

Beihefte zu

Müll und Abfall

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen



23

Bauschutt- und Asphaltrecycling

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit

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

Wir haben schon Recycling-Anlagen gebaut, als man noch ganz einfach von Bauschutt-Verwertung sprach.



Anlagen bis 250t/h bei
Aufgabe stückgrößen
bis ca. 70cm Kantenlänge

Stimmt. Auch wenn wir das Wort Recycling nicht erfunden haben – unsere Anlagen haben die Technik, die auch morgen Gültigkeit hat. Deshalb laden wir Sie ein, mit uns Kleemann & Reiner-Anlagen im harten Alltagsbetrieb zu besichtigen. Wir sind für Sie da, rufen Sie uns einfach an.

Kleemann & Reiner GmbH
Postfach 760, Hildenbrandstr. 18
7320 Göppingen-Faurndau
Tel. (0 71 61) 2 20 94
Telex 7 27 640

**Kleemann
Reiner** 

Übrigens, die auf der Titelseite dieses Heftes abgebildete Recycling-Anlage der Heinrich Hebel Straßenbau Tiefbau GmbH & Co, 7927 Sontheim/Brenz, haben wir geplant, konstruiert, gefertigt und montiert.

Beihefte zu

MÜLL und ABFALL

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen – Heft 23

Bauschutt- und Asphaltrecycling

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit

Von

Dr.-Ing. Bernd Bilitewski

Dipl.-Ing. Georg Härdtle

Dipl.-Ing. Klaus Marek

Dipl.-Ing. Angela Schulz

ERICH SCHMIDT VERLAG

Gel

Die
erleb
der
wert

Es w
zu di

Die
der
stoffe
Aufb
werd

Heut
durch
knap
stätte

Baus
von

Bild auf dem Umschlag: Aufarbeitung auf Deponie

ISBN 3 503 02538 3

Alle Rechte vorbehalten
© Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 1986
Druck: Regensburg, Münster

Geleitwort

Die Wiederverwertung von Bauschutt und Asphalt erlebt derzeit eine Renaissance, nachdem sie Anfang der 60er Jahre mit der Beendigung der Trümmerverwertung eingeschlafen war.

Es waren zunächst vor allem ökonomische Gründe, die zu dieser Wiederbelebung führten.

Die Preisexplosion des Bindemittels Bitumen infolge der Ölkrise und auch der Verteuerung natürlicher Baustoffe u. a. durch die regionale Verknappung ließen die Aufbereitung von Bauschutt und Asphalt lohnend werden.

Heute werden diese ökonomischen Gründe ergänzt durch ökologische Aspekte, wie z.B. der Schonung knappen Deponieraums, aber auch natürlicher Lagerstätten.

Baustoffrecycling wurde inzwischen zum Zauberwort, von dem im Zusammenhang mit der Umweltdiskussion

die Lösung der Rohstoff-, Deponie- und Energieprobleme erhofft wird. Das kann Recycling von Baustoffen natürlich nicht leisten. Nur wenn die Grenzen des Baustoffrecycling erkannt werden, kann es seinen wichtigen Platz in der Volkswirtschaft einnehmen und zum integralen Bestandteil der Bauwirtschaft werden.

Es ist das große Verdienst der vorliegenden Arbeit, die heute vorhandenen Erkenntnisse zusammengestellt und einer Würdigung unterzogen zu haben. Daß dabei besonderer Wert auf Betriebserfahrungen gelegt wurde, wird dieser Arbeit helfen, die zu wünschende weite Verbreitung zu finden.

Berlin, im Dezember 1985

Dr.-Ing. H.-J. Pietrzeniuk
Umweltbundesamt, Berlin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	9	3.1.1 Anforderungen	39
1.1. Definition und Charakterisierung von Baurestmassen	9	3.1.2 Einsatzgebiete	40
1.1.1 Erdaushub	9	3.2. Asphalt	44
1.1.2 Bauschutt	9	3.2.1 Anforderungen	45
1.1.3 Straßenaufbruch	10	3.2.2 Einsatzgebiete	47
1.2. Stand der Verwertung und Entsorgung ..	12	4. Umweltbeeinträchtigungen	49
1.2.1 Bauschuttdeponie	12	4.1. Lärmbelästigungen	49
1.2.2 Primär- und Sekundärrecycling	13	4.2. Luftverunreinigungen	50
2. Technische Grundlagen und Verfahren des Bauschutt- und Asphaltrecyclings ..	17	4.3. Wassergefährdung und Landschaftsverbrauch	52
2.1. Bauschuttaufbereitung	17	4.3.1 Gewinnung von Rohstoffen	52
2.1.1 Mobile Anlagen	17	4.3.2 Deponierung der Restmassen	54
2.1.2 Semimobile Anlagen	21	5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	59
2.1.3 Stationäre Anlagen	21	5.1. Bauschuttrecycling	59
2.1.4 Betriebserfahrungen	24	5.2. Asphaltrecycling	61
2.2. Asphaltaufbereitung	27	6. Ausblick	65
2.2.1 Recycling-in-place	29	7. Literatur	66
2.2.2 Recycling-in-plant	33	8. Herstellerverzeichnis	69
2.2.3 Betriebserfahrungen	37	8.1. Bauschutt- und Straßenaufbruch- aufbereitung	69
3. Produkte und Eigenschaften	38	8.2. Asphaltrecycling	69
3.1. Bauschutt	39		

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 Baureststoffe von 1977 mit 90,4 Mio Mg auf 133,4 Mio Mg im Jahre 1980 zu. Gleichzeitig stieg die Anzahl der Bauschuttdeponien von ca. 1400 auf ca. 2300, während die Zahl der Hausmülldeponien im gleichen Zeitraum beständig abnahm und die Ablagerung auf Hausmülldeponien stark eingeschränkt wurde (2).

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 auszubeuten 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 (41). 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. Gesteinsaufschub), 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 Definition und Charakterisierung von Baurestmassen

Die Materialien, die aufgrund von Baumaßnahmen als Baureststoffe anfallen, werden in drei Hauptgruppen untergliedert:

- Erdaushub,
- Bauschutt,
- Straßenaufbruch.

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, kann jedoch als Zuschlagstoff für den Straßen- und Wegebau eingesetzt werden (63).

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 an den Baurestmassen. Dabei variiert die Zusammensetzung stark. 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 Deponieabdeckungen, Dammschüttungen, Lärmschutzwälle und für den Gartenbau verwertet oder einer Aufbereitungsanlage zugeführt werden.

1.1.2 Bauschutt

Beim Brücken-, Fabrik-, im Hoch- und Tiefbau fällt bei Baumaßnahmen Bauschutt an. Je nach Alter und Konstruktionsweise der Bauwerke enthält der dabei entstehende Bauschutt unterschiedliche Zusammensetzungen und Verunreinigungen mit organischen und anorganischen Bestandteilen.

Der Bauschutt kann dabei nachfolgende Materialien enthalten:

Bild 1.1.
Betonabbruch aus dem Hochbau



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



Erreich, Beton mit und ohne Monierstahl, Ziegel-
mauerwerk, Fliesen, Kalksandstein, Mörtel, Gips-
platten, Blähton, Holz, Leichtbauplatten, Sand,
Kunststoffe, Nichteisenmetalle, Papier, Bitumen,
Teer, Pech, Farben und Klebstoffe.

In Tabelle 1.1. ist die Zusammensetzung eines
Bauwerkes jeweils unter Angabe der Masse aufge-
führt (26).

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 Bruttoraum-
inhalt (26)

Baustoff	Einsatzgebiet	Anteil
Mauerwerk	Hohlblock-, Ziegelvoll- und Loch- steine, Bims- Wandbauplatten Dach- deckungsmaterial	0,11 m ³
Stahlbeton und Beton	Fundamente, Geschoßdecken, Trep- pen, Balken, Stürze, Kellerböden	0,09 m ³
Natursteine	Fensterbänke	0,0001 m ³
Betonwerkstein	Treppenbeläge	0,0008 m ³
Betonstahl und Baustahl	Decken, Träger, Stützen	5,3 kg
Zimmer- und Holzbau- material	Holzbinder, Schalungen, Gesimse, Lattenverschläge	0,067 m ³
Dachdeckungs- material	Bitumendachpappen, Glasgewebe, Spachtelmassen, Wärmedämmungen, Kies- und Splittschüttung	0,0046 m ³ 0,0044 m ³ 0,0077 m ³ 0,017 m ³
Klempner- material	Attikaverkleidung, Fensterbleche, Regenfallrohre und Dunstrohre	125 m ²
Putz- und Stuckmaterial	Wand- und Deckenputz mit Putzträg- er	0,02 m ³
Fliesen- und Platten- material	Wand- und Bodenfliesen in Mörtel- bett	0,003 m ³
Estrich- material	Zementestriche Dämmatten	0,009 m ³ 0,013 m ³
Tischlerholz	Fenster, Türen, Futterleisten und Rolladendeckel	0,002 m ³
Parkettholz	Holzriemen und Sockelleisten	0,0003 m ³
Beschläge- material	Türschlösser, -bänder, Scharniere, Kleineisenteile	0,256 kg

Baustoff	Einsatzgebiet	Anteil
Rolladen- material	Kunststofflamellen für Fenster und Balkontüren	0,003 m ³
Metallbau- material	Treppengeländer, Roste, Stahlkel- lerfenster, Zargen und Stahltüren	0,56 kg
Verglasungs- material	Mehrscheibenisoliervglas	0,0005 m ³
Bodenbeläge	Textil-, PVC-Beläge einschließlich Spachtel- und Ausgleichmassen	0,0007 m ³
Material für Lüftungs- anlagen	Kanalleitungen aus Asbestzement	0,014 kg
Material für Heizungs- und Brauchwasser- anlagen	Stahlheizkörper, Rohrleitungen, Ventile, Befestigungsmittel und Konsolen	1,08 kg
Material für Gas-, Wasser- und Abwasser- installation	Kalt- und Warmwasserleitungen Kupferrohrleitungen Stahlwannen Porzellan- und Keramikbecken	0,200 kg 0,035 kg 0,097 kg
Material für elektrische Leitungen	Leitungen NYY und NYM, Antennen- leitungen, Bänder und Befesti- gungsmaterial	0,099 kg

1.1.3 Straßenaufbruch

Je nach dem eingesetzten Material für die Deck-,
Binder- und Tragschichten von Fahrbahnen setzt
sich der Straßenaufbruch aus Asphalt, Beton, teer-
haltigen Substanzen, Randsteinen, Pflastersteinen,
Sand, Kies und Erreich zusammen (34,37).

Asphalt (bituminöses Mischgut) besteht aus (58):

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

Bituminöse Mischgüter werden in zwei Gruppen
eingeteilt:

I. Asphaltbeton

Dieser besteht aus einem abgestuften Mineralstoff-
gemisch mit Bitumen oder Teerbitumen als Binde-
mittel. Der Einbau erfolgt bei 90–190 °C. Asphaltbe-
ton wird beim Einbau mit Walzen verdichtet und
entsprechend als Walzasphalt bezeichnet.

II. Gußasphalt

Dieser besteht ebenfalls aus einem abgestuften
Mineralstoffgemisch und Straßenbaubitumen oder
aus einem Gemisch aus Straßenbaubitumen und
Naturasphalt. Gußasphalt ist nach dem Gießen
dicht, bedarf somit keiner Nachverdichtung mittels
Walzen und wird nur als Deckschicht eingebaut
(58).

Die jährlich anfallenden Mengen an Bauschutt,
Straßenaufbruch und Erdaushub hängen von der
Anzahl der durchgeführten Bauvorhaben ab.

Entsprechend der konjunkturellen Lage der Bau-
wirtschaft in den letzten Jahren (1983/84) wird sich
der Anfall von Baurestmassen gegenüber dem Jahr
1980 nur unwesentlich verändern. Für das Baujahr
1985 prognostiziert der Präsident des Zentralver-
bandes des Deutschen Baugewerbes einen Rück-
gang des Bauvolumens um 2 % (55).

In Tabelle 1.2. sind die Produktionsmengen an
mineralischen Rohstoffen in der Bundesrepublik
Deutschland dargestellt.

Bild 1.3.
Unverarbeiteter Straßenaufbruch mit großen Asphaltplatten



Tabelle 1.2.
Produktionsmengen an mineralischen Rohstoffen für das Jahr 1983 in der Bundesrepublik Deutschland (37)

Mineralische Rohstoffe	Menge in Mio Mg
1	2
1 Bausand, -kies und Kies für Wegebau davon in Betrieben mit mehr als 10 Beschäftigten	370 190,3
2 Natursteine für Wege-, Bahn- und Wasserbau - ohne Kalkstein und Dolomit	119,0
3 Kalksteine für die Zementherstellung	41,0
4 Kalksteine und Dolomit - außer zur Zement- und Branntkalkherstellung	78,0
5 Hochofenschlacke Hüttensand	6,0 2,7

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.

Das Statistische Bundesamt erfaßt in Zusammenarbeit mit den Statistischen Landesämtern seit 1975 in Abständen (bisher für 1977, 1980 und 1982) die anfallenden Mengen an Erdaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch.

In der Tabelle 1.3. sind die Anfallmengen für Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch für das Jahr 1980 aufgelistet.

Mit ca. 79 Gew.-% stellt Erdaushub den weitaus größten Anteil dar. Wie bereits erwähnt, kann dieses Material sowohl aus Mutterboden, aus Felsgestein, Ton etc. bestehen.

Die entsprechenden spezifischen Werte bezogen auf die Einwohnerzahl der Bundesrepublik Deutschland sind in Tabelle 1.4. zusammengefaßt.

Straßenaufbruch liegt in bituminösen und hydraulisch gebundenen Schichten vor. Das Aufkommen von Asphaltträsgut und -schollenaufbruch beläuft sich auf ca. 10 Mio Mg/a. In diesem Ausbaumasphalt sind ca. 0,5 Mio Mg Bitumen enthalten (60).

Im Bild 1.4. ist von Gallenkemper (19) der Zusammen-

Tabelle 1.3.
Anfall an Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch für das Jahr 1980 (17)

Art der Baurestmassen	Mengen	
	Mio Mg	Gew.-%
1	2	3
1 Bodenaushub	105,0	78,7
2 Bauschutt	15,2	11,4
3 Straßenaufbruch	13,2	9,9
4 Gesamtanfall	133,4	100,0

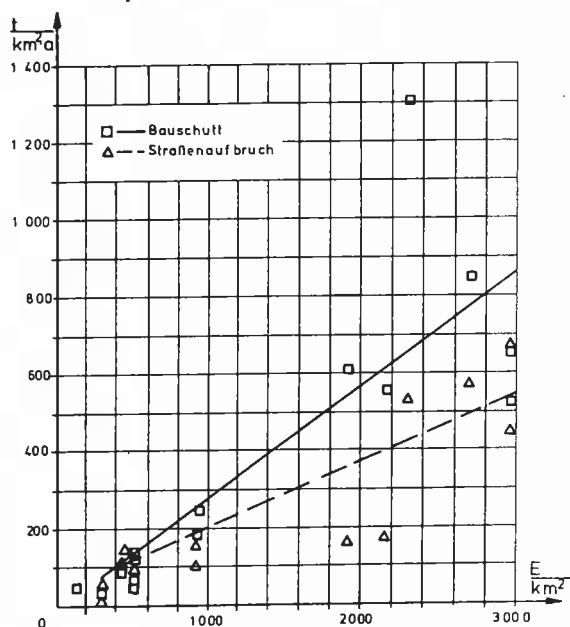
Tabelle 1.4.
Spezifischer Anfall an Baurestmassen pro Kopf für 1980 in der Bundesrepublik Deutschland (17)

Baurestmassen	Einheit	Menge
1	2	3
1 Bodenaushub	Mg/Ea	1,70
2 Bauschutt	Mg/Ea	0,25
3 Straßenaufbruch	Mg/Ea	0,21
4 Gesamtanfall	Mg/Ea	2,16

hang zwischen dem Anfall an Bauschutt- und Straßenaufbruch und der Einwohnerdichte dargestellt. Es wird deutlich, daß bei größerer Einwohnerdichte der Anfall an Baurestmassen pro Flächeneinheit höher liegt als in Gebieten mit dünner Besiedlungsdichte.

Auf der Grundlage vorstehender Darstellung kann ein entsorgungspflichtiger Landkreis z.B. abschätzen, welche Mengen an Baurestmassen neben Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbemüll jährlich zur Beseitigung anfallen.

Bild 1.4.
Der Zusammenhang von Bauschutt und Straßenaufbruch und der Einwohnerdichte in der Bundesrepublik Deutschland für 1980 (19)



1.2. Stand der Verwertung und Entsorgung

Nach einer Statistik aus dem Jahre 1980 werden jährlich folgende Mengen an Erdaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch entsorgt und verwertet:

Tabelle 1.5.
Verwertung, bzw. Beseitigung der anfallenden Baurestmassen (17)

Beseitigungsart	Anfallende Mengen Gew.-%	Mengen Mio Mg
1	2	3
1 Deponierung	53,3	71,0
2 Beseitigung auf sonstige Weise	44,7	59,7
3 Wiederverwertung	2,0	2,7
4 Gesamtanfall	100,0	133,4

In der folgenden Tabelle 1.6. sind die Abfallbehandlungsmethoden und die Abfallmengen für Haus-, Sperr- und Gewerbemüll dargestellt.

Tabelle 1.6.
Zusammenstellung der Abfallbehandlungsmethoden und Abfallmengen für Haus-, Sperr- und Gewerbemüll in der Bundesrepublik Deutschland für Ende 1984 (5)

Abfallbehandlungsmethode	Entsorgungsanlagen	angeschlossene Einwohner in %	Anteil am gesamten Hausmüll in %	Abfallmengen Mio Mg/a
1	2	3	4	5
1 Müllverbrennung	46	33,43	26,33	7,89
2 Kompostierung	17	4,29	2,26	0,67
3 Pyrolyse	1	0,04	0,03	0,01
4 Sortierung	2	0,49	0,51	0,15
5 Deponie	520	61,75	70,87	21,26

Bei einem zu deponierenden Anteil von ca. 70 Gew.-% des Haus-, Sperr- und Gewerbemülls (ca. 21 Mio Mg) muß vergleichsweise hierzu die dreieinhalbfache Menge an Baurestmassen jährlich abgelagert werden. Daraus wird deutlich, daß bei den Ablagerungen der Baurestmassen vor allem der Landschaftsverbrauch ein gravierendes Problem darstellt und eine weit größere Mengendimension einnimmt, als bei der Beseitigung von Hausmüll.

1.2.1 Bauschuttdeponie

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 Untergrundabdichtungen 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 Annahmegebühren orientieren sich im wesentlichen an der unterschiedlichen Ausstattung der Deponien und den Anfallmengen in einem Ein-

zugsgebiet. Es ergeben sich erhebliche Gebührenunterschiede, die zwischen ca. 3,- DM/Mg bis 40,- DM/Mg schwanken können.

An Deponien zur Ablagerung von Baurestmassen werden folgende Anforderungen gestellt (4):

- 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. gewährleisten.
- 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 Zufahrtsstraßen 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 künstliche Basisabdichtungen vorgesehen, so daß Standorte gefunden werden müssen, die eine geringe Durchlässigkeit mit einem K_r-Wert von 10⁻⁷ aufweisen.

Probleme bei der Deponierung stellen vor allem Abfälle dar, die in Containern auf Baustellen gesammelt werden. Diese enthalten neben Bauschutt auch Kunststoffe, Kabelabfälle, Installationsabfälle und organische Abfälle (5,75,76). Eine Analyse der Inhaltsstoffe von Containeranlieferungen ist in Tabelle 1.7. enthalten. Diese Abfälle können auf der Deponie zur Anreicherung des Sickerwassers mit Schadstoffen führen. 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.

Nach den zur Zeit gültigen Tarifsätzen für den Güternahverkehr entspricht eine Mehrentfernung von 7 km ca. 1,- DM/Mg an Mehr-Frachtkosten (40).

Wie aus der Tabelle 1.5. ersichtlich wird, werden zur Zeit ca. 2 Gew.-% der anfallenden Baurestmassen aufbereitet und weiter verwertet, während ca. 45 Gew.-% einer sonstigen Beseitigungsform zugeführt werden.

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 (18). Eine weitere Möglichkeit die unaufbereiteten Reststoffe zu verwerten, besteht in der Verfüllung ausgedienter Kiesgruben.

Tabelle 1.7.
Aufteilung der aus-
sortierten Stoffe in
Gewicht und Volumen
aus Bauschuttcontai-
nern (76)

Stoff		Gewicht Mg	Anteil %	Volumen m ³	Anteil %
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

1.2.2 Primär- und Sekundärrecycling

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

In der Tabelle 1.8. sind die Baustoffe unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Wieder- und Weiterverwertung dargestellt.

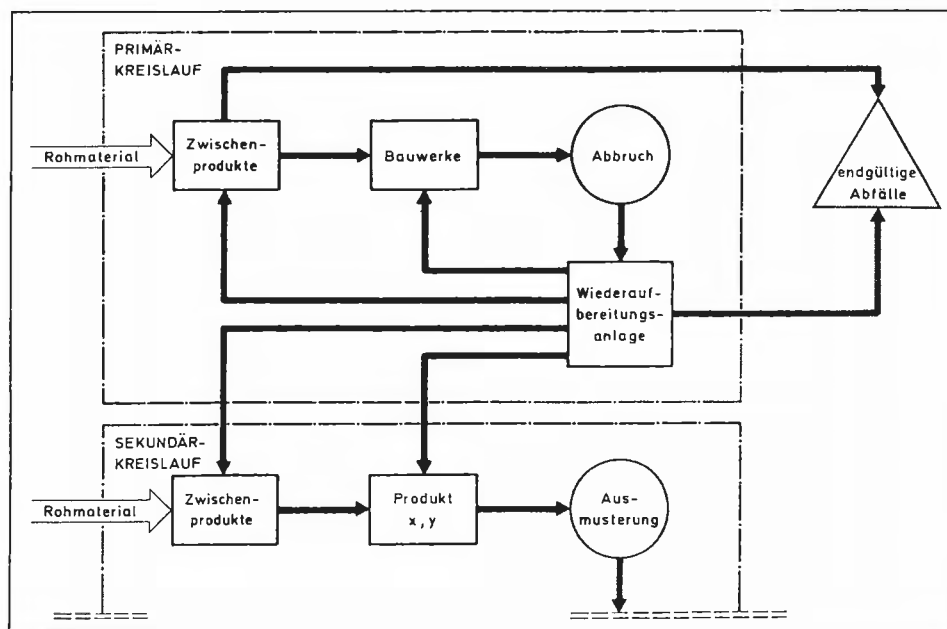
Bei inhomogen angelieferten Materialien erscheint

eine Aufbereitung der Gemische zu hochwertigen Sekundärrohstoffen aufwendig, da sie mit Neumaterialien, vor allem hinsichtlich der Qualitätskriterien, konkurrieren müssen.

