



Industriefiliale BRÜNGER Porta Westfalica	Recycling Baustoffe Transport
--	-------------------------------------

Zur Porta 5 · 4952 Porta Westfalica (05 71) 7 00 21
Fax (05 71) 7 00 23

»Kaum zu glauben ... aber wahr!«

Es gibt viele Wege zur Baustoffaufbereitung:
Siddern - Brieben - Shrechen - Breddern - Sieben
Shrieben - Srechen - Shreddern - Blabbern - Brechen
Wir haben ein klares Konzept!



BAUREC

MOBILE BAUSTOFF-AUFBEREITUNG

4952 Porta Westfalica · ☎ (05 71) 7 77 21 · Fax (05 71) 7 00 23

Müll und Abfall

**Fachzeitschrift
für Behandlung
und Beseitigung
von Abfällen**

**Organ
für die gesamte
Entsorgung und
Abfallwirtschaft**

Schriftleitung: Dipl.-Ing. M. Ferber

Erscheinungsweise: monatlich mit etwa 40 Seiten, DIN A 4, je Heft im Abonnement DM 14,80, Einzelheft DM 17,-. Abonnementspreis für Bezieher in Ausbildung (gegen Vorlage einer Studienbescheinigung) DM 11,20.

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 20 Jahren für diesen Bereich und bietet den umfassenden Erfahrungsaustausch zwischen allen in der Praxis an der Entsorgung und Abfallwirtschaft beteiligten Kreisen.

Die Mitarbeit von Experten aus Forschung, Industrie, Verwaltung und Organisation, aber auch aus der kommunalen und aus der privatwirtschaftlichen Praxis vor Ort, gibt die Gewähr für die ausgewogene und fundierte Berichterstattung und das hohe Niveau der aktuellen Beiträge.

Die Diskussion beginnt bei der Frage der Abfallvermeidung und geht bis zu den möglichen Langzeitauswirkungen von Beseitigungsmethoden. Diese Überlegungen sind wichtig und notwendig. Es darf aber nie vergessen werden, daß der verantwortliche Praktiker trotzdem nach wie vor die Aufgabe hat, die heute entstehenden Abfälle einzusammeln und sie Tag für Tag so gut und so wirtschaftlich wie möglich zu beseitigen.

MÜLL und ABFALL ist sich dieser Problematik bewußt und daher stets bemüht, beiden Seiten, der Grundsatzdiskussion ebenso wie der unentbehrlichen täglichen Praxis, Raum zu geben.

MÜLL und ABFALL erscheint 1990 bereits im 22. Jahrgang. Als von Interessengruppen unabhängige und kritische, gleichwohl verantwortungsbewußte Fachzeitschrift ist sie die unentbehrliche Informations- und Arbeitsgrundlage für alle in diesem Bereich tätigen Ingenieure und Kaufleute, Wissenschaftler und Praktiker, Juristen und Verwaltungsfachleute - sei es in den Kommunen, Fuhrparks und Stadtreinigungsbetrieben, in den Beseitigungsunternehmen, in Industrie und Forschung, den Verbänden oder in der Politik.

Gern senden wir Ihnen ein kostenloses Probeheft.

ANLAGENPLANUNG UND -ERRICHTUNG
 Plant planning and erection
 Pianificazione ed erezione
 d' impianti

Sammlung + Transport
 Collection + transport
 Raccolta + trasporto

Gewerbe- + Industrieabfall
 Industrial wastes
 Dechets industriels
 Rifiuti industriali

Recycling
 Recycling
 Riciclaggio

Bauschutt + Baustellenabfall
 Building rubble + site-wastes
 Décombres + déchets
 des chantiers
 Caltrocce + rifiuti
 dei cantieri

Kompostierung + Rotte
 Composting + rotting
 Compostage + fumier
 Compostaggio + concime

Spezialaufgaben
 Special tasks
 Tâches particulières
 Compiti speciali

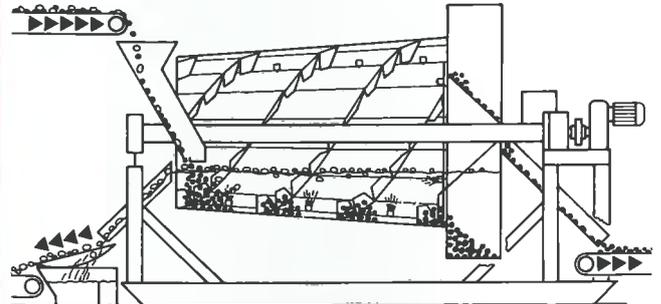
angebotkösungen durch uns

ABFALLTECHNIK + RECYCLING GMBH
 THALHAUSER STRASSE 52 · D-8050 FREISING
 TELEFON 081 61/13049 · TELEFAX 081 61/50222

BRIEDEN

Neue Wege in der Naubaufbereitung

HYDRO-TROMMELABSCHIEDER mit Wasser-Rückgewinnungsanlage für Bauschutt, Restbeton und Bimsgewinnung.