Andererseits zeigt die Stoffgliederung der Tabelle 1.8. 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,

Bild 1.5.
Schematische
Darstellung des
Primär- und
Sekundärrecycling für
Bauschutt (38)



	Baustoff	Definition der Stoffe	Wiederverwendung	Weiterverwendung
1	2	3	4	5
1	Erdbaubettungsstoffe	Mineralische Lockerungsgesteine, Industrieanfallstoffe 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	Bildsame 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 im Verbund mit Stahl schwer trennbar. 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	-

Tabelle 1.8.
Die Gliederung der Baustoffe unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Wieder- und Weiterverwertung (25)

Fortsetzung Tabelle
1.8.

	Baustoff	Definition der Stoffe	Wiederverwendung	Weiterverwendung
1	2	3	4	5
8	Stahl	Als kristalliner Stoff; in legierte und unlegierte Stähle geteilt.-Baustähle in Stab- und Mattenform; Träger, Stützen u.ä. geformt	In ausgebaute Form unter Berücksichtigung der Streckgrenzen und Verformung möglich. Verbaute Betonstähle schwer auslösbar.	Durch Umformung, begrenzt möglich. Zuschneiden
9	Gußeisen	Graues Gußeisen und duktiles Gußeisen als Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, Formgebung durch Gießen. Im Bauwesen meist unlegierter Grauguß für Rohre, Heizkörper, Formstücke	In ausgebaute Form von Rohren u.ä. direkt möglich	Kalt- und Warmformen fast nicht möglich
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 Edelh Holzvertäfelung direkt	Zuschneiden, hobeln, zerkleinern, zerspanen, häckseln, zerspanen
12	Vergütete Holzbau- stoffe	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	Faserbau- stoffe	Mineralische oder organische Fasern im Verbund aufbereitet. Holzfasern für Platten, Spanplatten, Mineralfaser, Glasfaser, u.ä.	Meistens möglich, bei glasfaser verstärkten Polyesterharzen schwer	Durch neue Formgebung möglich
14	Papier- zeugnisse	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

	Baustoff	Definition der Stoffe	Wiederverwendung	Weiterverwendung
1	2	3	4	5
16	Glas, Emaille	Glas-ein silikates Schmelzprodukt. 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	Plaste u. Elaste	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.	Nach Extraktion direkt möglich. In Verbindung mit Straßenbaumaterial oder Trägermaterial nach Ausbau direkt nicht möglich	Nur nach Materialtrennung 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 Kittens kaum möglich
20	Anstrichstoffe	Stoffgemenge in flüssiger bis pastenförmiger Aufbereitung von Kalkfarben, Silikaten, Leimfarben bis Epoxidharzfarben	-	-

Fortsetzung Tabelle 1.8.

sondern durch weitgehende getrennte Erfassung, Lagerung und Transport der einzelnen Materialien einer erneuten Verwendung zugeführt werden.

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 Baurestmassen zwar verbraucht, 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 (25).

Bei der Aufbereitung von Baurestmassen ist die Abtrennung schädlicher Verunreinigungen sicherzustellen (Merkblatt: Wiederverwendung von Baustoffen).

Damit eine Baustoffaufbereitungsanlage rentabel betrieben werden kann, müssen neben der Wahl des Standortes und der Kapazität der Anlage folgende Faktoren berücksichtigt werden (40):

- Die natürlichen Rohstoffvorkommen im näheren Einzugsbereich;
- die Preisstruktur von konkurrierenden Baustoffen;

- die Höhe der Deponiegebühren im näheren und weiteren Umkreis;
- die Quantitäten und Qualitäten der Altbaustoffe.

Für den kontinuierlichen Absatz der aufbereiteten Baustoffreste müssen bestimmte Qualitäten und Zusammensetzungen eingehalten werden, da sich hieraus die Verwendungsmöglichkeiten ergeben. Als Einsatzbereiche für Sekundärbaustoffe werden im Entwurf des "Merkblattes über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen" entsprechend der Qualität, folgende genannt:

- 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.

Die Qualität der Sekundärbaustoffe muß anhand bestehender Richtlinien und Normen überprüft werden.

2. Technische Grundlagen und Verfahren des Bauschutt- und Asphaltrecyclings

Im Jahre 1980 belief sich der Verbrauch an Sand und Kies auf ca. 400 Mio Mg. Die Bauwirtschaft benötigt davon ca. 90 Gew.-%. Der Import mit 13,6 Mio Mg und der Export mit 16,2 Mio Mg unterscheiden sich nur geringfügig, so kann davon ausgegangen werden, daß der Inlandsverbrauch an mineralischen Rohstoffen fast ausschließlich aus heimischen Lagerstätten gedeckt wird (33).

Aus der Sicht der Bauwirtschaft sollten aus Gründen der Transportkostenentwicklung qualitativ hochwertige Lagerstätten in Verbrauchernähe zugänglich bleiben. Diese Forderung steht in einem gewissen Gegensatz zur Knappheit der noch vorhandenen Vorräte in der Nähe von Ballungsgebieten.

Die Verfügbarkeit hängt von der Siedlungsstruktur und der an Umweltzielen orientierten Landschaftsplanung ab. Der Verknappung der Rohstoffe muß von Seiten der Baustoffindustrie mit entsprechenden Maßnahmen begegnet werden:

- Erweiterung der Rohstoffbasis für Primär- und Sekundärrohstoffe;
- Einsparung von Rohstoffen;
- Recycling von Rohstoffen.

2.1. Bauschuttaufbereitung

Anlagen zur Bauschuttaufbereitung können nach dem technischen Merkmal mobil, semimobil und stationär unterschieden werden.

Ob eine Anlage mobil, semimobil oder stationär ausgelegt und gebaut wird, hängt von verschiedenen Einzelfaktoren ab. Da mobile Anlagen fahrbar

und semimobile Aufbereitungsanlagen in Form von Stahlkonstruktionen leicht versetzbar gebaut werden, sind der Gesamtgröße der Anlagenteile in den Baumaßen sowie dem Durchsatz Grenzen gesetzt.

In Tabelle 2.1. sind verschiedene mobile, semimobile und stationäre Aufbereitungsanlagen für Bauschutt und Straßenaufbruch aufgelistet.

2.1.1 Mobile Anlagen

Mobile Aufbereitungsanlagen sind derart konstruiert, daß die einzelnen Teile auf ein- bzw. zweiachsige Sattelaufleger montiert werden können. Zur Entlastung der Fahrgestelle und zur Erhöhung der Standsicherheit werden die Anlagen in den Betriebsphasen auf integrierte Stützen gestellt. Je nach Aufbau und Zusammenstellung der Verfahren werden die verschiedenen Anlagenteile auch auf getrennten Sattelauflegern installiert. Folgende Abbildung 2.1. zeigt eine mobile Bauschuttaufbereitungsanlage der Firma Kleemann & Reiner GmbH für einen Durchsatz zwischen 90 – 150 Mg/h. Die Anlage ist auf zwei Sattelaufleger montiert, wobei der Aufgabetrichter und Kratzkettenförderer auf einem einachsigen und die Vorabsiebung, Prallmühle, Schwingförderrinne und der Steuerschrank auf einem zweiachsigen Sattelaufleger zusammengefaßt sind.

Die dargestellte Anlage kann durch weitere Siebe, zur Nachsiebung des zerkleinerten Produktes, Aufteilung des Korngemisches in die gewünschten Kornklassen sowie mit einer Magnetscheidung erweitert werden. Beim Transport müssen diese An-

Bild 2.1.
Mobile Bauschuttaufbereitungsanlage der Firma Kleemann & Reiner GmbH für Durchsätze zwischen 90 – 150 Mg/h

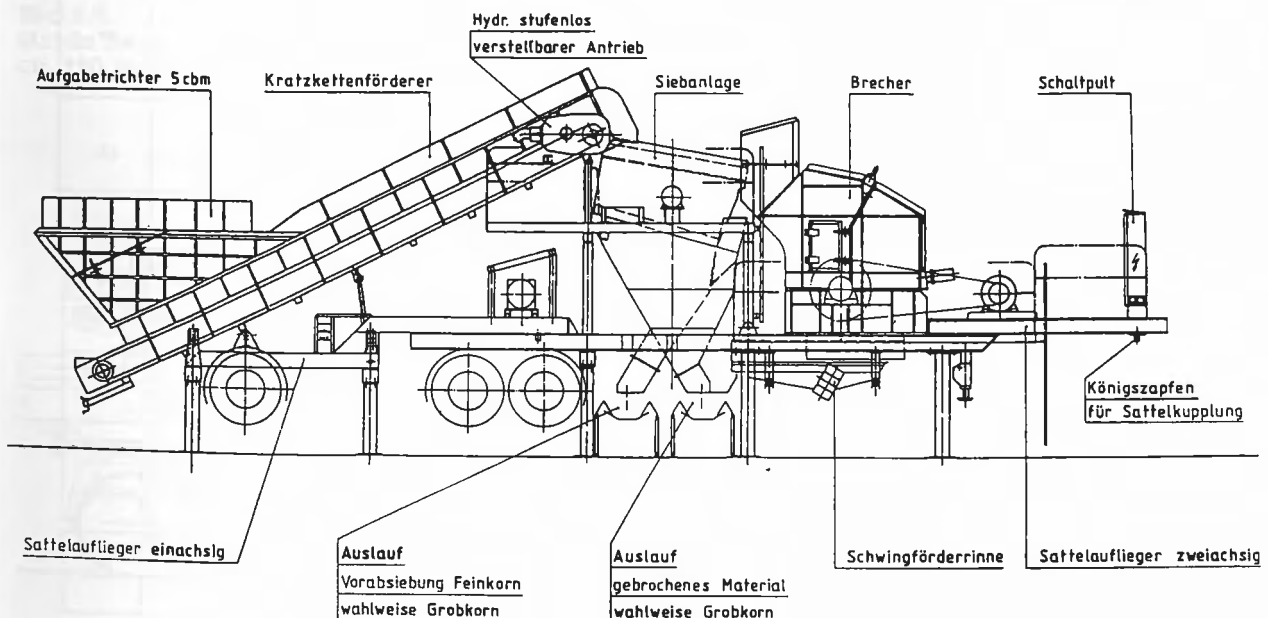


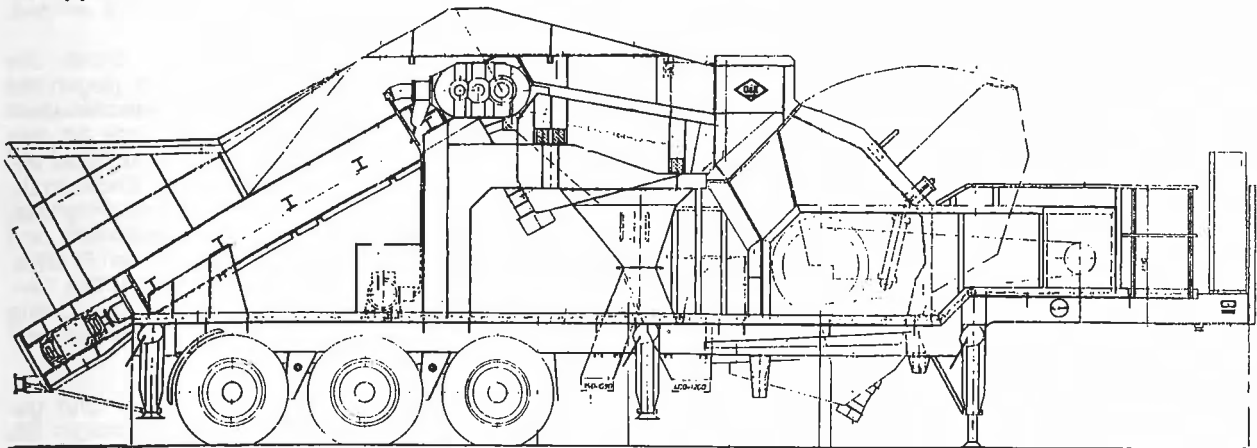
Tabelle 2.1.

Überblick über mobile, semimobile und stationäre Anlagen zur Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch (23)

Hersteller	Mobilität	Aufgabevorrichtung	Vorabsiebung	Zerkleinerung einstufig	Magnetscheidung	Machsiebung	Antrieb	Input Zusammen- setzung	Korngröße (mm)	Output Korngröße (mm)	Durchsatz (Mg/h)	Install. Leistung (kW)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Aulmann & Beckschulte	mobil	Abzugsrinne	Zweidecksieb	Prallmühle	Überbandmagnet	-	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	600 x 600 x 600 x	0/63	150	204
2 Kleemann + Reimer	mobil	Kratzketten- förderer	Zweidecksieb	Prallmühle	-	-	Diesel- aggregat	Bauschutt Straßenauf- bruch	900 x 600 x 1100	0/56	90- 150	132
3 Orenstein & Koppel	mobil	Übertrum- ketten- förderer	Eindeck- schwing- sieb	Prallmühle	Überbandmagnet	-	E-Motor	Erdaushub, Straßenauf- bruch, Ziegel	600 x 600 x 1200	0/56	80- 100	167
4 Rexnord/ Bergeaud	mobil	Vibrationsaufgeber mit zwei Siebdecks		Prallmühle	Überbandmagnet	Vibrations- sieb mit 4 Decks	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	400 x 400	nach Wunsch	50	120
5 SBM Wageneder	mobil	Plattenband	Vorabscheide- rost	Prallmühle	Überbandmagnet	Schwingsieb	Diesel- aggregat	Bauschutt Straßenauf- bruch	700 x 700 x 700	nach Wunsch	150- 180	313,5
6 Voest-Alpine	mobil	Vibrationsrostaufgeber		Prallmühle	-	-	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	250 x 250 x 250	k.A.	180	220
7 Bohringer + Ratzinger	semimobil	Plattenband	Zweidecksieb	Prallmühle	Überbandmagnet	Vibrations- sieb mit 4 Decks	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	700 x 700 x 1300	0/20 20/20 36/56	100- 150	220
8 Hazemag	semimobil	Unwuchtförderer mit doppelter Spaltsektion		Prallmühle	Überbandmagnet	-	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	400 x 400 x 400	0/50	80- 130	115
9 Kleemann + Reimer	semimobil	Schwingfö- rder- rinne	Zweideckvibra- tionssieb	Prallmühle	-	Zweideckvibra- tionssieb	E-Motor	Betonauf- bruch	600 x 600 x 600	0/16 16/32 32/56	100- 120	158,5
10 Klockner- Becorit	semimobil	Brecherein- laufrinne	-	Schlagwal- zenbrecher	Überbandmagnet	-	Diesel- aggregat	Bauschutt Straßenauf- bruch	1200 x 700 x 700	k.A.	350	165
11 Orenstein & Koppel	semimobil	Übertrum- ketten- förderer	Eindeck- schwing- sieb	Prallmühle	Überbandmagnet	-	E-Motor	Erdaushub, Straßenauf- bruch, Ziegel	600 x 600 x 1200	0/56	80- 100	145
12 PHB Weserhütte	semimobil	Bunkerabzugsrinne mit Stufenrost		Prallmühle	Überbandmagnet	Schwingsieb	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	600 x 600 x 600	0/56	100	175
13 Rexnord/ Bergeaud	semimobil	Vibrationsaufgeber mit zwei Siebdecks		Prallmühle	Überbandmagnet	Vibrations- sieb mit 4 Decks	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	400 x 400	nach Wunsch	50	120
14 SBM Wageneder	semimobil	Plattenband	Vorabscheide- rost	Prallmühle	Überbandmagnet	Schwingsieb	Diesel- aggregat	Bauschutt Straßenauf- bruch	700 x 700 x 700	nach Wunsch	150- 180	313,5
15 Svedala Arbra	semimobil	Plattenband	Zweideck- vibrations- sieb	Prallmühle	Überbandmagnet	Zweideck- vibrations- sieb	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	300 x 500	0/36 0/63 36/53	150	200,3
16 Voest-Alpine	semimobil	Vibrationsrostaufgeber		Prallmühle	-	-	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	250 x 250 x 250	k.A.	180	220
17 Rexnord/ Bergeaud	stationär	Vibrationsaufgeber mit zwei Siebdecks		Prallmühle	Überbandmagnet	Vibrations- sieb mit 4 Decks	E-Motor	Bauschutt Straßenauf- bruch	400 x 400	nach Wunsch	100- 150	215,5

Bild 2.2.

Mobile Bauschutttaufbereitungsanlage auf einem dreiachsigen Sattelaufleger der Firma Orenstein & Koppel für Durchsätze zwischen 80 – 100 Mg/h



lagenteile separat verladen und transportiert werden.

In der Abbildung 2.2. ist eine Bauschutttaufbereitungsanlage auf einem dreiachsigen Sattelaufleger der Firma Orenstein & Koppel dargestellt. Die unterbrochenen Linien stellen die Prallmühle mit geöffnetem Gehäuse sowie den notwendigen Platzbedarf für die Wartung dar. Das Transportgewicht der abgebildeten Anlage vom Typ 55 C – 100/125 beträgt 35,8 Mg.

Abbildung 2.3. zeigt eine mobile Bauschutttaufbereitungsanlage der Firma 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.

Für mobile Bauschutttaufbereitungsanlagen sind nach § 16 GewO Betriebsgenehmigungen erforderlich, die von den zuständigen Bezirksverwaltungen auszustellen sind. Da mobile Anlagen nur innerhalb eines begrenzten Zeitraumes an einem Ort betrieben werden, sind entsprechende Baugenehmigungen nicht erforderlich. Die genehmigten Zeiträume betragen in der Regel sechs Monate, können aber je nach Genehmigungsbehörde unterschiedlich interpretiert werden.

Mobile Anlagen unterliegen zusätzlich den Anforderungen der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO). Es sind TÜV-Gutachten sowie Hänger-Betriebserlaubnis erforderlich. Bei Übermaß oder Übergewicht der Anlagen sind Ausnahmegenehmigungen nach § 70 StVZO, Gesamtgutachten und Transporterlaubnis nach § 29 StVZO beim Straßenverkehrsamt zu beantragen.

Der Auf- bzw. Abbau einer mobilen Anlage dauert je nach Anlagentyp und in Abhängigkeit von zu-

Bild 2.3.

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

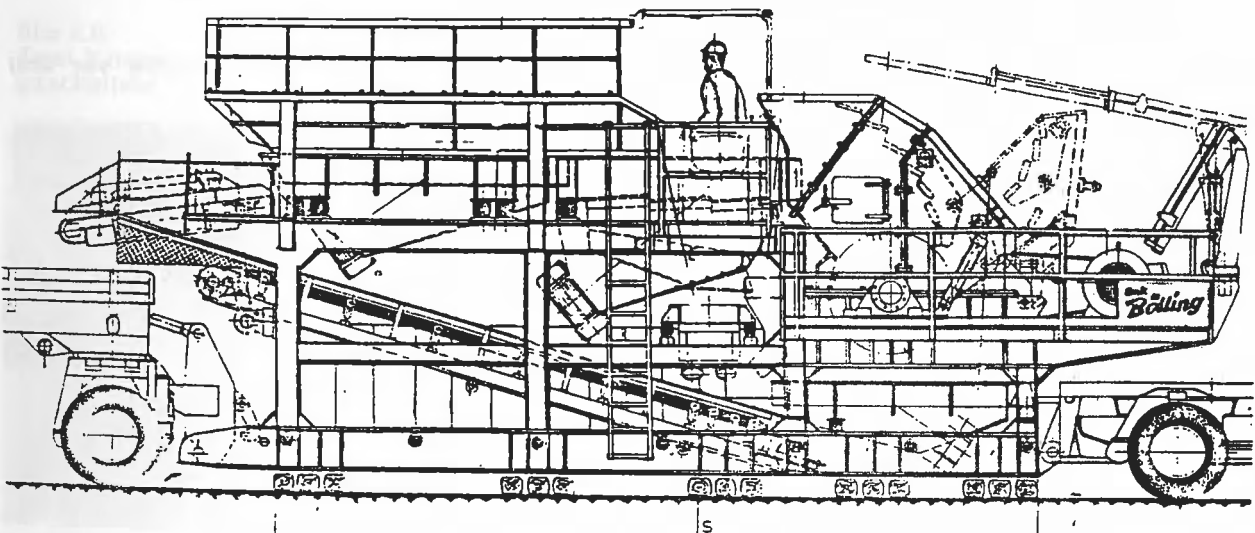


Bild 2.4.
Mobile Bauschuttaufbereitungsanlage Typ Kleemann + Reiner im Betrieb (Fa. Hebel)



sätzlich aufgestellten Anlagenteilen 1 bis 2 Tage (34).

Die verschiedenen mobilen Bauschuttaufbereitungsanlagen arbeiten i.d.R. nach den gleichen Verfahrensprinzipien: Aufgabe, Vorsiebung, Zerkleinerung, Magnetscheidung und entsprechend den Markterfordernissen eine Nachsiebung.

In den Anlagen können Erdaushub, Asphalt, Ziegel und Betonabbruch mit Moniereisen (in der Regel nicht stärker als 15 mm Durchmesser) mit Aufgabekorngrößen um 600 bis 1.200 mm verarbeitet werden.

Über einen Aufgabebunker mit einem Fassungsvermögen von 4 – 10 m³ gelangt das Material mittels einer Fördereinrichtung zur Vorabsiebung. Für die Vorabsiebung werden verschiedene Roste, Schwing- oder Vibrationssiebe eingesetzt, die als Ein- oder Zweideckereinheiten ausgelegt sind. Das Feinmaterial, Erde etc. wird hiermit vor der Aufgabe in den Brecher entfernt. Gleichzeitig wird das grobstückige Material gleichmäßig der Zerkleinerung zugeführt. Ist das bei der Vorsiebung abgetrennte Material sortenrein, kann es dem zerkleinerten Gut nach der Mühle wieder zugegeben werden (Bild 2.4).

Bild 2.5.
Wartungsarbeiten an einer Prallmühle von Orenstein & Koppel, Bauschuttaufbereitungsanlage Firma Hafemeister



Zur Zerkleinerung werden vorrangig Prallmühlen für Hartgestein eingesetzt, die das Eingangsmaterial auf die gewünschte Korngrößenverteilung zu ca. 80 % auf kleiner 45 mm brechen.

In der Mühle wird das Aufgabegut durch die Schlagleisten eines umlaufenden Rotors gegen die Prallflächen mit Plattenpanzerung geschleudert und zerkleinert. Das Material spaltet sich an den natürlichen Bruch- und Trennflächen und bildet ein rißfreies, kubisches Endprodukt. Die Endkornzusammensetzung wird durch die Aufgabekorngröße, den Feinanteil und die Rotordrehzahl bestimmt und kann zusätzlich durch die Verstellung der Prallflächen bzw. des Spaltes beeinflusst werden. Die Verstellung erfolgt über Spindeltriebe, die gleichzeitig zum Nachstellen der Spaltweite bei Verschleiß dienen.

Das Mühlengehäuse ist in geschweißter und geschraubter Stahlblechkonstruktion gefertigt. Zu Wartungszwecken ist dieses, wie in Abbildung 2.5. dargestellt, hydraulisch aufklappbar.

Die Schlagleisten sind durch Nocken und Kehlleisten am Rotor befestigt. Um Schäden der Mühle durch unzerkleinerbare Fremdkörper zu verhindern, sind die Prallschwingen im gefährdeten Bereich federnd gelagert.

Der Antrieb erfolgt über einen Elektromotor mit Flüssigkeitskupplung und Keilriementrieb direkt auf die Mühle.

Neben der Standardausführung mit Elektromotor und Keilriemenantrieb ist zur Erhöhung der Mobilität der Anlage auch eine Ausrüstung mit einem Diesel-Regelantrieb möglich.

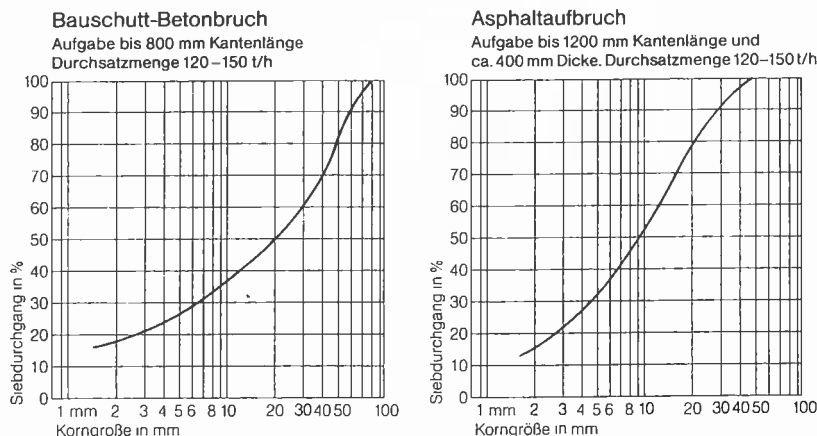
In Abbildung 2.7. sind Siebkennlinien für Beton- und Asphaltaufruch nach Prallmühlen dargestellt. Das Einsatzmaterial ist an Mühlen Typ Kleemann & Reiner untersucht worden.

Nach der Zerkleinerung sind Überbandmagnetscheider in Förderrichtung über den Austragsbändern angeordnet. Durch die Art der Zerkleinerung werden die Armierstäbe gänzlich aus dem Beton freigeschlagen und können in den Magnetstationen abgeschieden werden.

Bild 2.6.
Schlagleistenzustand einer Prallmühle vor und nach dem Gebrauch



Bild 2.7.
Siebkenmlinien von Beton- und
Asphaltaufruch für Prallmühlen
der Fa. Kleemann & Reiner



An dieser Stelle kann bei Bedarf eine Handsestation zum Aussortieren von Fremdbestandteilen wie Kunststoffe, Holz, Papier, etc. vorgesehen werden.

Falls erforderlich, kann der Zerkleinerungsanlage eine Siebung nachgeschaltet werden. Für die Nachsiebung werden Vibrations- und Schwingsiebe bevorzugt eingesetzt. Je nach Anforderung und Einsatzbereich der gebrochenen Produkte können die gewünschten Korngrößenklassen durch Austausch der Siebböden verändert werden (Bild 2.8.).

2.1.2 Semimobile Anlagen

Die semi- oder halbmobile Anlagen sind im Gegensatz zu den mobilen Anlagen auf Stahlgerüste montiert, die im allgemeinen mit Kufen ausgestattet sind. Um die Anlage versetzen zu können, werden die Einzelteile demontiert und auf Sattelaufleger verladen. Hinsichtlich der Betriebsgenehmigung und der Fahrerlaubnis gelten die gleichen Vorschriften und Bestimmungen wie für mobile Anlagen.

In der Abbildung 2.9. ist eine semimobile Baustoffrecyclinganlage der Firma Böhlinger + Ratzinger dargestellt. Die Anlage ist auf Kufen montiert und kann auf einen Tieflader gezogen bzw. gehoben werden.

Bild 2.8.
Zwei Vibrationssiebe mit Hosenrutsche als nach-
geschaltete Trennaggregate



Auf eine detaillierte Beschreibung der Anlagenteile wird hier verzichtet, da bei den semimobilen Anlagen die gleichen Aufbereitungsaggregate wie bei den mobilen Anlagen eingesetzt werden.

Bei den Zerkleinerungsaggregaten werden für semimobile Anlagen auch Schlagwalzenbrecher der Firma Klöckner – Becorit GmbH eingesetzt.

Mittels Radlader kann der Bauschutt auf die 2,50 m lange Brechereinlauftrinne gegeben werden.

Ein integrierter Kratzkettenförderer führt das Material durch den Schlagwalzenbrecher. Am Ende des Förderers schließt sich ein Überbandmagnetscheider an. Eisenbestandteile werden in Förderrichtung ausgehoben, während das zerkleinerte Gut auf ein darunter im 90 Grad-Winkel angeordnetes Gurtförderband fällt. Der Antrieb erfolgt über ein Diesellageragregat.

In den Abbildungen 2.10. und 2.11 ist die Schlagwalzenbrechanlage dargestellt. Die in der Abbildung 2.10. dargestellte Zerkleinerungsanlage ist als Vorzerkleinerungsstufe an der Anlage der Firma Hafemeister, Berlin, installiert.

Nach Erfahrungen von Betreibern sollten sowohl mobile als auch semimobile Anlagen auf Fundamenten abgestützt werden, um die Standsicherheit während des Betriebes zu gewährleisten. Generell werden jedoch keine Fundamente vorgeschrieben.

2.1.3 Stationäre Anlagen

Die Baugrößen von stationären Anlagen übertreffen i.d.R. die von mobilen Einheiten. Stationäre Anlagen zeichnen sich durch höhere Durchsatzleistungen sowie verbesserte Produktqualitäten aus. Meist werden Vor- und Nachbrecheinheiten eingesetzt, um einerseits den Verschleiß an den Zerkleinerungsaggregaten zu reduzieren und andererseits ein exakteres Kornspektrum und reineres Produkt zu erzeugen (Bild 2.12.).

Da stationäre Anlagen auf Fundamenten installiert werden müssen, ist eine Baugenehmigung und die Erteilung einer Betriebsgenehmigung erforderlich (34).

Ein weiterer bedeutender Vorteil ortsfester Anlagen ist die freie Wahl der Anlagengröße und der Aggregatekonfiguration.

Stationäre Anlagen sind jedoch nur in größeren Ballungszentren wirtschaftlich zu betreiben, da an-

Bild 2.9.
Semimobile Bauschutttaufbereitungsanlage auf Kufen von Böhlinger + Ratzinger mit einem Durchsatz von 100 – 150 Mg/h.

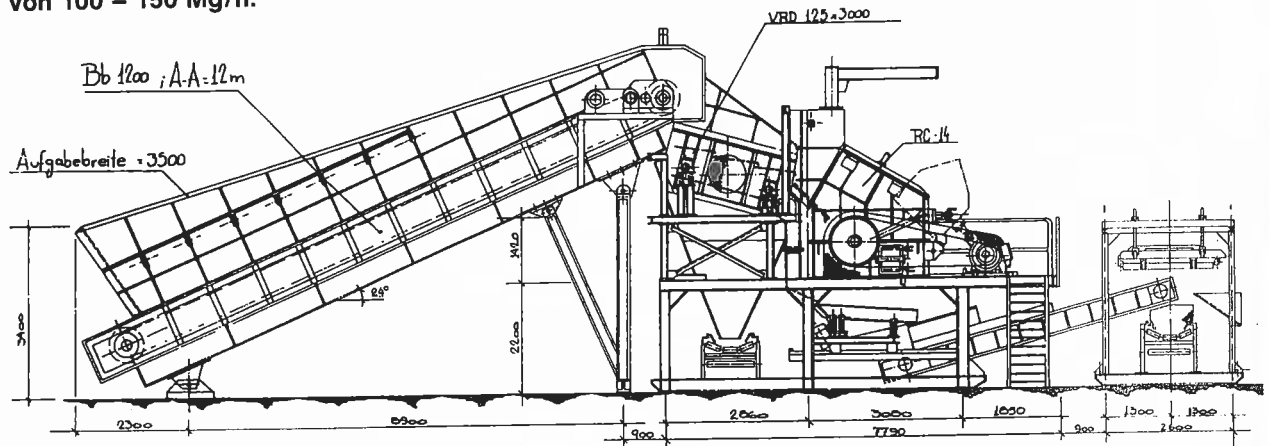
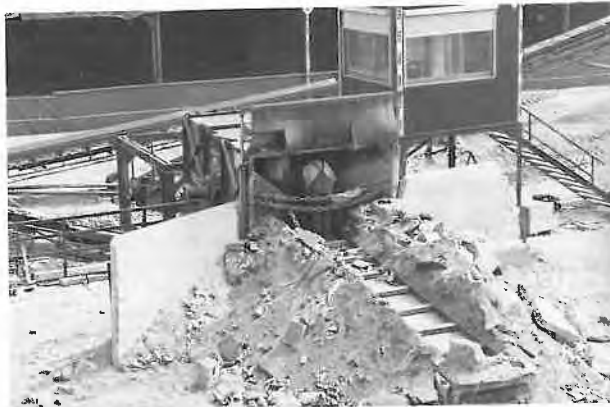


Bild 2.10.
Wartung einer Schlagwalzenbrechanlage Typ Klöckner-Becorit, Anlage Firma Hafemeister



sonsten die Transportwege für die Anlieferung der Baurestmassen sowie der Abtransport der Produkte und Reststoffe zu kostenintensiv werden. Die Abbildung 2.13. zeigt eine entsprechende Anlage der Firma Hafemeister im Stadtkernbereich von Berlin.

Als erweiterte Anlagenvarianten können die sogenannten nassen Bauschutttaufbereitungsanlagen bezeichnet werden. In der folgenden Abbildung 2.14. ist das Fließbild einer nassen Bauschutttaufbereitungsanlage in Düsseldorf dargestellt. In der Anlage wird zweistufig zerkleinert. Nach Abtrennung des Feingutes und der Eisenanteile wird das Überkorn einem Hydrobandscheider (Aquamator) zugeführt (45).

Hauptaggregat der nassen Aufbereitung ist ein sogenannter Aquamator. Die sonstigen Aufbereitungsschritte sind mit denen eines trockenen Verfahrens identisch.

Bei den trockenen Verfahren kann eine Handsortierung nach der Zerkleinerung und vor der Siebung erfolgen. Betriebserfahrungen zeigten jedoch, daß eine Handsortierung nicht immer die erforderliche Reinheit der Produkte erreicht, da im Bauschutt erhebliche Verunreinigungen an Holz, Papier, Kunststoff und Leichtbaustoffen (Gasbeton) vorhanden sein können. Das maschinelle Aufbereitungsaggregat der trockenen Verfahren stellt der Windsichter dar, der im Sichtraum die Bestandteile Holz, Papier, Plastik, Feinstaub etc. nach dem Prinzip der Gleichfälligkeit von dem Produkt trennt. Ein Windsichter ist entsprechend dem Einsatzgut über die Windgeschwindigkeit sehr genau regelbar. Die Umweltbe-

Bild 2.11.
Schematische Darstellung der Schlagwalzenbrechanlage, Typ Klöckner – Becorit.

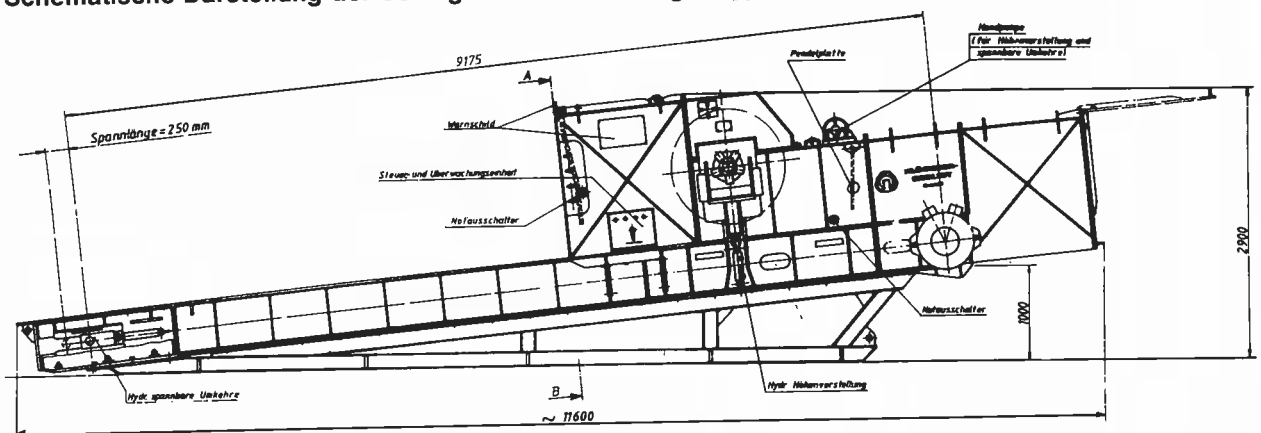
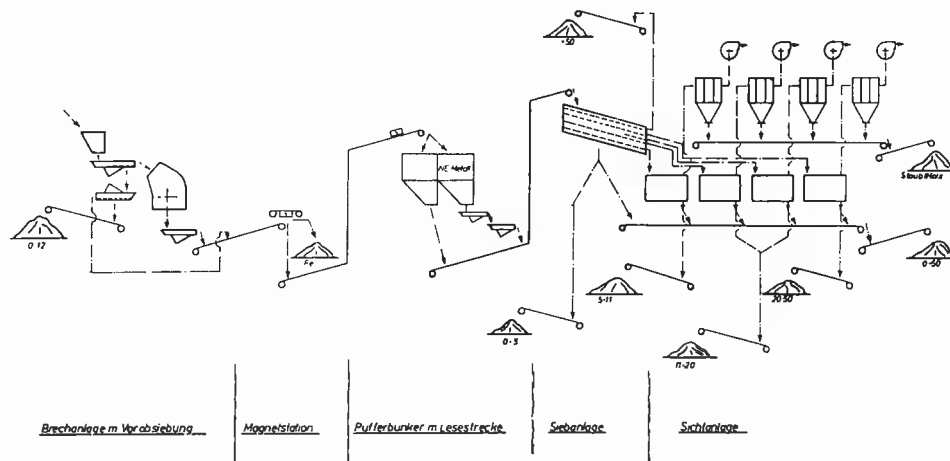
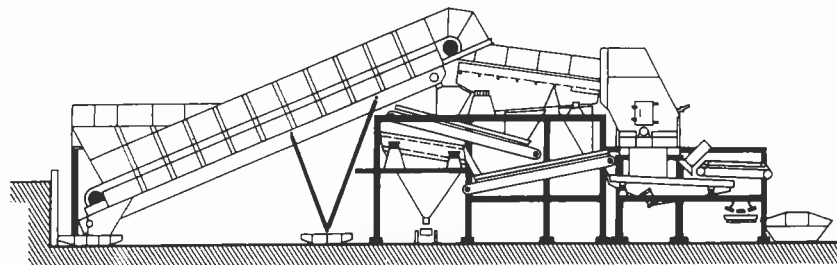


Bild 2.12.
Schema und Maschi-
nenstammbaum einer
stationären Bau-
schuttaufbereitungs-
anlage, Typ Hazemag
(31)



lastungen einer Siebanlage sind gering, da über Zyklone und Tuchfilter die leichten Stoffe und Staubbestandteile gut abgeschieden werden.

Der Nachteil für die maschinelle Trockenabscheidung mittels eines Windsichters liegt im hohen Kapitalbedarf und in den hohen Energiekosten durch Saugzuggebläse, Zellenradschleusen etc.

Bei der nassen Sortierung erfolgt die Abtrennung der Verunreinigungen in einem Wasserbad. Der Bauschutt wird mit einem Gurtförderer durch das Bad gefördert, indem spezifisch leichte Stoffe aufschwimmen, mittels installierter Düsen abgespült

und über ein Entwässerungssieb ausgetragen werden. Der gewaschene, gereinigte Baustoff wird ebenfalls über ein Förderband ausgetragen und entwässert.

Die für den Waschvorgang erforderliche Wassermenge wird in einem Becken von ca. 30 m³ gesammelt und im Kreislauf der Anlage wieder zugeführt.

Das Wasser wird im beschriebenen Fall dem Hafenbecken entnommen und in ein 3-Kammer-Brauchwasser-Klärbecken gepumpt. Über eine Pumpe mit einer Leistung von 140 m³/h wird das Wasser dem Aquamator aufgegeben. Abbildung 2.15. stellt den

Bild 2.13.
Gesamtansicht der
Bauschuttaufbereitungs-
anlage, Firma
Hafemeister, Berlin



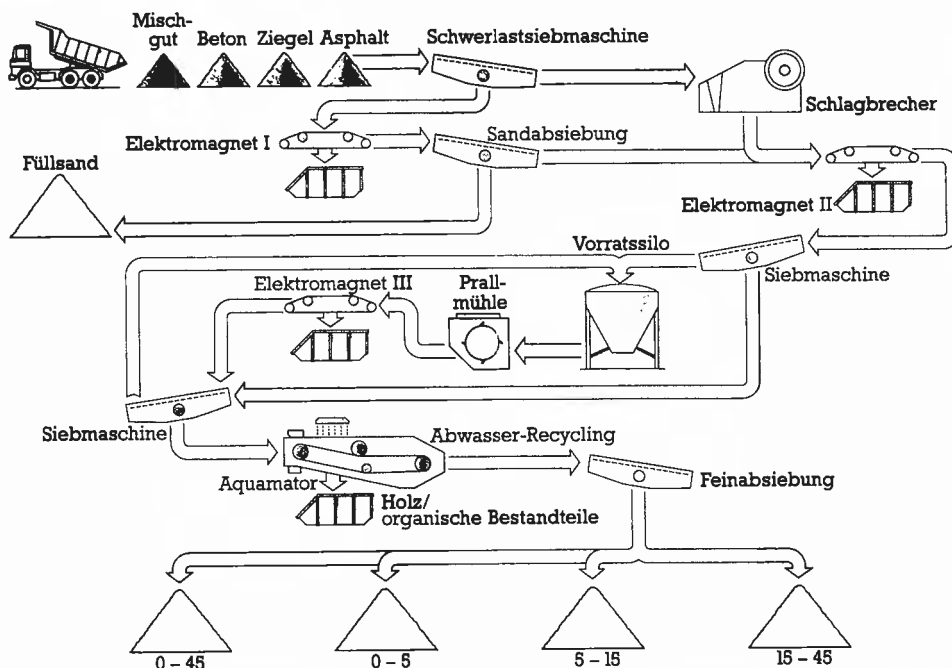


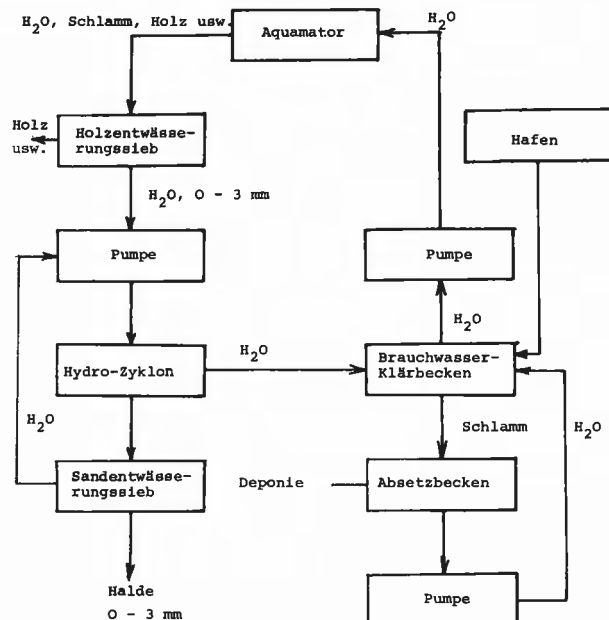
Bild 2.14.
Schematisches Fließ-
bild der nassen Bau-
schuttaufbereitungs-
anlage Firma West-
deutsche Baustoff-
Recycling GmbH,
Düsseldorf (45)

Wasserkreislauf der Bauschuttaufbereitungsanlage aus Düsseldorf dar (45).

Schlamm, Holz, Kunststoffe und Wasser werden dem Holzentwässerungssieb zugeführt und als Überkorn abgeschieden.