- Leistung bis 150 t/h bei 1,55 t/m³
- Trennmittelumlauf (Wasser) 62,5 m³/h
- Verhältnis Material zu Wasser = 2,4:1
- Antrieb 7,5 kW regelbar 2-5 min⁻¹

Übrigens: **Wir suchen noch Vertriebspartner.**

Maschinenfabrik KARL BRIEDEN GmbH & Co.
 Postfach 500113 · D-4630 Bochum-Linden · Telefon (02 34) 41710
 Telefax (02 34) 4171106 · Teletex 234 326

BERATUNG · PLANUNG · PROJEKTSTEUERUNG

- | | |
|---|-------------------|
| Abfallwirtschaft | Altlastenkataster |
| Deponietechnik | Sanierungsplanung |
| Gefährdungs-
abschätzung | Standortsuche |
| Recyclingprogramme | UVP |
| Technische-wirtschaftliche Untersuchungen | |

DIETERICH HAUPTSTR. 160, 6500 MAINZ-MOMBACH
 BERATENDE INGENIEURE TELEFON 061 31/682047, FAX 680444
 TELEX 4187 454 DBI

Sachverständige Beratung, Planung, Bauüberwachung und Betreuung in allen Bereichen des

RECYCLING

vom Denkmodell bis zur Inbetriebnahme
 - alles aus einer Hand!

EGGENFELDEN · VILSHOFEN · WEIDEN
 ERDING · ALTÖTTING · SIMBACH A. INN

Ingenieurbüro
KESSLER
 Coplan GmbH

8330 Eggenfelden, Rathausplatz 6
 Telefon (08721) 705 0

SORTIERANLAGEN f. Haus- u. Gewerbemüll
KOMPOSTIERANLAGEN f. Haus- u. Gartenabfälle
AUFBEREITUNGSANLAGEN f. Kunststoffe,
 Schrott, Bauschutt, Asphalt, Schlacke
 ... in Verbindung mit integrierten Entsorgungskonzepten, Erfassungs- und Transportsystemen sowie Reststoffentsorgung.

Thema Baustoff-Recycling:

O&K-Prallbrecher.

Stationäre, semi-mobile oder mobile Anlagen
 für Grob- bis Feinerkleinerung
 von Bauschutt,
 Straßenaufbruchmaterial, Glas usw.



O&K Anlagen und Systeme, Aufbereitungstechnik
 Postfach 14 63, D-47 22 Ennigerloh, Telefon (025 24) 30-1, Telex 89 409

MÜLL HAND BUCH

KURZÜBERSICHT

Band 1

Verzeichnisse, Übersichten, Einführung
Allgemeines
Abfallwirtschaft und Umweltpolitik
Recht und Verwaltung
Raumordnung, Landes-/Bauleitplanung
Abfallwirtschaft im Ausland

Band 2

Arten der Abfälle
Begriffsbestimmungen
Menge und Beschaffenheit flüssiger
Abfälle
Menge und Zusammensetzung fester
Abfälle
Untersuchungsrichtlinien der LAGA
Sammlung und Transport flüssiger
Abfälle und Schlämme
Sammlung und Abfuhr fester Abfälle
Verwertung von Hausmüll durch
getrennte Sammlung und/oder
Sortierung
Behandlung und Beseitigung
von Abfallschlämmen

Band 3

Beseitigung ölhaltiger Abfälle
Beseitigung von Abfällen durch
Ablagerung
Hygiene der Siedlungsabfallwirtschaft
Biologie der Rotteprozesse
bei Kompostierung
Behandlung und Beseitigung fester
Abfälle durch biologische Verfahren
Verwertung von Abfällen im Landbau

Band 4

Beseitigung von Abfällen durch
Verbrennung
Neue thermische Verfahren
Sammlung, Behandlung, Verwertung
und Ablagerung von Gewerbeabfällen

Band 5

Sonderabfälle

Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen

Ergänzbare Handbuch für die kommunale und industrielle Abfallwirtschaft

Herausgegeben von Prof. Dr. med. habil. G. Hösel, Ministerialdirigent a. D., Dipl.-Ing. W. Schenkel, Erster Direktor und Professor beim Umweltbundesamt und Dr.-Ing. H. Schnurer, Ministerialdirigent beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Begründet von Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Kumpff †, D. K. Maas † und Prof. Dr.-Ing. H. Straub †

Unter Mitwirkung in- und ausländischer Fachleute aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.

Ergänzbare Ausgabe, rd. 8000 Seiten, DIN A 5, einschließlich 5 Spezialordner DM 386,-, Ergänzungen von Fall zu Fall. Seitenpreis ca. DM 0,35.

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 über 25 Jahren seine Eignung unter Beweis gestellt hat und heute aktueller und wichtiger als je zuvor ist:

Das MÜLL-HANDBUCH



Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München