Mittels einer Panzerpumpe gelangt das mit Schlamm und Sand beladene Wasser in einen Hydrozyklon. Der abgetrennte Sand wird über ein weiteres Entwässerungssieb geleitet und dem Fertigprodukt zugegeben. Das mit Schlammresten beladene Wasser wird dem Brauchwasserbecken und damit erneut dem Kreislauf zugeführt.

Bild 2.15.
Wasserkreislauf des Aquamators in der Bau-
schuttaufbereitungsanlage, Firma Westdeutsche
Baustoff-Recycling GmbH, Düsseldorf (45)



Im Brauchwasser-Klärbecken setzt sich der Feinschlamm ab. Eine Reinigung erfolgt in einem 14-tägigen Rhythmus. Hierfür wird das schlammbeladene Wasser in ein Absetzbecken abgelassen, wo sich der Feinschlamm absetzt. Nach dem Absetzvorgang wird das Wasser erneut dem Kreislauf aufgegeben. Der verbleibende Schlamm wird mittels eines Saugwagens aufgenommen und zur Deponie transportiert (45).

Werden beide Aufbereitungssysteme einander gegenübergestellt, zeigt sich, daß die Produkte der trockenen Bauschuttaufbereitungsanlage nahezu die gleiche Qualität erreichen wie die der nassen. Zu berücksichtigen ist, daß bei der nassen Behandlung des Bauschuttes jeweils eine bestimmte Menge Frischwasser benötigt wird, wenn nicht, wie beschrieben, Oberflächenwasser zur Verfügung steht. Die Wasseraufbereitung erfordert, um die Kreislaufführung sicherzustellen, einen erheblichen Energie- und Aggregateaufwand. Bei der Beseitigung der Schlämme kann nicht ausgeschlossen werden, daß sich schädliche Bestandteile aus den Inhaltsstoffen lösen und ins Abwasser gelangen können.

2.1.4 Betriebserfahrungen

Gebietskörperschaften sind wegen Deponieraum-mangel, gestiegenem Umweltbewußtsein und der Knappheit der natürlichen Rohstoffe vermehrt daran interessiert, Recyclingbaustoffe einzusetzen. Dies ermutigte bereits eine Reihe von Unterneh-mern in Anlagen zu investieren, die Bauschutt und Straßenaufbruch zu Sekundärprodukten aufarbei-ten. Derzeit bestehende Anlagen sind durchaus in der Lage die Qualitätsanforderungen der Primär-baustoffe zu erzielen.

Bisher beschränkt sich das Baustoffrecycling allein auf die Kategorie Bauschutt und Straßenaufbruch mit jährlich ca. 28 Mio. Mg. Der Hauptanfall von ca. 105 Mio Mg jedoch besteht aus Bodenaushub, der bislang kaum aufbereitet wurde.

Probleme mit dem Betrieb von Aufbereitungsanlagen

Aus den Erfahrungen der letzten Jahre können verschiedene Probleme mit den Aufbereitungsanlagen und dem Einsatzgut "Baurestmassen" genannt werden:

- Für den wirtschaftlichen Betrieb von Aufbereitungsanlagen ist eine kontinuierliche Anlieferung von Bauschutt bzw. Asphaltaufruch erforderlich. Bei stationären Anlagen sind, um Stillstände zu vermeiden, Lagerflächen für das unbehandelte Gut notwendig. Die Umsetzung von mobilen Anlagen ist nur wirtschaftlich, wenn mindestens 5000 - 6000 Mg unaufbereitetes Material zur Verarbeitung ansteht.
- Der Bauschutt von Wohn- und Industriebauten kann verschiedene Verunreinigungen wie Holz, Eisen, NE-Metalle, Kunststoffe etc. enthalten. Während sich bei der Aufbereitung reiner Mineralstoffe kaum Schwierigkeiten ergeben, entstehen aufgrund der Einschlüsse bei Materialverbundgemischen Probleme, die bei der Auslegung der Aggregate berücksichtigt werden müssen. Armierter Beton wird daher, wenn die Moniereisen einen Durchmesser von 15 mm überschreiten, möglichst vor der Prallmühle entfernt. Größere Holzstücke können aufgrund ihrer Zähigkeit, ebenso wie größere Kunststoffstücke, zu Funktionsschwierigkeiten und zu einer zusätzlichen Verunreinigung der Produkte führen.
- Um den Gehalt an Verunreinigung zu verringern, können zwei verschiedene Systeme angewendet werden, die der Aufbereitung nachgeschaltet werden: zum einen können Aquamatoren, die in einem Wasserbad Fremdstoffe abscheiden und zum anderen trocken arbeitende Siebvorrichtungen, die nach dem Prinzip eines Windsichters im Gegen- bzw. Querstrom Störstoffe abscheiden, eingesetzt werden (24). Diese Geräte sind generell nur für stationäre Anlagen geeignet. Bei mobilen Anlagen sind vor und nach dem Brechereinflaß Arbeitsplätze für die händische Entfernung von Verunreinigungen im Bauschutt vorzusehen, da die Windsichtung als eine trockene Aufbereitungsalternative energieintensiv und durch viele Zusatzaggregate gerätetechnisch aufwendig ist.
- Für mobile Baustoffrecyclinganlagen ergeben sich in der Praxis oft Standortschwierigkeiten, da die umliegenden Anwohner durch den auftretenden Staub und die Lärmemission belastet werden. Um Probleme dieser Art zu vermeiden, werden die Anlagen zusätzlich mit Dieselgeneratoren ausgerüstet, um ohne Stromversorgung in entsprechender Entfernung zu Wohnsiedlungen aufgestellt werden zu können.
- Das Einsatzmaterial ist je nach Herkunft sehr unterschiedlich und kann je nach Härte, Feuchte und Schüttgewicht den Durchsatz der Baustoffrecyclinganlagen erheblich beeinflussen. Baurestmassen mit einem hohen Anteil an feuchtem Feinmaterial, Lehm und Ton können die Kapazität der Anlage halbieren. In der Abbildung 2.16. ist ein Nomogramm zur Auslegung von Förderbändern dargestellt. Neben den verschiedenen Parametern abhängig vom Förderband ist das Schüttgewicht als Einflußfaktor für die Kapazitätsauslegung ablesbar. Unberücksichtigt bleibt hier die Korngrößenverteilung und das maximale Korn,

das ebenfalls einen Einfluß auf die Gesamtanlagenkapazität besitzt.

Verschleiß

Für die Aufbereitung von Baurestmassen haben sich vor allem Prallmühlen bewährt. Nachteilig bei diesem Zerkleinerungsaggregat sind insbesondere die hohen Verschleißkosten. Prallmühlentypen sind in der Lage auch Stahlbeton zu zerkleinern und trotz der Bewehrung eine gleichmäßige Korngrößenverteilung auf der Produktseite zu erzeugen.

Im Gegensatz zur Prallmühle weist der Backenbrecher niedrigere Verschleißkosten auf. Nach Zerkleinerung von Straßenaufbruch und Stahlbeton in einem Backenbrecher weisen die Produkte jedoch eine Korngrößenverteilung auf, die nicht in hohlraumarmen Schichten (z.B. Frostschutzschichten) eingesetzt werden können.

Die Angaben über die Verschleißkosten weisen in der Literatur und in der Praxis von Anlage zu Anlage erhebliche Unterschiede auf. Je nach Mühlentyp, Werkstoffeigenschaften der Zerkleinerungswerkzeuge, Einsatzstoffen und deren Kornverteilung sind unterschiedliche Verschleißkosten zu erwarten.

Schlagleisten haben bei relativ "weichem" Material wie Fels Standzeiten um 80.000 Mg, während bei bewehrtem Beton die Standzeit auf ca. 10.000 Mg absinkt. Die Wartungs- und Austauschintervalle für Schlagleisten können bereits nach Standzeiten von 75 - 180 Stunden erreicht werden.

Neben den Schlagleisten sind auch die Prallplatten entsprechend der Beanspruchung auszutauschen. Als Schätzformel gilt, daß die Auskleidung in der Regel die doppelte Standzeit der Schlagleisten aufweist und somit je nach Inputmaterial und Beanspruchung nach 20.000 - 160.000 Mg ausgetauscht werden muß.

Als Kosten müssen, wie die Praxis zeigt, zur Zeit folgende Beträge angesetzt werden:

Verschleiß	- hoch	1,70 DM/Mg
	- normal	1,00 DM/Mg
	- gering	-,70 DM/Mg
Wartung	- hoch	-,40 DM/Mg
	- normal	-,30 DM/Mg
	- gering	-,25 DM/Mg

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch für die Aufbereitung von Baurestmassen ist abhängig von der installierten Leistung der Anlage, dem Durchsatz und der Art des Einsatzgutes.

Für mobile und semimobile Aufbereitungsanlagen werden weitgehend Dieselaggregate eingesetzt, die über einen Generator Strom für die Anlage erzeugen. Nach Angaben von Betreibern werden ca. 20 - 28 l Diesel/h benötigt.

Stationäre Anlagen weisen Anschlußleistungen von 650 - 850 kW auf und sind i.d.R. an das Stromnetz angeschlossen. Der spezifische Energieverbrauch liegt je nach Anlagentyp und Durchsatz bei 2,80 - 3,95 kWh/Mg.

Materialbilanzen

In den folgenden Darstellungen sind die Stoffbilanzen von einigen untersuchten Anlagen dargestellt. Abbildung 2.17. zeigt die Materialbilanz der Bauschuttanfertigungsanlage Firma Hebel. Die Angaben beziehen sich auf den Input von Stahlbeton und Asphaltaufruch.

Abbildung 2.18. stellt die Materialbilanz der Aufbereitungsanlage Firma Hafemeister in Berlin dar. Als Inputmaterial wird armerter Beton aus Straßenaufbruch oder aus dem Hochbau mit schwankenden Anteilen an Asphalt und Ziegelaufbruch eingesetzt.

Das Endprodukt kann in Tragschichten der Bauklassen 3 und 4 eingesetzt werden. Die Zusammen-

setzung ergibt sich nach einer Untersuchung wie folgt (23):

- Ziegelaufbruch max. 15 Gew.-%
- Asphaltaufruch ca. 35 Gew.-%
- Betonaufbruch min. 50 Gew.-%
- Verunreinigungen max. 3 Gew.-% (Holz, Metalle, Kunststoffe)

Die stoffliche Zusammensetzung des Endproduktes hängt ausschließlich vom Input ab, wobei die Verunreinigungen im Aufbereitungsprozeß durch entsprechende mechanische Sortierschritte wie Magnetscheidung, Windsichtung, Naßaufbereitung im Aquamator oder durch manuelle Sortierung beeinflußt werden können. Kornform und Korngrößenverteilung sind hingegen von den Betriebsbedingungen abhängig.

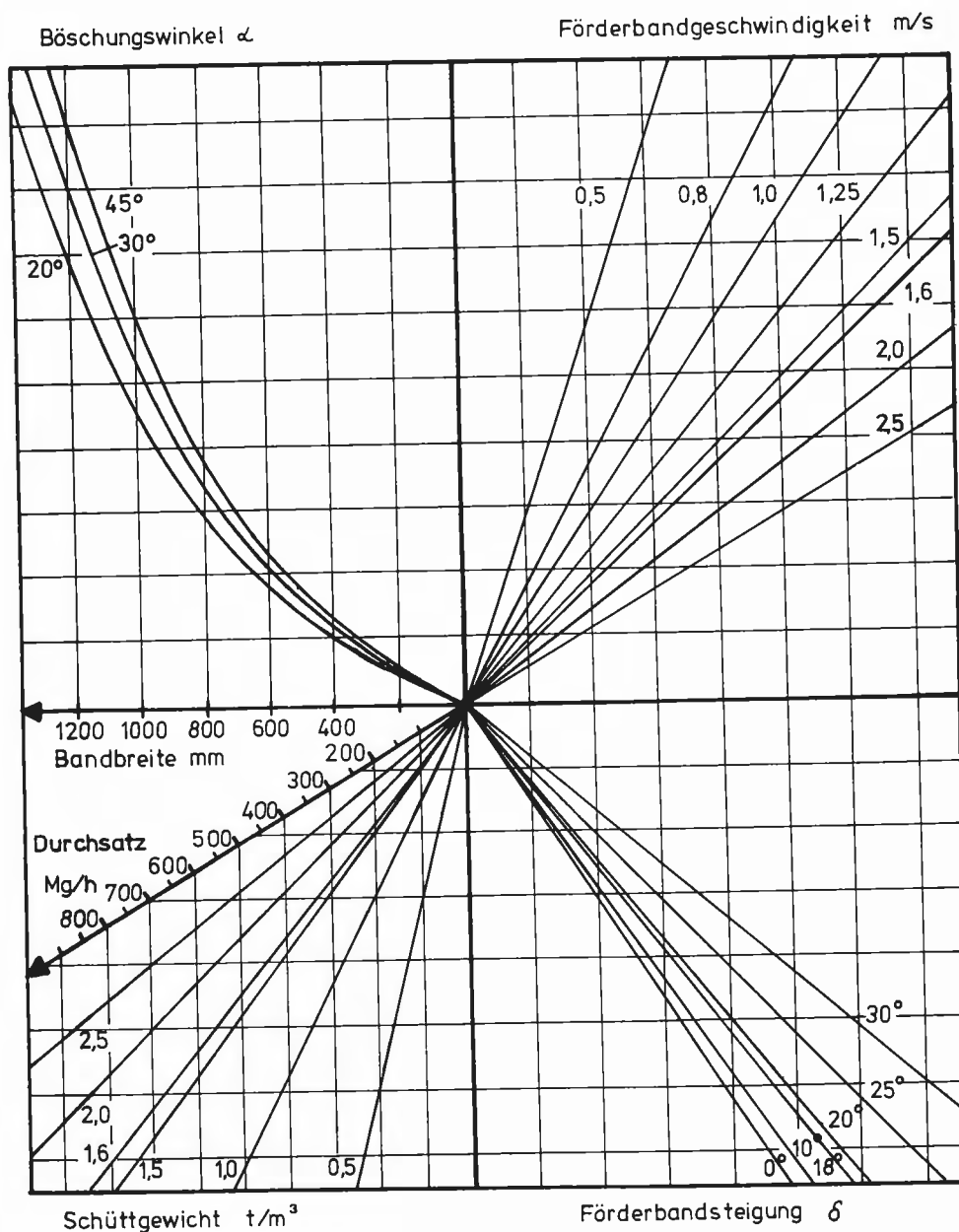


Bild 2.16. Nomogramm zur Bestimmung der Förderkanalbreiten in Abhängigkeit vom Böschungswinkel, der Geschwindigkeit und dem Steigungswinkel des Förderbandes und von dem Schüttgewicht des Einsatzmaterials.

Bild 2.17.
Materialbilanz der mobilen Bauschuttaufbereitungsanlage, Firma Hebel (23)

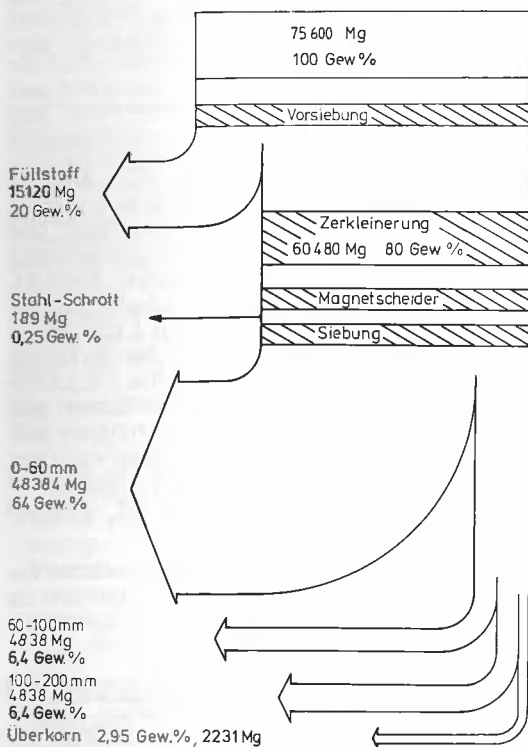
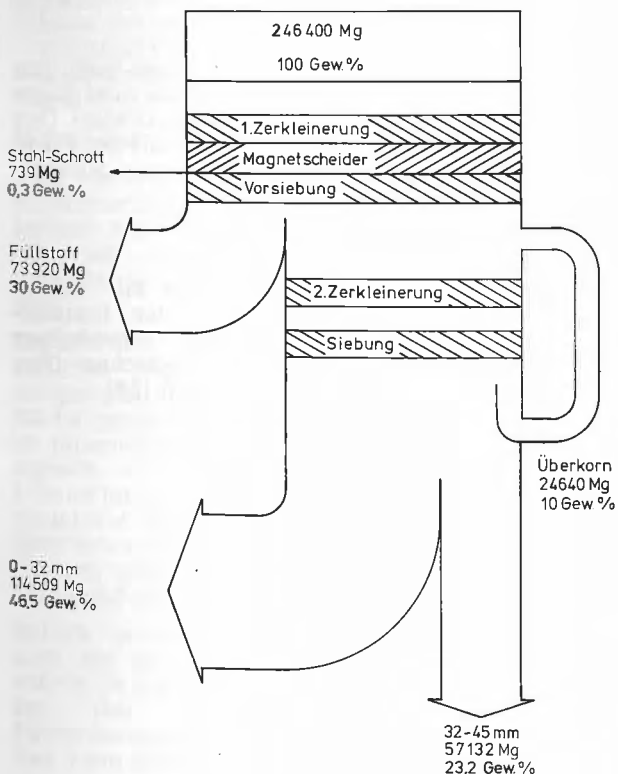


Bild 2.18.
Materialbilanz der Aufbereitungsanlage Firma Hafemeister (23)



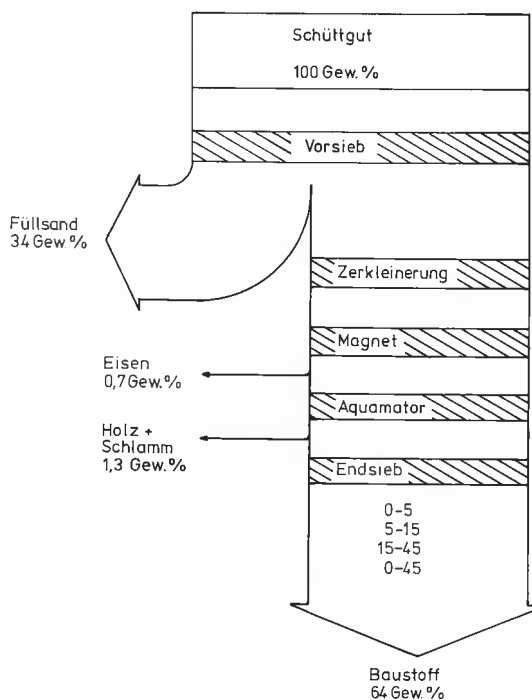
In der Abbildung 2.19. ist die Materialbilanz der Westdeutschen Baustoff-Recycling GmbH dargestellt.

Das Endprodukt ist als Baustoff für Frostschuttschichten nach ZTVE-StB 76 und als Schottertrag-schichtmaterial nach TVT 72 einsetzbar.

Der Baustoff setzt sich nach einer Untersuchung qualitativ wie folgt zusammen (45):

- Betonaufbruch 52 Gew.-%
- Ziegelaufbruch 12 Gew.-%
- Natursteinbruch 8 Gew.-%
- Naturstein (rundflächig) 16 Gew.-%
- Schlacken + Aschen 5 Gew.-%
- Asphaltaufbruch 7 Gew.-%

Bild 2.19.
Materialbilanz der nassen Bauschutt Aufbereitungsanlage der Westdeutschen Baustoff-Recycling GmbH (45)



2.2. Asphaltaufbereitung

Beim Recycling von Asphalt werden generell zwei Primärrohstoffgruppen gewonnen: die Mineralstoffe "Kies, Sand und Füllstoffe" und 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 (50).

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 (11).

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 einer fest vorgegebenen Korngröße vorliegt. Als Ausgangsstoff für das Asphaltgranulat dient dabei

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

Im Detail läßt sich das Material wie folgt definieren (61):

- Asphaltaufbruchmaterial unterteilt sich in
 - Aufbruch von reinen Walzasphaltgemischen, bezogen auf Deck-, Binder- und Tragschichten;
 - Aufbruch von Gußasphaltdeckschichten in Verbindung mit Walzasphaltemischgut aus Binder- und Tragschichten;
 - Aufbruch von reinen Gußasphaltdeckschichten ohne Binder- und Tragschichten.
- Ausbau durch Fräsen unterteilt in
 - Fräsgut aus Warmverfahren und
 - Fräsgut aus Kaltverfahren.

Der Ausbau und die Aufnahme der schadhaften 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 schadhaften 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 bestimmte Vorbereitungs-

verfahren gebunden. Die gebräuchlichsten Methoden werden nachfolgend beschrieben.

In Abbildung 2.20. sind die einzelnen Verfahren im Rahmen der Instandsetzung bituminöser Fahrbahndecken (Repair) als Removing- bzw. Recycling- Verfahren dargestellt.

Schollenaufbruch

Ein häufig angewandtes Verfahren zum Ausbau größerer Deckenflächen ist das Aufbrechen mittels eines Hydraulikbaggers oder Aufbruchmeißels. Der Schollenaufbruch kann ohne weitere Spezialgeräte durchgeführt werden. Die entstehenden Asphalt-schollen (bis ca. 1 m²) werden von einem Bagger oder Radlader aufgenommen und auf LKW verladen. Die Asphalt-schollen können vor der Aufbereitung zwischengelagert werden, da die Feuchtheitsaufnahme der Schollen gering ist. Damit das Material keine witterungsbedingte Feuchtigkeit aufnimmt, sollte es erst zwei bis drei Tage vor dem Aufschmelzen in einer Brecheranlage zerkleinert werden (44). Die Kornzerkleinerung ist generell geringer als beim Kaltfräsen.

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.

Beim Wiedereinbau der Fahrbahndecke ist es z.B. nicht notwendig den gesamten Straßenoberbau zu erneuern, daher müssen lediglich einzelne Schichten entfernt werden. Durch die intensive Verbindung der Schichten ist jedoch ein Ausbau einzelner Schichten mit einem Bagger kaum und mit einem Aufbruchmeißel praktisch nicht möglich (65).

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 zusätzli-

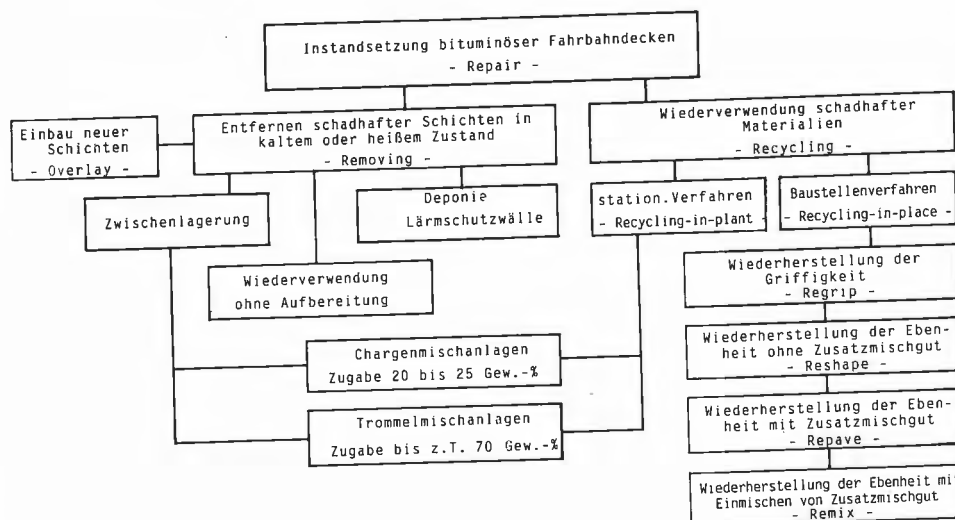


Bild 2.20.
Verfahren zur Vorbereitung der Instandsetzung bituminöser Fahrbahndecken (Repair) nach (56)

chen Ladegerät aufgenommen. Das Fräsgut liegt als Asphaltgranulat vor und kann nach entsprechender Aufbereitung (Nachsiebung) Mischanlagen aufgegeben werden. 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 Fräsverfahren 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 (13). Die Leistungen von Kaltfräsen liegen bei 150 bis 200 Mg/h, teilweise bis zu 800 Mg/h, bei Frästiefen bis ca. 200 mm (66).

Die wesentlichen Vorteile des Verfahrens sind (66):

- hohe, witterungsunabhängige Fräseleistung ohne Tiefenschnitt 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 (66):

- 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.);

Warmfräsen

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

Bei den Warmfräsenverfahren 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 wird strukturell nur beschränkt durch geringfügige Bindemittelverhärtungen und minimale Kornzertrümmerung gegenüber dem ursprünglichen Zustand beeinträchtigt (13).

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 Fräseleistungen liegen je nach Witterung bei 50 – 80 Mg/h, der Flüssiggasverbrauch schwankt zwischen 10 und 200 kg/h. Die Frästiefe beträgt max. 40 mm (58).

Die Vorteile des Warmfräsens sind (66):

- 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.

Als Nachteile des Warmfräsens sind anzuführen (66):

- starke Witterungsabhängigkeit, bis zu 50% der Wärmeleistung können bei naßfeuchtem Bearbeitungsgut als Verdunstungswärme verloren gehen. Wind beeinflusst die Fräseleistung 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 warmgefäste Fahrbahn kann erst nach dem Auskühlen wieder befahren werden;
- eine Warmfräsung ist meist nicht für Beton-Fräsarbeiten geeignet.

2.2.1 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 (16). Insgesamt lassen sich vier Verfahrensvarianten unterscheiden:

- Regrip
- Reshape
- Repave
- Remix

Beim Einsatz der Recycling-in-place-Verfahren sind folgende Anforderungen und Einflußgrößen zu berücksichtigen (20, 35, 48, 65):

- 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 $\leq 65^\circ\text{C}$ und bei $\leq 72^\circ\text{C}$ für Gußasphalt.

Regrip-Verfahren

Zur Erhöhung der Fahrbangriffigkeit wird die Asphaltoberfläche mit Infrarotstrahler erhitzt und bituminierter 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 (206).

Reshape-Verfahren

Unter dem Reshape-Verfahren wird das Profilieren der oberen Asphaltdecke durch Aufheizen mittels eines Infrarotstrahlers und Verfestigen ohne Zugabe von Neumaterialien verstanden (28).

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 $^\circ\text{C}$, die sich beim Überfahren durch das Reshape-Aggregat auf ca. 120 bis 140 $^\circ\text{C}$ vor dem Aufreißen abkühlen. In der mittleren Aufreißtiefe – ca. 20 mm – liegt die Temperatur während des Aufreißvorganges bei ca. 100 bis 120 $^\circ\text{C}$ (35).

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 (35).

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 (65).

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 Asphaltdecke ermöglicht. Die vorhandenen Spurrinnen sollten mindestens bis 10 mm unterhalb des Tiefpunktes der Asphaltdecke 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 Verteilerschaukeln geebnet. Anschließend wird neues Asphaltmischgut gleichmäßig als zweite Fahrbahndecke aufgebracht und verdichtet.

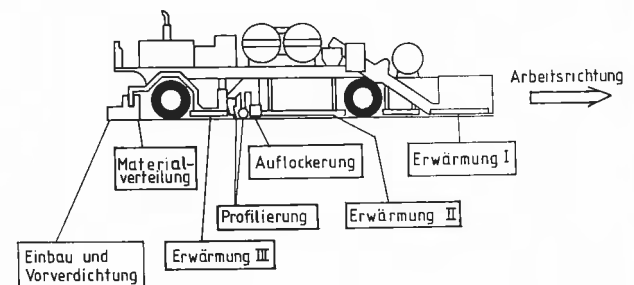
Die Menge und Zusammensetzung des neu eingebrachten Asphalts richtet sich nach den Anforderungen, den geometrischen Gegebenheiten und dem ermittelten Verschleiß. Die zusätzlich aufzubringenden Mengen an Neuasphalt liegen zwischen 10 und 40 Kg/m^2 . Bei Asphaltbeton sollte aus technischen Erfordernissen eine Menge von 15 kg/m^2 nicht unterschritten werden (28).

Verfahrenstechnisch lassen sich zwei Varianten differenzieren (65):

- 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.
- 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.

Die Abbildung 2.21. zeigt schematisch einen Kompaktrepaver mit den entsprechenden Arbeitszonen.

Bild 2.21.
Kompaktrepaver



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 (Bild 2.22.).

Unmittelbar hinter dem "Reformer" wird das neue Mischgut auf die neuprofilierte und vorverdichtete Deckschicht mit einem herkömmlichen Fertiger (ca. 40 kg/m^2) aufgebracht und mittels Walzen verdichtet.

ahler
läche
uflok-
rhan-
mm
hicht
maxi-



inge-
orde-
und
ufzu-
schen
tech-
g/m²

phalt
leues
nein-
t mit

- regat
ieren
nmit-
rtiger
Bei-
nden

Kom-
tszo-

- Richtung

Entsprechend den regionalen Erfahrungen des Straßenbauamtes Schleswig-Holstein kann das Repave-Verfahren aufgrund von Witterungsempfindlichkeiten maximal in den Sommermonaten bis Ende August angewendet werden (1, 12, 48).

erste
heizt
linter
lisch-

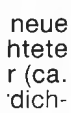
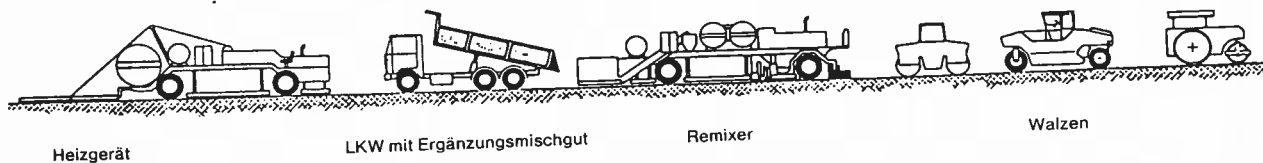


Bild 2.24.
Mehrteiliges Remix – Verfahren (59)



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 (28, 65).

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 aufgelockerte 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 aufgetragen und eingebaut (28).

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 2.24. ist schematisch ein mehrteiliger Remix Gerätezug dargestellt.

Demgegenüber stellt Abbildung 2.25. ein einteiliges Verfahren dar.

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

Für das Material der Deckschichten gelten die allgemeinen Anforderungen an eine sorgfältige Plasti-

fizierung 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 (48).

Dementsprechend sind folgende Punkte zu berücksichtigen (48):

- 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;
- 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 (65).

Um eine gezielte Verbesserung der Zusammensetzung des Asphaltmischgutes zu erreichen, sind ausreichende Voruntersuchungen erforderlich (28).

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 (58).

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Remix-Verfahrens ist die Sanierung von Binderschichten. Bei nicht standfesten Binderschichten kann nach Abfräsen der obersten Schicht die Binderschicht in ihrer 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 (9).

Mit welcher Genauigkeit die Zusammensetzung des resultierenden Mischgutes erreicht werden kann, zeigt Tabelle 2.2.

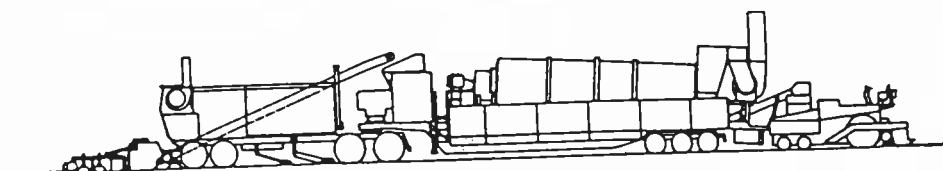


Bild 2.25.
Einteiliges Remix –
Verfahren der Fa. Ma-
rini (51)

Tabelle 2.2.
Soll- und Ist-Werte
der Mischgutzusam-
mensetzung nach An-
wendung des Remix -
Verfahrens (21)

		Einheit	Sollwerte	Mittelwert $\bar{x}$	Standard- abweichung s
1		2	3	4	5
1	Bindemittelgehalt	Gew.-%	5,2	5,4	0,35
2	Erweichungspunkt RuK	°C	49 - 62	55,5	3,2
3	Splittgehalt	> 11 mm Gew.-%	12,1	11,3	4,8
4	Splittgehalt	> 16 mm Gew.-%	0,5	0,7	1,1
5	Sieblinie	< 0,09 mm	8,6	8,4	1,1
		< 0,25 mm	16,7	16,1	2,0
		< 0,71 mm	31,1	30,6	3,1
		< 2 mm	43,9	42,5	3,9
		< 5 mm	57,9	54,7	4,7
		< 8 mm	75,8	73,0	4,8
		< 11 mm	87,9	88,7	4,8
		< 16 mm	99,5	99,3	1,1
		< 22 mm	100,0	100,0	-
6	Füller	Gew.-%	8,6	8,4	1,1
7	Sand	Gew.-%	35,3	34,1	2,9
8	Splitt	Gew.-%	56,1	57,5	3,9
9	Raumdichte	g/cm³		2 305	0,035
10	Rohdichte	g/cm³		2 445	0,012
11	Hohlraumgehalt	Vol.-%		5,7	1,6
12	Stabilität	kN		11,5	1,7
13	Fließwert	mm		3,1	0,3
14	Steifigkeit	kN/mm		3,8	0,7

2.2.2 Recycling-in-plant

Wenn die Asphaltbefestigungen den bautechnischen Erfordernissen nicht mehr entsprechen, ein Recycling an Ort und Stelle unwirtschaftlich oder technisch nicht möglich ist, wird es erforderlich, die Deckschicht entweder in Schollen aufzubrechen oder lagenweise abzufräsen. Das Fräsen kann warm oder kalt durchgeführt werden. Die Verfahrensweisen zum Schollenaufbruch oder zum Fräsen sind in Kapitel 2.2.1. ausgeführt (28). Ist ein Recycling-in-place nicht mehr durchführbar, kann der Ausbauasphalt in einer stationären Anlage einer Wiederverwendung zugeführt werden.

Grober Bagger- und Schollenaufbruch werden in einer Aufbereitungsanlage zerkleinert, wobei die Aufbereitung zu Asphaltgranulat analog der Bauschuttaufbereitung durchgeführt wird. Hierfür können die gleichen Anlagentypen verwendet werden.

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 (28).

Die Lagerung des Ausbauasphalts 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 zurückzuweisen sind. 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 Recyc-

lingmischgutes die Berücksichtigung der Korngrößenverteilung und des Bindemittelgehaltes (6).

Der Schollenaufbruch wird in den bereits erwähnten Aufbereitungsanlagen auf eine Korngröße von 0/20 bis 0/40 mm zerkleinert. Beim Brechen findet eine mehr oder weniger große Kornzerkleinerung statt, die sich durch eine verhältnismäßig gut einsetzbare Korngrößenverteilung auszeichnet.

Bei der Aufbereitung des Ausbauasphalts sind 2 Punkte für die Qualität des Mischgutes sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens entscheidend (6):

- 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 Ausbauasphalt 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 durchmischt 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, damit eine zusätzliche Verdichtung durch das Gewicht der Fahrzeuge und ein Zusammenkleben des Granulats vermieden wird.

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 (6, 13).

Die Wiederverwendung von aufbereitetem Ausbauasphalt bei der Herstellung von neuem bituminösem Mischgut wird im wesentlichen von maschinentechnischen und den bautechnischen Parametern beeinflusst (13):

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.

Maschinentechnische Voraussetzungen

Chargenmischanlagen

Die Zugabe von Altmateriale in konventionellen Chargenmischanlagen (hauptsächlich Zwei-Wellen-Zwangsmischer) ist naheliegend, da nahezu alle vorhandenen Mischanlagen in der Bundesrepublik Deutschland als Zwangsmischanlagen ausgeführt sind (Tabelle 2.3.).

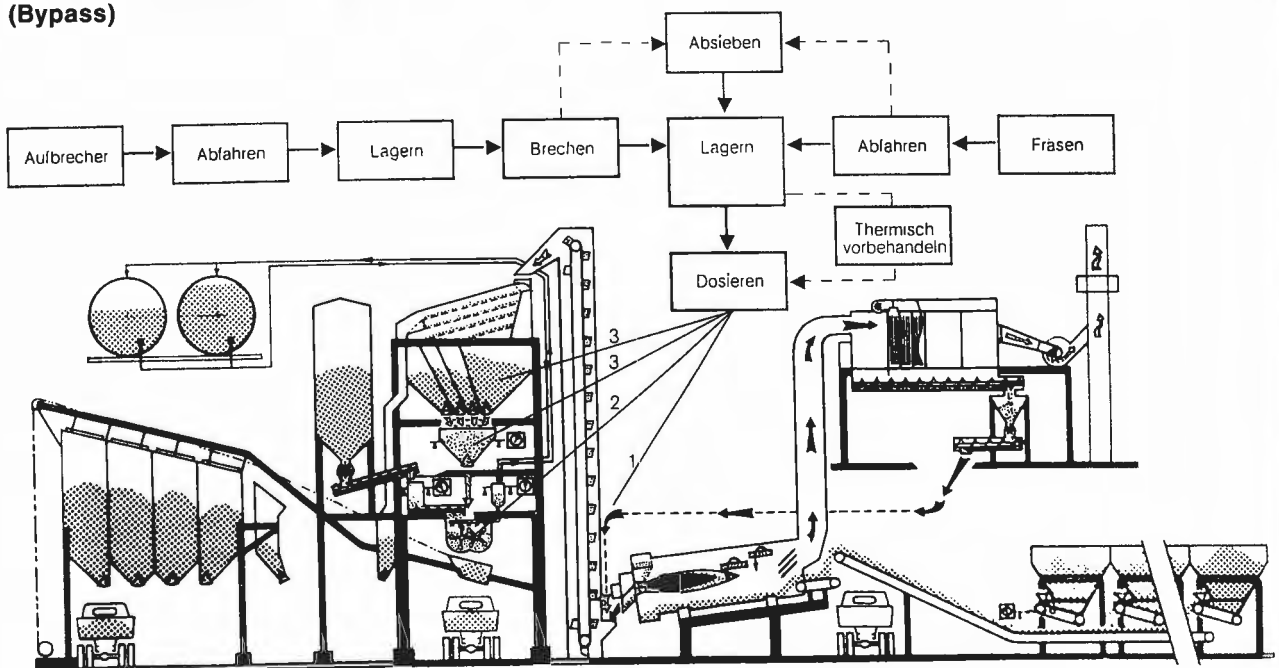
Tabelle 2.3.
Produktion von bituminösem Mischgut in der Bundesrepublik Deutschland (46)

Angaben		Einheit	1970	1979
1		2	3	4
1	Mischgutproduktion	Mio Mg/a	73	59
2	Mischanlagen	Stück	1328	593
	davon mobile Anlagen	Stück	200	20
3	Mittlere Anlagenkapazität	Mg/a	85	125
4	Kapazität aller Anlagen bei 1300 h/a	Mio Mg/a	147	96
5	Mittlere Kapazitätsauslastung	%	50	61

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

In Bild 2.26. sind die möglichen Zugabestellen von Asphaltgranulat in eine Chargenmischanlage aufgezeigt.

Bild 2.26.
Chargenmischanlage mit Zugabestellen für Asphaltgranulat (14)
1. in den Heißelevator, 2. in den Mischer, 3. in das Wiegegefäß bzw. in die Siebumgehungsstasche (Bypass)



t und
nem
nden
zudo-

ellen
ellen-
alle
publik
eführt

1979
4
59
593
20
125
96
61

g des
ichan-
en.

n von
a auf-

ische



Das Granulat wird über eine Dosiereinrichtung und ein 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 (14).

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. Eine exakte Steuerung der Korngrößenverteilung des resultierenden Mischgutes kann so vorgenommen werden. Die Entstehung von Wasserdampf beim Zusammentreffen der überhitzten Mineralstoffe mit dem kalten und feuchten Ausbauasphalt erfordert am Mischer zusätzliche konstruktive Maßnahmen.

Eine Verlängerung der Mischzeit ist i.d.R. 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 2.27.).

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 (13).

Trommelmischanlagen

Bei Trommelmischanlagen ist eine Zugabe von Asphaltgranulat in die Trockentrommel nur nach entsprechenden Ein- und Umbauten möglich. Hierbei kann der Anteil des eingesetzten Granulats höher als bei Chargenmischanlagen sein. Die Dosierung hängt jedoch von der Qualität und

Gleichmäßigkeit des Ausbauasphaltes ab. Eine nachträgliche Absiebung des Mineralstoff-Asphaltgranulatgemisches ist nicht möglich, wodurch sich nachträgliche Korrekturen der Mischgutzusammensetzung nur in Ausnahmefällen realisieren lassen (14).

Bild 2.27.
Chargenmischanlage mit Bypass (13)

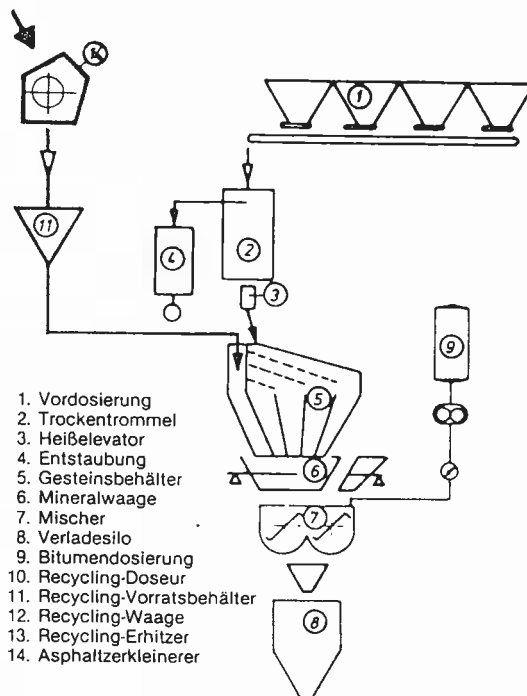
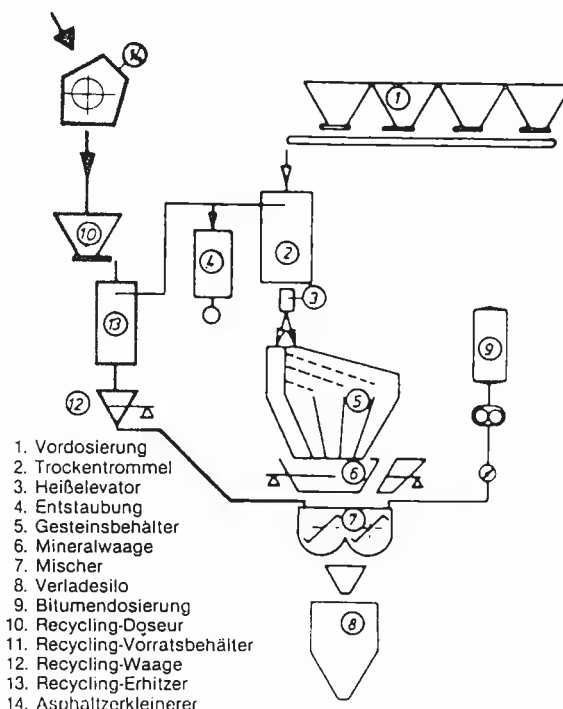


Bild 2.28.
Aufheizen des Asphaltgranulats in einer Paralleltrommel (13)



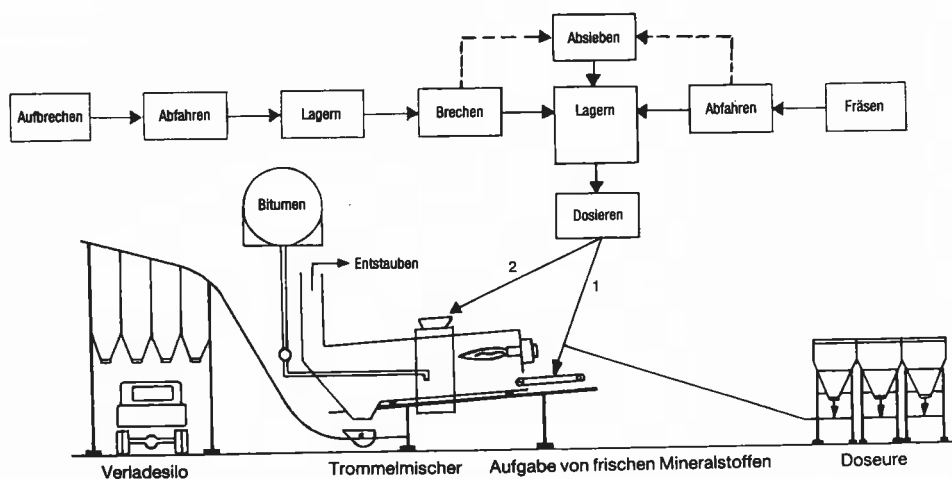


Bild 2.29.
Zugabe von Ausbauasphalt in eine Trommelmischanlage: (47)
1. Zugabe zusammen mit den neuen Mineralstoffen
2. Zugabe in die Trommelmitte

Zur Zeit werden mehrere Verfahren erprobt, bei denen eine Steigerung des Granulatzusatzes über 40 Gew.-% hinaus möglich sind (13):

- Zugabe in der Mitte der Trockentrommel;
- Zugabe über eine Wurfbandanlage;
- Einsatz einer Paralleltrommel;
- Aufheizen mit einem Infrarotgerät.

In Bild 2.28. ist das Verfahren zur Aufheizung des Granulats in einer Paralleltrommel schematisch dargestellt.

Ein weiteres Verfahren zur Wiederverwendung von größeren Anteilen an Ausbauasphalt ist in Bild 2.29. dargestellt. Bei den Trommelmischanlagen, die auch als mobile Einheiten angeboten werden, wird das Granulat zusammen mit den neuen Mine-

ralstoffen im Gleichstrom verarbeitet. Das Mineralstoff-Asphaltgranulatgemisch wird mit ergänzenden Bitumen versehen und gemischt. In einem nachgeschalteten Durchlaufmischer kann zusätzlich Füller zugegeben werden (13).

Bei einigen Anlagen konnte mit Zugabemengen von Ausbauasphalt bis zu 70 Gew.-% ein Mischgut hergestellt werden, daß den Anforderungen der technischen Vorschriften für Trag- und Binderschichten entspricht (13).

Bei Zugabemengen von 50 Gew.-% und mehr in Trommelmischanlagen muß jedoch berücksichtigt werden, daß das Bindemittel des Asphaltgranulats vor Schädigung durch Flammenstrahlung oder hohen Gastemperaturen geschützt wird (15).

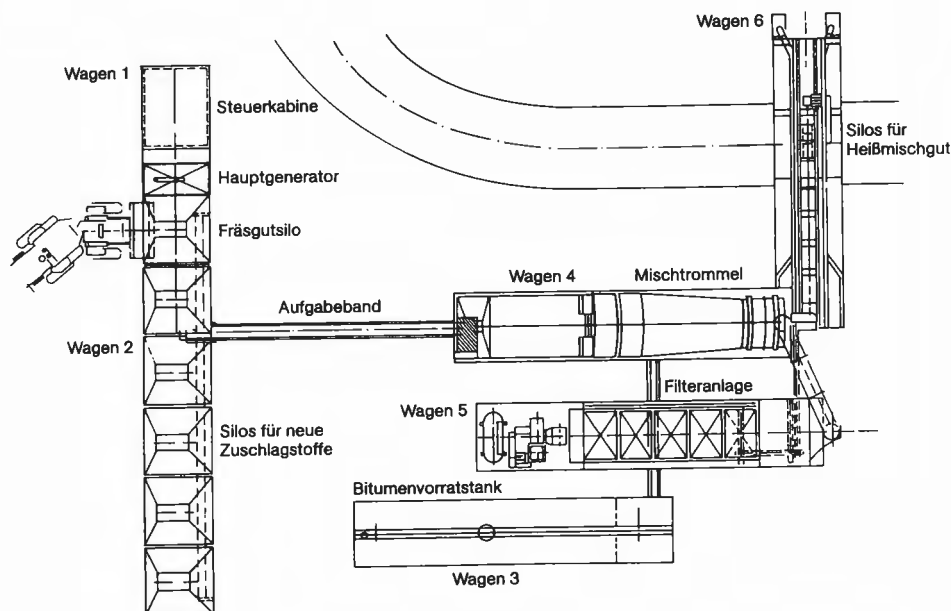


Bild 2.30.
Aufbau einer mobilen "Drum-Mix-Anlage" (50)

Im einzelnen sind die insgesamt 6 Sattelaufzieger mit folgenden Aggregaten bestückt (50):

- 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.

Wie bereits erwähnt, können auch Trommelmischverfahren als mobile Einheiten ausgeführt werden. Bei diesen "Drum-Mix-Verfahren" sind die Einzelteile der Anlage auf Sattelaufleger installiert. In Bild 2.30. ist ein Schema einer solchen Anlage in Arbeitsstellung gezeigt.

Der Einsatz sowohl von mobilen als auch stationären Trommelmischanlagen ist im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigungspflichtig. Die theoretische Möglichkeit, bis zu 100 % Ausbauasphalt wiederzuverwenden, wird durch die noch nicht beherrschbaren Emissionsprobleme ("blue smoke") begrenzt. Mit Hilfe von Abgasmachbrennern wird an der Lösung dieses Problems gearbeitet (14).

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 nur durch eine Reduzierung der Zugabemenge verringert werden (13).

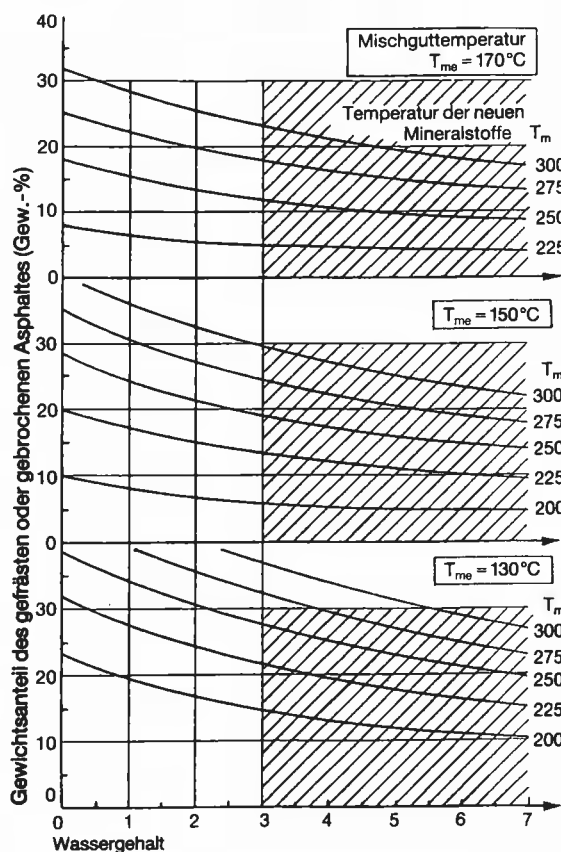
2.2.3 Betriebserfahrungen

Aufgrund der thermischen Eigenschaften des Ausbauasphaltes müssen bei der Aufheizung mehrere Faktoren 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 Austragseinrichtungen). Die besondere Problematik der Aufheizung kalter Mischkomponenten im Heißbecherwerk, im Vorsilo und Mischer führt zur Beachtung mehrerer Maßnahmen, die die erforderliche Mischguttemperatur sowie die Mengenteile der Komponenten maßgebend beeinflussen (32).

Bei Zugabe von Asphaltgranulat in einer Chargenmischanlage muß berücksichtigt werden, daß die erforderliche Temperaturerhöhung der Mineralstoffe auf bis zu ca. 250 °C bei verschiedenen Gesteinen zu Gefügestörungen führen kann. Beim Auftreffen des frischen Bitumens auf die überhitzte Mineralstoffoberfläche kann es zu einer thermischen Schädigung des Bindemittels kommen (15).

In der Abbildung 2.31. sind für 3 verschiedene Mischguttemperaturen Anhaltswerte für die Temperatur der Mineralstoffe in Abhängigkeit von der

Bild 2.31.
Temperatur des Mineralstoffgemisches in Abhängigkeit von der Zugabemenge und des Wassergehaltes des Ausbauasphaltes (47)



Zugabemenge und des Wassergehalts des Ausbauasphaltes dargestellt.

Die zusätzliche Wärmeenergie wird benötigt, um das mit dem Granulat in den Mischer eingetragene Wasser zu verdampfen. Der Wasserdampf, der innerhalb weniger Sekunden nach der Berührung des Ausbauasphalts mit den heißen Mineralstoffen entsteht, kann Größenordnungen von bis zu 10 m³ betragen. Vor Zugabe des Füllers und des Bitumens ist der Wasserdampf mittels Absaugvorrichtungen abzusaugen. Wird davon ausgegangen, daß der Wasserdampf schadlos abgeführt werden kann, sind keine zusätzlichen Emissionen zu erwarten (14).

Während der relativ kurzen Mischzeiten in Chargenmischanlagen lassen sich insbesondere bei direkter Asphaltgranulatzugabe Inhomogenitäten im feinen Bereich nicht vollständig auflösen. 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 (15).

Der Einsatz von Recycling-in-place und Recycling-in-plant Anlagen sowie erste Erfahrungen werden in der Literatur beschrieben (6, 13, 16, 28, 32, 43, 50, 59, 70).

3. Produkte und Eigenschaften

An Sekundärbaustoffe müssen die gleichen Qualitätsanforderungen wie an Primärbaustoffe gestellt werden.

Die Qualitätsprüfungen, die von unabhängigen Materialprüfinstituten durchgeführt werden, bieten einem Käufer die Gewähr, hochwertiges Material am Markt erwerben zu können. 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 zur Zeit 30 bis 40 % unter denen für Primärrohstoffe. In anderen Bereichen des Sekundärrohstoffmarktes wie z.B. Altpapier, Altglas etc. werden derartige Preisabschläge aufgrund der minderen Qualitäten gebildet. Hochwertige Recycling-Baustoffe sollten hingegen bei gleicher Qualität zu gleichen Preisen wie Primärprodukte einen Abnehmer finden. Um dies zu erreichen, müssen die Abnehmer verstärkt über die Eigenschaften von Sekundärbaustoffen und deren umwelttechnischen Zusatznutzen informiert werden. Marktstrategien zur Motivation der Anbieter und Nachfrager für Sekundärrohstoffe werden in den diversen Bereichen der Abfallwirtschaft seit Jahren praktiziert.

Vor allem beim Abbruch von Hochbauten fallen Materialien an, die nicht direkt als Bauschutt oder Straßenaufbruch zählen, jedoch ebenfalls einer Verwertung zugeführt werden können (26).

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 Schalungen;
- 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;
- Verbrennung zur Energiegewinnung.

Bauglas

In der Literatur (26) wird vorgeschlagen durch eine getrennte Erfassung des Glas in Form von Scherben in der Behälterglasindustrie einzusetzen. Erfahrungsgemäß ist die unmittelbare Wiederverwertung von Flachglas nur sehr begrenzt oder gar nicht möglich.

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 eines Wohnungsbaues, beträgt zwischen 30 und 50 kg pro m³ Bruttogeschoßfläche. Bei Ingenieurbauten wie Brücken und Hochbauten können je nach Baustil und Statik die Stahlmassen weitaus höher liegen.

Die Erlöse (Preisbasis Juli 1985) richten sich nach der Reinheit der Stahlfraction:

- verunreinigter Stahl (z.B. mit Blechen, NE-Metallen) erbringt ca. 120 - 130 DM/Mg;
- reiner Stahl aus bewehrtem Beton erbringt bis zu 220 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 (34).

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 Pyrolyse von Kunststoffen zur Gewinnung von Energie und Ölprodukten wurde in einer vom BMFT geförderten großtechnischen Versuchsanlage erprobt.

Verbundstoffe

Verbundelemente sind nicht mehr werkstoffhomogen; der Aus- und Umbau oder die direkte Rohstoffgewinnung, wie z.B. Wand- und Deckenpaneele 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 als Füllstoff geeignet ist, gewährleistet keinen rentablen Betrieb einer Aufbereitungsanlage.

3.1.1 Anforderungen

Zur Einhaltung der Qualität von Sekundärbaustoffen wurde 1983 die Gütegemeinschaft 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 (52).

Die Grundlage für die Bestimmungen bilden die nachfolgend aufgeführten Regelwerke in der jeweils neuesten Fassung, wobei insbesondere auf den Entwurf des "Merkblattes über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil IV: Wiederverwendung von Baustoffen" (49) 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.

Nennung der Bestimmungsmethoden.

DIN 18123 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 Bodenproben bei ungehinderter Seitendehnung) zur besseren Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse.

DIN 4030 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 Zuschlag für Beton. Teil 3 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 Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau.

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

TP Min Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe Teil 1 bis 6 im Straßenbau.

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 granulometrische Eigenschaften.

Eine detaillierte Zusammenfassung der Bestimmungen befindet sich in der Arbeit von Schöndorfer (63).

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

- Richtlinien für die Anerkennung und Überwachung von Prüfstellen für bituminöse und mineralische Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau (RAP Stra).
- Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB).
- Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten (RiSt-Wag).
- Arbeitsblatt GW 9 des DVGW Regelwerkes vom August 1971.
- Verordnung über Trinkwasser und Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-Verordnung).
- Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (ZTV-Beton).
- Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTVV-StB).
- Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Bodenverfestigungen und Bodenverfestigungen im Straßenbau (ZTVE-StB), sowie die ZTVT-StB, ZTVbit-StB und ZTV-LW.

Weitere Angaben sind bei Schniering (62) zu finden.

Die Gütegemeinschaft 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
1	Klasse I	Baustoffe für Oberbauschichten im Straßenbau, die die Gütebestimmungen nach RAL-RG 501/1 in der Tabelle I/1 und I/2 erfüllen; die Anforderungen nach dieser Tabelle gelten für die Stoffe, die entsprechend dem Abschnitt 3 "Geltungsbereich der TL Min-StB" zu verwenden sind.
2	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.
3	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 (49) 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 (49):

- 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.

Die recycelten Baustoffe finden jedoch nicht nur beim Straßenbau Verwendung, sondern können auch anderweitig verwendet werden.

Aufbereiteter Betonabbruch kann bei der Herstellung von Neubeton als Zuschlagstoff eingesetzt werden. Als Anforderungen gelten die bereits zitierte DIN 4226 sowie DIN 1045 mit dem Titel "Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung".

Da an Beton besondere Festigkeitsansprüche gestellt werden, sind umfangreiche Untersuchungen

über Technologien, Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten durchgeführt worden (67,72).

Dabei wurde ermittelt, daß die Druckfestigkeit sowie weitere betontechnische Eigenschaften bei der Verwendung von Betonsplitt abnehmen. Die Verwendung sollte danach nur bei Einsatzgebieten erfolgen, wo keine extrem hohen Festigkeiten wie z.B. bei Bundesautobahnen und bestimmten Bereichen im Hoch- und Ingenieurbau erforderlich sind (72).

3.1.2 Einsatzgebiete

Wie bereits erläutert, finden die Sekundärbaustoffe vorwiegend im Straßenbau Anwendung.

Vor Darstellung der einzelnen Einsatzgebiete soll an dieser Stelle kurz auf den Aufbau einer Straße eingegangen werden.

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

Die einzelnen Schichten lassen sich wie folgt charakterisieren (69):

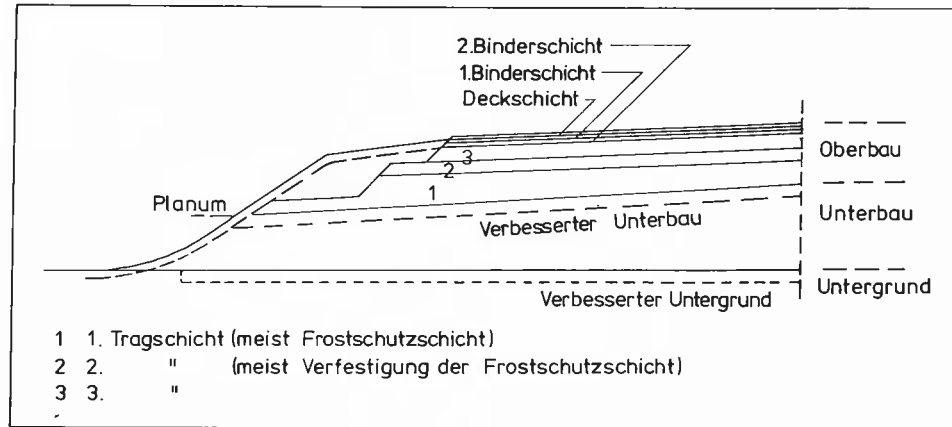
Als Untergrund dient der natürlich anstehende Boden. Ist der Boden nicht ausreichend tragfähig, wird er ausgetauscht oder in der oberen Zone mit Bindemitteln oder mechanisch durch Zugabe von körnigem Material verbessert. Diese Zone wird als verbesserter Untergrund bezeichnet. Die eingesetzten Baustoffe 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, bezeichnet man dies als verbesserten Unterbau. 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 Atmosphärien nicht verändern. Bei der Hinterfüllung von Bauwerken müssen Schüttmaterialien ausreichend durchlässig und dürfen nicht baustoffaggressiv sein.

Wird die obere Zone des Baugrundes oder des Unterbaues verbessert, so daß diese auch den Anforderungen an die Tragschichten genügt, kann diese Zone des Unterbaues bei der Bemessung des Oberbaues berücksichtigt werden. D.h., daß eine Schicht eines ausreichend verfestigten Sekundärbaustoffes als verbesserter Unterbau bei der Bemessung des Oberbaues angerechnet werden kann. Dies verringert die Stärke des Oberbaues 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 Oberbaues müssen den Anforderungen der TL Min 78 entsprechen. Insbesondere müssen die Stoffe

Bild 3.1.
Prinzipdarstellung eines Straßenaufbaus in bituminöser Bauweise (69)



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.

In Tabelle 3.2. ist ein Überblick über die Verwendungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Sekundärbaustoffe aufgelistet.

A) Lärmschutzwälle

Entsprechend der Tabelle 3.2. können in Lärmschutzwällen die Stoffgruppen 1-7 allein und/oder als Gemische verwendet werden. Höhere Anforderungen an das Schüttmaterial werden nicht gestellt. Die nachfolgenden Eigenschaften sind zu beachten :

Stoffliche Zusammensetzung

Das Material darf nur geringe Mengen an Verunreinigungen wie z.B. Holz und Gesträuch enthalten.

Tabelle 3.2
Möglichkeiten für die unterschiedlichen Sekundärbaustoffe als Einsatzmaterial (49)

VERWENDUNGS- BEREICHE STOFFGRUPPEN		A	B	C	D	E	F	G1	G2	H
		Lärmschutzwälle	Wassergeb. Verkehrsfläche und Wegebau nach TÜV-Lw	Untergrundverbesserung, Leitungsgräben	Unterbau, Hinterfüllung und Über-schüttung	Trageschichten ohne Bindemittel	hydraulisch gebundene Trageschichten	Trageschichten mit bituminösen Bindemitteln	bit. Deck- und Binderschichten	Betontragschichten Betondecken
1	Asphalt	●	●	●	●	①	②	siehe "Merkblatt über die Weiterverwendung v. Asphalt"		—
2	Beton, Betonwerksteine	●	●	●	●	●	●	○	—	●
3	sonst. hydr. geb. Materialien	●	●	●	●	●	●	○	—	●
4	Naturwerksteine, gebr. ungeb. Materialien, Gleisschotter	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5	Kies, Sand	●	●	●	●	●	●	●	—	●
6	sonst. mineralische Massen (z.B. bindige u. verwitterungs-empfindliche Stoffe)	●	●	○	●	—	—	—	—	—
7	Ziegel, Mauerwerk, Steinzeug	●	●	●	●	Bis 15 Vol.-%*) zu 2-5 in FSS		—	—	—

● Verwendung möglich

○ Verwendung bedingt möglich

① Bis zu 30 Gew.-% als Beimengung zu den Stoffgruppen 2-5

② Als Beimengung zu Stoffgruppe 2-5 je nach Laboruntersuchung, oder aufgrund von Praxiserfahrungen

*) Hochfeste Ziegel und Klinker können je nach Ergebnis zusätzlicher Prüfungen ggf. in gr. Mengen zugegeben werden.

Raumbeständigkeit

Die Raumbeständigkeit muß soweit sichergestellt sein, daß keine zu großen und ungleichen Setzungen bzw. Aufbrüche durch das Material hervorgerufen werden können. Dies gilt besonders dann, wenn bauliche Maßnahmen auf oder direkt am Schutzwall vorgesehen sind.

Korngrößenverteilung

Der Kornaufbau soll der erforderlichen Einbaufähigkeit entsprechen, die erforderliche Standfestigkeit aufweisen und unerwünschte Setzungen durch z.B. Ausspülungen vermeiden.

Die Eigenschaften Verformungsmodul, Haufwerksfestigkeit, Standfestigkeit und Scherfestigkeit müssen ausreichend sein, so daß die Eigenlast und ggfs. zusätzliche Lasten auch bei Erschütterungen schadlos aufgenommen werden können. Das Zeit-Setzungsverhalten ist besonders bei bindigen Massen zu beachten. Sollen stärkere Langzeitsetzungen vermieden werden, ist eine Verdichtung auf einen von Fall zu Fall festzulegenden Mindestwert vorzunehmen.

Begrünbarkeit

Die Materialeigenschaften müssen, falls eine Bepflanzung vorgesehen ist, die vorgesehene Begrünung ermöglichen.

B) Wassergebundene Verkehrsflächen und Wegebau

In der wassergebundenen Flächenbefestigung und im Wegebau können ebenfalls die wiedergewonnenen Stoffgruppen 1-7 entsprechend der Tabelle

3.2. einzeln und/oder als Gemische verwendet werden. Dabei sind die Eigenschaften entsprechend der Tabelle 3.3. zu beachten:

Stoffliche Zusammensetzung

Neben den Recyclingbaustoffen können Metall, Glas, Kunststoff, Holz usw., in zerkleinerter Form als Nebenbestandteile in den Stoffgemischen ohne zu schaden, enthalten sein. Klumpen von bindigem Material sollten entsprechend der Stoffgruppe 6, der Tabelle 3.2. nicht enthalten sein.

Widerstand gegen Verwitterung und Frost; Raumbeständigkeit

Der Widerstand gegen Verwitterung und Frost sowie die Raumbeständigkeit müssen ausreichend sein, um die vorgesehene Nutzung unabhängig von der Witterung sicherzustellen.

Korngrößenverteilung

Entsprechend ZTV-LW kann das Materialgemisch je nach Korngrößenverteilung

- als korngestuftes Gemisch nach ZTVT-StB;
- als unsortiertes Gestein;
- als Deckschicht 0/11 mm, 0/16 mm oder 0/32 mm gelten.

C) Unterbau; Hinterfüllung und Überschüttung von Bauwerken.

Für diesen Einsatzbereich können die Stoffgruppen 1-7 einzeln und/oder als Gemische verwendet werden, dabei gelten folgende Anforderungen aus Tabelle 3.3.:

Tabelle 3.3.
Überblick über die zu prüfenden Eigenschaften für Sekundärbaustoffe für die Einsatzgebiete A bis H (49)

zu prüfende Eigenschaften	Verwendungsbereiche	A Lärmschutzwälle	B Wassergeb. Verkehrsfl. und Wegebau	C Unterbau; Hinterfüllung und Überschüttung	D Bodenverfestigung Untergrundverbesserung Leitungsgräben	E Tragschichten ohne Bindemittel	F hydraulisch gebundene Tragschichten	G1 Tragschichten mit bituminösen	G2 bit. Deck- und Binderschichten	H Befestigungsschichten Befestigung
		Oberbau								
1	Stoffliche Zusammensetzung	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	Widerstand gegen Verwitterung (DIN 52106)		●			●	○	●	●	●
3	Widerstand gegen Frost		●			●	○	●	●	●
4	Raumbeständigkeit	○		○	●	●	●	●	●	●
5	Korn-, Rohdichte		●	●	●	●	●	●	●	●
6	Korngrößenverteilung	●	●	●	●	●	●	●	●	●
7	Kornform					●		●	●	●
8	Anteil an gebrochenen Körnern		○			○		●	●	●
9	Kornfestigkeit		●			●	○	●	●	●
10	Schädliche Bestandteile n. DIN 4226						●			●
11	Ähnlichkeit zu bit. Bindemitteln							●	●	
12	Verhalten in der Trockentrommel							●	●	
13	Proctordichte	○	●	●	●	●	●			
14	Verformungsmodul, Standfestigkeit, Haufwerksfestigkeit, Scherfestigkeit	●	○	●	○	●				
15	Zeit-Setzungsverhalten	○		●		○				
16	Frostempfindlichkeit					●	●			
17	Begrünbarkeit	○								
18	Chemisch-physikalische Einwirkung auf Bauteile	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19	Einwirkung auf Umwelt	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● Zu prüfen

○ Unter bestimmten Umständen zu prüfen

Stoffliche Zusammensetzung

Das Einsatzmaterial darf keine schädlichen Bestandteile vor allem aus dem Hochbausektor enthalten, die Verunreinigungen im Grundwasser hervorrufen können. Als umweltgefährdende Verunreinigungen werden im Merkblattentwurf (49) organische wie z.B. polyzyklische Kohlenwasserstoffe und anorganische Stoffe wie Salze, Schwermetalle und Asbest angesehen.

Raumbeständigkeit

Die Recyclingmaterialien müssen eine ausreichende Raumbeständigkeit entsprechend den dargestellten Anforderungen aufweisen.

Zeit-Setzungsverhalten

Langzeitsetzungen sind durch ausreichende Verdichtungen zu verhindern; dies ist insbesondere bei Verfüllungen, Hinterfüllungen und Dämmen zu beachten.

D) Bodenverfestigung; Untergrundverbesserung; Leitungsrampen

In diesem Anwendungsbereich gelten die gleichen Anforderungen wie unter Punkt C.

E) Tragschichten ohne Bindemittel

In den Tragschichten ohne Bindemittel im Bereich des Oberbaus können die Recyclingstoffe 2-5 einzeln und/oder als Gemische eingearbeitet werden.

Stoffliche Zusammensetzung

Asphalt, Stoffgruppe 1, kann bis zu 30 Gew.-% den Stoffgruppen 2-5 zugemischt werden.

Steinzeug, Ziegel- und Mauerwerksplitter bilden die Stoffgruppe 7 und können in Mengen bis zu 15 Vol.-% für Frostschutzschichten als Beimengung zugesetzt werden. Hochfeste Ziegel und Klinker können je nach Ergebnis der Eignungsprüfung in größeren Mengenanteilen in Tragschichten enthalten sein.

Raumbeständigkeit

Das Recyclingmaterial muß entsprechend den Anforderungen ausreichende Raumbeständigkeit aufweisen.

Kornform

An die Kornform gelten sinngemäß die Anforderungen der TL Min-StB.

Korngrößenverteilung

Bei Verwendung in Schottertragschichten muß der Anteil an Körnern im Material größer 5 mm mindestens 80 Gew.-% betragen.

Kornfestigkeit

Die Kornfestigkeit wird als ausreichend betrachtet, wenn die Anforderungen der TL Min-StB und der ZTVT-StB an die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag erfüllt sind.

Zeit-Setzungsverhalten

Nachträgliche, materialbedingte Setzungen in der fertigen Schicht dürfen bei dem Einsatz von Recyclingmaterial nicht über den Werten liegen, die bei der Verwendung herkömmlicher Mineralstoffe auftreten.

F) Hydraulisch gebundene Tragschichten

In den hydraulisch gebundenen Tragschichten des Oberbaus können die Recyclingstoffe 2-5 einzeln und/oder als Gemische eingesetzt werden.

Stoffliche Zusammensetzung

Asphalt kann als Beimengung in den Materialien der Gruppen 2-5 enthalten sein.

Steinzeug, Ziegel und Mauerwerk bilden die Stoffgruppe 7 und können bis zu 15 Vol.-% als Beimengung den anderen Stoffgruppen 2-5 zugegeben werden oder enthalten sein. Hochfeste Ziegel und Klinker können in hydraulisch gebundenen Tragschichten je nach Ergebnis der Eignungsprüfung in größeren Mengenanteilen enthalten sein.

Raumbeständigkeit

Das Recyclingmaterial muß ausreichende Werte hinsichtlich der Raumbeständigkeit aufweisen, der zulässige Anteil an Asphalt ist im Einzelfall durch Laboruntersuchungen oder aufgrund von Praxiserfahrungen festzulegen.

Kornfestigkeit

Die Kornfestigkeit ist ausreichend, wenn die Anforderungen der TL Min-StB und der ZTVT-StB an die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag erfüllt sind.

G1) Tragschichten mit bituminösen Bindemitteln

In Tragschichten mit bituminösen Bindemitteln im Oberbau können die Recyclingstoffgruppen 1-5 einzeln und/oder als Gemisch eingesetzt werden. Hinsichtlich der Anforderungen müssen die Eigenschaften aus der Tabelle 3.3. berücksichtigt werden:

Stoffliche Zusammensetzung

Recycelte Baustoffe der Stoffgruppe 2 und 3 aus hydraulisch gebundenen Tragschichten können bis zu einem Mengenanteil von zusammen 20 Gew.-% im Mineraleinsatzstoff zugegeben werden.

Die Verwendung der Stoffgruppe 1 ist für diesen Einsatz im Merkblatt "Erhaltung von Asphaltstraßen – Wiederverwenden von Asphalt" geregelt (47).

Raumbeständigkeit

Das Recyclingmaterial muß, um für diesen Bereich einsatzfähig zu sein, ausreichende Frostbeständigkeit aufweisen.

Kornfestigkeit

Es wird eine ausreichende Kornfestigkeit erreicht, wenn die Anforderungen der TL Min-StB und der ZTVT-StB an die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag erfüllt sind. Dabei soll die Zuordnung zu den in Tabelle 3 der TL Min-StB aufgeführten Mineral-

stoffen anhand der stofflichen Zusammensetzung der Gemische sinngemäß vorgenommen werden.

Wärmebeständigkeit

Es dürfen keine Bestandteile im Recyclingmaterial enthalten sein, die bei der Beanspruchung in der Trockentrommel unzulässige Absplitterungen oder Festigkeitsverluste erfahren und gasförmige Anteile freisetzen, die zu schädlichen Emissionen führen können.

G2) Bituminöse Deck- und Binderschichten

In bituminösen Deck- und Binderschichten sind nur die Recyclingstoffgruppen 1-4 einzeln und/oder als Gemische erwünscht. Entsprechend der Tabelle 3.3. sind die folgenden Anforderungen und Eigenschaften zu beachten:

Stoffliche Zusammensetzung

Der Einsatz von Ausbauasphalt (Stoffgruppe 1 der Tabelle 3.2.) ist im Merkblatt für die "Erhaltung von Asphaltstraßen - Wiederverwenden von Asphalt" geregelt (47) und im Kapitel 3.2. beschrieben.

Raumbeständigkeit

Vom Recyclingmaterial wird ausreichende Frostbeständigkeit gefordert.

Kornfestigkeit

Eine Kornfestigkeit wird entsprechend den Anforderungen der TL Min-StB und der ZTVT-StB an die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag gefordert. Die Zuordnung wird entsprechend den in Tabelle 3 aufgeführten Mineralstoffen in der TL Min-StB anhand der stofflichen Zusammensetzung der Gemische sinngemäß vorgenommen.

Wärmebeständigkeit

Hier gilt das unter Punkt G1 Genannte.

H) Betontragschichten und -decken

Als Zuschlagstoffe für Beton können die Recyclingstoffgruppen 2-5 der Tabelle 3.2. einzeln und/oder als Gemisch verwendet werden.

Die Anforderungen sind in den bereits vorgestellten technischen Regelwerken enthalten. Neben dem Straßenbau kann Beton auch im Hoch- und Ingenieurbau eingesetzt werden.

Dichtungsschichten

Wie Untersuchungen der Firma Hebel zeigen, kann aufbereiteter Bauschutt im Bereich der Deponiegründung als Dichtungsschicht eingesetzt werden (23).

Nach Verdichtung auf einfache Proctordichte ergaben sich je nach Ausgangsmaterial Durchlässigkeitswerte von

$$K_f = 1,3 \times 10^{-9} \text{ m/s und} \\ K_f = 0,9 \times 10^{-10} \text{ m/s.}$$

Bei einer Zugabe von quellenden Tonmineralien (Montigel F) verringert sich die Wasserdurchlässigkeit auf

$$K_f = 0,4 \times 10^{-12} \text{ m/s.}$$

Bei der Zulassung von Hausmülldeponien wird zur Zeit ein Wasserdurchlässigkeitswert in der Größenordnung von ca. 10^{-10} m/s gefordert.

Brechsand für Kabelgräben

Das Fernmeldetechnische Zentralamt der Deutschen Bundespost hat in einem Schreiben vom 25. März 1985 (AZ N 26-5 B 4415- 1/10 A) alle Oberpostdirektionen angewiesen, daß ab sofort für das Verfüllen von Gräben und Baugruben auch der nach TL Min-StB güteüberwachte Brechsand auf Hartstein- oder Kalksteinbasis zugelassen ist.

Die in der ZTV-FLN 10, Abschn. 7.2. Abs.2 enthaltene Regelung, daß im Bereich der Leitungszone kein Brechsand verwendet werden darf, wird nicht mehr aufrechterhalten.

Eine entsprechende Änderung der Fernmelde-Bauordnung (FBO 10 A) erfolgt voraussichtlich im Herbst 1985. Nachträgliche Änderungen bestehender Verträge sind auf Antrag der Auftragnehmer zu diesem Sachverhalt zulässig.

3.2. Asphalt

Im Gegensatz zu aufbereitetem Bauschutt, der einer Vielzahl von unterschiedlichen Wiederverwendungsmöglichkeiten zugeführt werden kann, bietet sich bei Ausbauasphalt nur eine Wiederverwendung als bituminöses Mischgut für Binder- und Tragschichten an. Material, das für eine Replastifizierung nicht mehr geeignet ist, wird heute meist deponiert, sollte aber einer Verwendung bei anderen Baumaßnahmen wie z.B. Lärmschutzwällen zugeführt werden. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind in Kapitel 3.2.2. 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 Hüttenschlacken) 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 < 0,09 mm werden als Füller bezeichnet.

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

I. Füller werden für folgende Aufgaben verwendet:

- 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. Sie 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 Steinkohleaufbereitung anfallenden Rohteer gewonnen, indem die darin enthaltenen Peche in Steinkohlenteerölen gelöst werden (74).

Für den Straßenbau werden nachfolgende bituminöse Bindemittel verwendet (58):

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

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 die Einsatzgebiete im Straßenbau auf Deck-, Trag- und Binderschichten begrenzt sind.

3.2.1 Anforderungen

Um eine wirtschaftliche Wiederverwendung von Asphalt durchzuführen, muß frühzeitig die Zusammensetzung des Ausbauasphaltes ermittelt werden. Hieraus läßt sich die Eignung des Materials für die entsprechende Wiederverwendung bestimmen. Dies ist weiterhin Voraussetzung dafür, ob der Ausbauasphalt entsprechend den jeweiligen Eigenschaften (Warm-, Kaltfräsgut oder Schollenaufbruch) 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 die Art und Eigenschaften des zu erwartenden Ausbauasphaltes. Gleichzeitig kann aufgrund der Ergebnisse entschieden werden, welches Verfahren für die Erneuerung der Fahrbahndecke geeignet ist (3).

Die Zusammensetzung des Ausbauasphaltes kann je nach Gewinnungsart und Durchmischung der unterschiedlichen Schichten sowie nach Bauabschnitt verschieden stark schwanken. Um eine gleichmäßige Zusammensetzung und hohe Qualität zu erreichen, sollte bei der Lagerung des Ausbauasphaltes folgendes berücksichtigt werden (3):

- 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 Ausbauasphaltes 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 neuen Materialien und Asphaltgranulat eine möglichst gleichmäßige Zusammensetzung aufweisen muß, ist durch die Mischwerke eine exakte Dosierung des Asphaltgranulats sicherzustellen (3).

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 eben-

falls für Baustoffe, die einer Wiederverwendung zugeführt werden, entsprechend der nachfolgenden Auflistung verstärkt vorgenommen werden.

Prinzipiell sind vor der Wiederverwendung von Ausbauasphalt folgende Eigenschaften bei der Eigenüberwachung zu prüfen (3):

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

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, jedoch mindestens 5 Proben je Baustelle untersucht werden. Als Richtwert gilt, daß eine Prüfung mit 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 Ausbauasphalt enthaltenen Bindemittels kann hinsichtlich der Wirksamkeit des Bindemittels z. Zt. noch nicht festgelegt werden. Es ist zu prüfen, ob bei einem Erweichungspunkt >70°C das Bindemittel nicht so sehr verhärtet, daß das Asphaltgranulat für die Wiederverwendung als Mischgut nicht mehr geeignet ist (3).

Zum Vergleich ist in Tabelle 3.4. eine Zusammenstellung der in der Bundesrepublik Deutschland hergestellten Bitumensorten mit den nachstehend erläuterten Prüfmethoden dargestellt (74):

Tabelle 3.4.
Penetration, Erweichungspunkt RuK und Brechpunkt für die in der Bundesrepublik Deutschland hergestellten Bitumensorten (46)

Bezeichnung	Penetration bei 25 °C in 1/10 mm	Erweichungspunkt RuK °C	Brechpunkt nach FRAASS höchstens °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

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

- Erweichungspunkt Ring und Kugel:
Temperatur, bei der eine Bindemittelschicht unter der Auflast einer Stahlkugel unter festgelegten

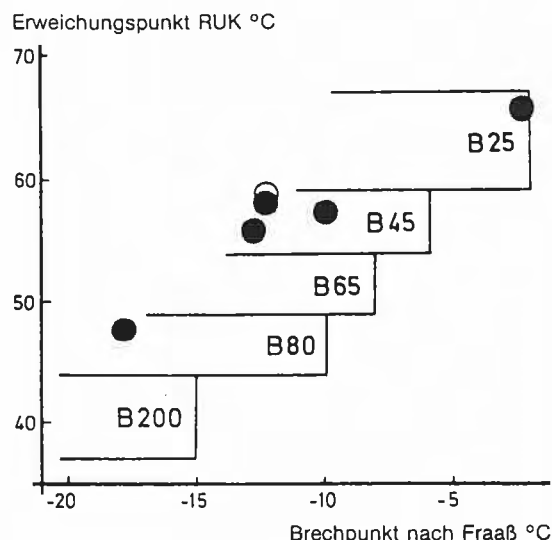
Versuchsbedingungen eine bestimmte Verformung erreicht;

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

Bild 3.2.
Prüfung des Erweichungspunktes (RuK) und des Brechpunktes nach FRAASS am extrahierten Bindemittel aus Asphaltgranulat (3).



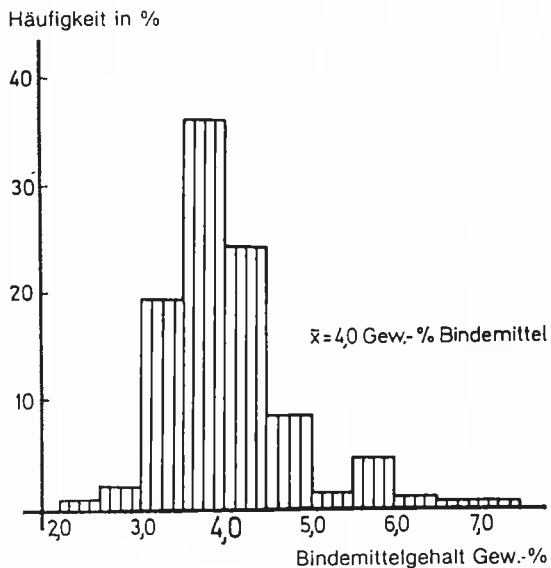
Bei Untersuchungen der Bindemittelgehalte des Asphaltgranulats ergab sich, daß bei ca. 77 % aller Eigenüberwachungsprüfungen (n = 186, aus 19 Mischwerken) der Bindemittelgehalt zwischen 3 und 5 Gew.-% liegt (Bild 3.3.). Bindemittelgehalte bis zu 7,5 Gew.-% werden hauptsächlich bei Fräsgut aus Deckschichten, insbesondere aus Gußasphalt gefunden (3).

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 Asphaltes kann es zweckmäßig sein, die Anzahl der Eigenüberwachungsprüfungen am resultierenden Mischgut zu erhöhen. Liegt der Erwei-

Bild 3.3.
Bindemittelgehalt in Asphaltgranulat (3)



chungspunkt RuK des Bindemittels aus gefrästem oder gebrochenem Asphalt über 70 °C ist im Rahmen der Eignungsprüfung die Wirksamkeit dieses Bindemittelanteiles anhand der technologischen Daten besonders zu prüfen. Hierzu ist ein Vergleich mit den technologischen Kennwerten von Mischgut, das ausschließlich aus neuen Baustoffen hergestellt wurde, durchzuführen.

Der Erweichungspunkt des aus dem resultierenden Mischgut zurückgewonnenen Bindemittels darf den Höchstwert des Erweichungspunktes RuK des für diese Mischgutart vorgesehenen Bitumens um nicht mehr als 8 °C überschreiten (47).

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 die Abrechnung festgelegt.

Für die Ausführung von Recyclingarbeiten gelten neben zusätzlichen 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 Bezugsraumdichte der Bohrkern horizontal in zwei gleich dicke Hälften getrennt, an denen jeweils die Raumdichte ermittelt wird. Mit dem Material der beiden Hälften werden die Probekörper hergestellt. Die bearbeiteten Schichten müssen einen Verdichtungsgrad von mind. 97 % aufweisen (48).

Zu Art und Umfang der Prüfungen wird lediglich vorgeschrieben, daß repräsentative Aussagen über

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

getroffen werden können (58).

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.

3.2.2 Einsatzgebiete

Die Möglichkeiten der Wiederverwendung und somit die Einsatzgebiete von Ausbauasphalt lassen sich in 3 Kategorien einteilen (47):

I. Wiederverwendung ohne Aufbereitung

Das anfallende Fräsgut und gegebenenfalls auch der Schollenaufbruch 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, wo Setzungen keine Auswirkungen haben, muß die Stückgröße des Ausbauasphaltes auf die Einbau- und Verdichtungsgeräte abgestimmt sein.

Zusätzlich kann Fräsgut und Schollenaufbruch im Oberbau von 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 wird z.Zt. auf einigen Versuchsstrecken erprobt. Die in den Vorschriften festgelegten Prüfverfahren sind zum Teil hierfür nicht aussagefähig.

Fräsgut oder Schollenaufbruch ist ohne zusätzliche Baustoffe nur schwer verdichtbar. Hierbei haben sich Einbaudicken von 10 bis 20 cm unter Verwendung von korngestuftem Material unter Einsatz von Walzen als günstig erwiesen.

Dennoch muß mit einer Nachverdichtung durch den Verkehr gerechnet werden.

Zum Einbau von gefrästem oder aufgebrochenem Asphalt eignen sich je nach Verwendungszweck auch Fertiger und Verteilergeräte.

II. Wiederverwendung mit zusätzlichen Baustoffen

Zur Zeit werden Verfahren erprobt, 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.

Es lassen sich dabei folgende Vorteile nennen:

- Die Zugabe von Wasser, Sand, Füller oder Zement kann die Verdichtbarkeit des Ausbauasphaltes verbessern.
- Die Verwendung von Bitumenemulsionen oder Lösungsmitteln fördert die Verarbeitbarkeit des Asphaltes und kann zum Verkleben beitragen.
- Die Zugabe von Zement mit Wasser und eventuell Sand kann durch die hydraulische Bindung eine Erhöhung der Standfestigkeit der Schicht bewirken.

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

Die Zugabe von bituminösem 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. Z.B. können unmittelbar befahrene Flächen 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.

III. Wiederverwendung zur Herstellung von Asphalt

Hierunter fallen die dargestellten Recycling-in-place- und Recycling-in-plant-Verfahren. Es gelten die beschriebenen Anforderungen.

4. Umweltbeeinträchtigungen

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 Lärmbelastung, die in Stadtgebieten von Baufahrzeugen und Geräten ausgeht, entstehen im Bereich der Bauwirtschaft außerdem Luftverunreinigungen, Landschaftsverbrauch und Grundwassergefährdungen.

4.1. Lärmbelastungen

Lärmbelastungen stellen bei der Bevölkerung die hauptsächliche Umweltbeeinträchtigung dar, da Lärm im Gegensatz zu z.B. Luftverunreinigungen (außer Smog) direkt empfunden wird und zu Beeinträchtigungen führt.

Im Bereich der Bauwirtschaft lassen sich zwei Lärmbereiche mit spezifischen Lärmquellen beschreiben:

- Geräuschemissionen im Bereich von Aufbereitungsanlagen zur Gewinnung, Herstellung und Verarbeitung von Baustoffen;
- Geräuschemissionen durch den Lastkraftwagenverkehr und den Betrieb der verschiedenen Baumaschinen im Einzugsbereich von Baustellen aller Art.

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.

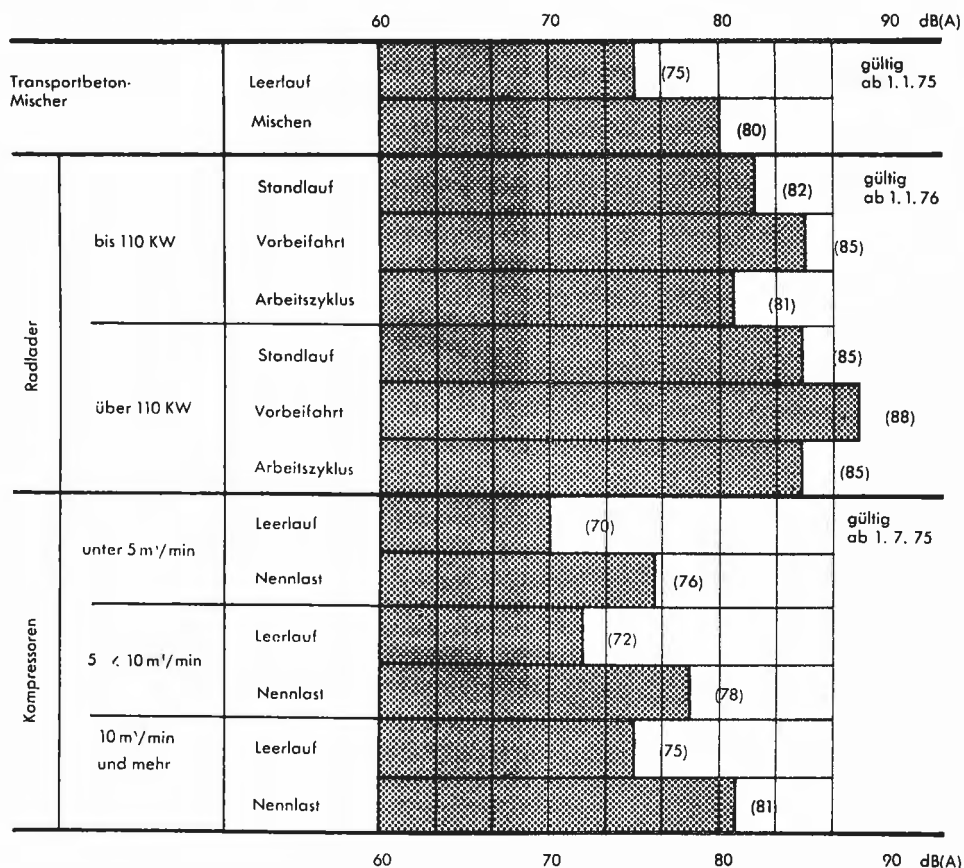
Anlagen im Sinne dieses Gesetzes sind

1. Betriebstätten 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 Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Emissionsmeßverfahren –

Bild 4.1.
Ausgewählte Emissionsrichtwerte von Baumaschinen (2)



vom 22.12.1970 ist ein für alle Maschinen geltendes Meßverfahren festgelegt worden (30). In Bild 4.1. sind einige Emissionsrichtwerte für Baumaschinen dargestellt.

Aufgrund der Emissionen muß ein Immissionschutz der benachbarten Bevölkerung und der betroffenen Arbeitnehmer vorgenommen werden.

Auf dieser Grundlage ist ein Genehmigungsverfahren nach § 10 bzw. § 19 BImSchG, in Verbindung mit der Vierten Verordnung zur Durchführung des BImSchG anzustrengen. Das Genehmigungsverfahren soll den Stand der Technik der entsprechenden Emissionsbegrenzungsmöglichkeiten gewährleisten und sicherstellen, so 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 sowohl 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.

Zur Sicherung dieser Forderung wurden in Nordrhein-Westfalen im Rahmen der Bauleitplanung Mindestabstände zwischen Wohngebieten und umweltrelevanten Anlagen angeordnet. Für die Gewinnung und Aufbereitung von Sand und Kies beträgt dieser Abstand 300 m (57).

Die Lärmeinwirkung auf die Arbeitnehmer wird durch die Regelungen der Arbeitsstättenverordnung und der Unfallverhütungsvorschrift VBG 121 begrenzt.

Zur Verdeutlichung der Lärmsituation an einer Baustoffaufbereitungsanlage wurden von 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.

Lärmschutzwälle können als Sekundärmaßnahmen weitere Eindämmungen von Immissionen erreichen.

Weitere Umweltbeeinträchtigungen treten, wie bei der Firma Hafemeister in Berlin festzustellen war, durch Erschütterungen auf.

Bei Erschütterungen treten 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 (57).

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."

Die einzelnen Immissionen lassen sich dabei unterscheiden in:

- Staub durch Bewegen, Transportieren und Lagern von lockerem Boden und losen Schüttgütern;

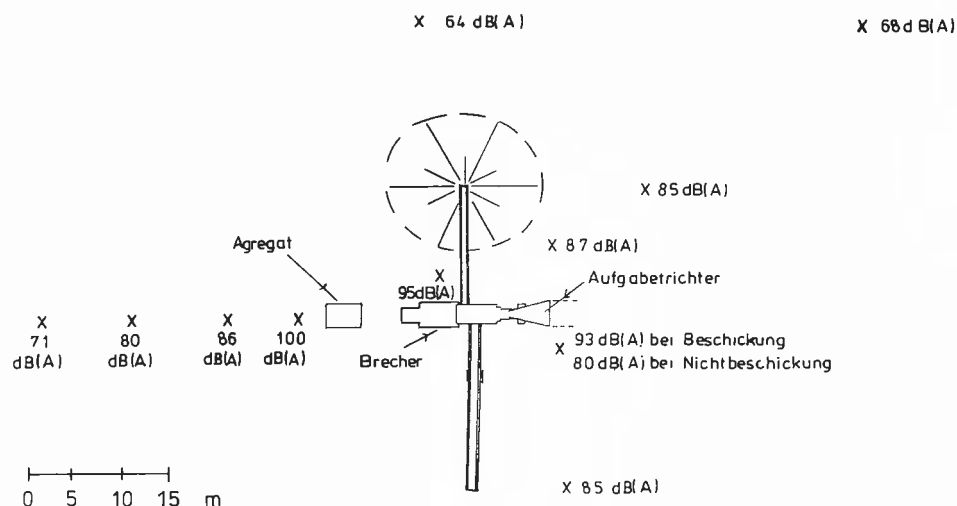


Bild 4.2.
Lärmpegel in unterschiedlichen Entfernungen von der Lärmquelle (Recyclinganlage Fa. Hebel) (23)

- Staub durch Mischanlagen, z.B. für Straßenasphalt;
- Staub durch Be- und Verarbeiten von mineralischen Baustoffen;
- Abgase aus Verbrennungsmotoren der eingesetzten Baumaschinen und Kraftfahrzeuge;
- sonstige Gase oder Dämpfe, die bei einigen besonderen Arbeitsgängen (z.B. Bitumendämpfe bei Straßenbauarbeiten) entstehen.

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 (39):

- Bei der Zerkleinerung von "Uralt"-Straßenaufbruch in einer mobilen Anlage kam es beim Bedienungspersonal nach wenigen Stunden zu einer nachhaltigen Reizung der Atemwege sowie zu allergischen Reaktionen der Haut.
- Die durch unsachgemäße Verarbeitung (z.B. lösemittelhaltige Vorspritzmittel) auf den Grenzflächen der Straßenbauschichten vorhandenen Schadstoffe können durch einen Brechvorgang auch nach Jahren wieder freigelegt werden. Hierbei können neben intensiven Gerüchen teilweise Schädigungen auftreten.

Im Hinblick auf den Schutz der betroffenen Arbeiter sind die Luftverunreinigungen daher detailliert zu untersuchen.

Da stationäre Anlagen der Bauwirtschaft gemäß der 4. Verordnung zum BImSchG als genehmigungsbedürftige Anlagen gelten, unterliegen diese den Vorschriften der TA-Luft.

Eine Staubbekämpfung an der Quelle durch Bsprühen 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 Bestimmung der Staubkonzentration (Emissions- und Immissionsmessungen) kann sowohl mit kontinuierlichen als auch diskontinuierlichen Verfahren durchgeführt werden.

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

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

Der Staubbiederschlag 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 $>10\text{ }\mu\text{m}$, langsam sedimentierend, leicht aus einem Abgasstrom entfernbar;

Feinstaub $0,5 - 10\text{ }\mu\text{m}$, langsam sedimentierend, nur mit erheblich schlechteren Wirkungsgraden oder mit größerem technischen Aufwand abscheidbar;

Feinstaub $<0,5\text{ }\mu\text{m}$, fast nicht sedimentierend.

Stäube $<10\text{ }\mu\text{m}$ werden beim Menschen nicht mehr in den oberen Nasen-Rachen-Raum sondern in der Lunge abgeschieden, d.h. diese sind lungengängig. Anhaftende Schadstoffe, wie z.B. Schwermetalle, PAH gelangen somit direkt in die Lunge (30,57).

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

Entsprechend der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft) in der Fassung vom 23. Februar 1983 werden folgende besondere Anforderungen für stationäre Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen gestellt:

- "Die staubförmigen Emissionen im Abgas der Trockentrommel dürfen $100\text{ mg}/\text{m}^3$, bezogen auf einen Volumengehalt an CO_2 von mindestens 4 % auf die Herstellung von Asphaltfeinbeton, splittreich, hergestellt aus ungewaschener Mineralmischung mit einem Massengehalt an Korngrößen bis $0,09\text{ mm}$ Durchmesser von 12 %, nicht überschreiten; nach Möglichkeit sind die Emissionen im Abgas auf $75\text{ mg}/\text{m}^3$ zu begrenzen;
- die Abgase müssen durch einen Schornstein von mindestens 12 m Höhe über Immissionsniveau abgeführt werden;
- die Feuerungsanlagen dürfen nur mit gasförmigen Brennstoffen oder Heizöl EL mit einem Massengehalt an Schwefel von höchstens 0,5 % betrieben werden;
- das Austreten von Dämpfen des Bindemittels aus Behältern, Mischern usw. vor oder während der Aufbereitung ist jedoch zu vermeiden."

Die Technologie der Anlagen und Mittel zur Verminderung der Emissionen sind in der VDI-Richtlinie 2283 vom Juli 1967 dargestellt.

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.

Beim Verbrennen von Heizöl EL mit einem Schwefelmassengehalt von 0,5 % ergibt sich z.B. eine SO_2 -Konzentration im Abgas von 0,25 bis $0,5\text{ g pro m}^3$.

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.

Nach den z.Zt. vorliegenden Erkenntnissen fallen andere gasförmige luftverunreinigende Stoffe wie

z.B. Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid bei der Beurteilung der Emissionen aus den Trommeltrocknern nicht ins Gewicht.

Bei gutem Wartungszustand sowie richtiger Anordnung und Einstellung der Feuerungsanlage erfolgt keine sichtbare Emission von Ruß und Ölbestandteilen.

Rußbildung entsteht bei Luftmangel bzw. bei Heizölüberschuß oder auch durch ungenügende Ölzerstäubung sowie bei gestörter Flammenbildung.

Emission von unverbranntem Heizöl erfolgt hauptsächlich bei zu hohem Luftüberschuß und durch Ansprühen der Brennkammerwand oder des Trokengutes, 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. Bei neueren Anlagen erfolgt die Mischerentlüftung über den Siebraum in die Staubabscheidungsanlage.

4.3. Wassergefährdung und Landschaftsverbrauch

Im Bereich der Erweiterung bestehender Lagerstätten, Erkundung neuer Vorkommen von Sand-, Schottergruben und Steinbrüchen sowie der Deponierung der Reststoffe, gehen die Maßnahmen 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 Vegetation, 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 (57):

- 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 Maschineneinsatz 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 (57):

- Gefährdung der Trinkwasserversorgung;
- Bodensetzungen und fehlender Auftrieb infolge der Entwässerung verursachen Schädigungen an benachbarten Gebäuden;
- Schädigung des Pflanzenbewuchses und Störung lokaler Ökosysteme, wie Feuchtbiootope 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 (30).

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 Schutzeinrichtungen treten häufig direkte Schäden auf (30):

- 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 Schutzeinrichtungen zu sichern (30,57).

Nach Abschluß der Abbautätigkeit muß der Eingriff in den Naturhaushalt durch entsprechende Folgemaßnahmen soweit wie möglich behoben werden. Nachstehende Folgenutzungen lassen sich aufzählen (7):

I. Folgenutzung wasserflächengebundener Art (Naßabbau):

- Landschaftspflege/Naturschutz (Artenschutzgewässer);

- Wasserwirtschaft (Nutzwassersee als Trink- und Brauchwasserspeicher);
- Fischereiwirtschaft (Berufsfischerei, Fischzucht-haltung);
- Freizeit und Erholung (Angelsee für die Hobbyfischerei, Ruder-, Bade-, Segelsee, exten-sive Erholung wie Wandern, Naturbeobach-tung);
- Besiedlung am See (ggf. industrielle/gewerbli-che Bebauung evtl. mit Brauchwassernutzung).

II. Folgenutzung landflächengebundener Art (Trok-enabbau):

- Landschaftspflege/Naturschutz (Ökologische Zellen für Flora und Fauna, geologische Erschei-nungsformen);
- Landwirtschaft;
- Forstwirtschaft;
- Besiedlung (Wohnbebauung, industrielle/ge-werbliche Bebauung);
- Freizeit und Erholung (Parkanlagen, Spiel- und Sportplätze im Siedlungsbereich, außerhalb des Siedlungsbereichs extensive Erholung wie Wan-dern, ökologischer Lehrpfad).

Umstritten ist dagegen die Nutzung des Geländes als Freizeitanlage, da dadurch eine weitere intensi-ve Inanspruchnahme erfolgt. Demzufolge wäre es erforderlich, eine Wiederherstellung eines dem ur-sprünglichen Landschaftsbild angenäherten Zu-stands anzustreben oder durch die Anlage von Seen neue Biotope zu schaffen (71,73).

Neben dem Landschaftsverbrauch beim Abbau von mineralischen Rohstoffen kommt es zu weiteren Belastungen wie Lärmbelästigungen und Luftverun-reinigungen.

Weitere Umweltbeeinträchtigungen sind direkt von dem aufbereiteten Material zu erwarten, da bei erneutem Gebrauch für Baumaßnahmen Schad-stoffe ausgelaugt werden können. Entsprechende Untersuchungen sind an der Universität Essen, Fachbereich Siedlungswasserwirtschaft, durchge-führt worden (10).

Hierbei ist Füllsand aus der ersten trockenen Sand-absiebung und Bauschutt-schotter mit der Korngrö-

Tabelle 4.1.
Konzentration des Eluats bei verschiedenen Aus-langsversuchen nach der S4-Methode (10)

		dest. H ₂ O	Trink- wasser	CO ₂ -gesätt. dest. H ₂ O	0,1 n HCl	0,1 n NaOH
Lö- sungs- wasser	pH-Wert	5,97	7,30	4,10/5,05	1,21	13,10
	Leitfähig. 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 2 11,47	10,20 11,34	7,47 7,48	6,22 3,21	13,09 13,13
	Leitfähig. ms/m	1 67,68 2 72,60	102,0 85,08	136,0 56,80	1010 1020	1950 2090
	Ca ²⁺ mg/l	1 101,8 2 49,7	163,3 106,4	219,2 72,4	2024,0 1647,2	6,0 5,2
	Mg ²⁺ mg/l	1 1,4 2 0	1,0 1,0	11,0 2,7	77,9 56,5	0 2,4
	Cl ⁻ mg/l	1 9,2 2 7,8	75,6 56,6	8,15 9,93	3532 3518	63,3 5,9
	SO ₄ ²⁻ mg/l	1 205,6 2 13,8	296,9 87,4	359,0 47,1	386,8 141,1	203,5 39,2

1 Füllsand

2 Schotter 0-45 mm

Tabelle 4.2.

Zulässige Analysenwerte, die in Trinkwasser-schutzzonen nicht überschritten werden sollten nach unterschiedlichen Angaben (10)

	Einheit	Merkel	EG-Richt- linie (1)	DVGW Arbeitsblatt W 151
1	2	3	4	5
1	pH-Wert	-	5.5-12	6.5-8.5
2	Leitfähigkeit	mS/m	250	-
3	Sulfat	mg/l	250	150

(1) EG-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch

ße 0/45 mm nach einer Naßaufbereitung mittels Aquamatoren untersucht worden. Als Untersu-chungsmethode diente die DEV S 4-Methode sowie Lysimeterversuche.

Die Tabelle 4.1. zeigt die Ergebnisse der Auslang-versuche nach der S 4-Methode mit unterschiedli-chen Lösungsmitteln.

Die Qualität des Eluats aus Füllsand und Schotter kann mit den in Tabelle 4.2. angegebenen Anhalts-werten für Trinkwasserqualitäten verglichen wer-den. Diese Werte können bei Verwendung des Bau-materials als wasserwirtschaftliche Grenzwerte in Trinkwasserschutzzonen angesehen werden.

Der pH-Wert der Eluate sowohl für den Füllsand als auch für den Schotter überschreitet die Anforderun-gen zum Teil erheblich. Teilweise liegen auch die Werte für die Leitfähigkeit und den Sulfatgehalt über den Richtwerten. Aufgrund dieser Ergebnisse ist ein Einsatz von aufbereitetem Bauschutt in Trinkwasserschutzzonen zweifelhaft. Außerhalb entsprechender Zonen erscheint die Verwendung des Materials als Erd- und Straßenbaumasse unbe-denklisch.

Bei früheren Untersuchungen wurde der Füllsand auf eluierbare Schwermetallgehalte untersucht. Die Konzentrationen waren jedoch sehr niedrig oder lagen unter der Nachweisgrenze, so daß von aus-gelaugten Schwermetallen keine Schädigung zu erwarten ist. Untersuchungen auf auslaugbare Bestandteile im Füllmaterial (Korngröße 0/11 mm) aus aufbereitetem Bauschutt von der Recyclingan-lage Hebel führten zu folgenden Resultaten (23):

Das aufbereitete Material wurde entsprechend dem "Merkblatt für die Beurteilung der Korrosionsge-fährdung von Eisen und Stahl im Erdboden" von einem unabhängigen Materialprüfinstitut unter-sucht.

In Tabelle 4.3. sind die Ergebnisse mit den entspre-chenenden Bewertungszahlen aufgeführt.

Das Materialprüfinstitut kommt dabei zu folgender Bewertung (23): "Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen an dem zum Zeitpunkt der Ent-nahme vorliegendem 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 4.3.
Untersuchungsergebnisse und Bewertung für Füllmaterial aus aufbereitetem Bauschutt der Recyclinganlage der Fa. Hebel (64)

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	Gew.-%	3,0	20,0	0
3 pH-Wert		11,1	6,0	0
4 Gesamtacidität		entfällt		
5 Redoxpotential		belüftet		0
6 Calcium- und Magnesiumcarbonat	Gew.-%	41,8	5	+2
7 Sulfide		nicht vorhanden	-	0
8 Kohle- und Koksanteile		nicht vorhanden	-	0
9 Chlorid	mg/kg	21,0	100	0
10 Sulfat	mg/kg	1260	1000	-3
11 Summe der Bewertungszahlen				0

Dabei wird jedoch beachtet werden müssen, daß das untersuchte Material Sulfationen über 200 mg pro 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 (39):

- Gesamtphenole 52,9 mg/g
- PAH (gesamt) 6.600 ng/g
- Benzo-a-pyren 800 ng/g

Wie ersichtlich ist, liegt sowohl der PAH-Wert als auch der Phenolgehalt deutlich über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung, wonach 250 ng/l für die Summe der PAH's zulässig sind. Das untersuchte Material stellt Abfall im Sinne des Abfallbeseitigungsgesetzes dar und muß entsprechend geordnet beseitigt werden.

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.

4.3.2 Deponierung der Restmassen

Bei einer jährlich zu deponierenden Menge von 71 Mio Mg an Bauschutt, Straßenaufbruch und Erd-aushub ergeben sich auch bei deren Beseitigung Umweltbeeinträchtigungen.

Nach §1 – Begriffsbestimmungen des Abfallbeseitigungsgesetzes (AbfG) – sind

"Abfälle im Sinne des Gesetzes ... bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will ..."

"Die Abfallbeseitigung im Sinne des Gesetzes umfaßt das Einsammeln, Befördern, Behandeln, Lagern und Ablagern der Abfälle."

Entsprechend der Klassifizierung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall werden Baurestmassen als Inertabfälle bezeichnet, deren Inhaltsstoffe kein oder nur ein geringes Reaktionsvermögen gegenüber umweltrelevanten Medien ausüben. Dabei sollten keine löslichen Inhaltsstoffe enthalten sein, so daß die Materialien auf Deponien bzw. Anlagen ohne Anforderungen abgelagert werden können.

Bauschuttdeponien werden derzeit noch ohne Untergrundabdichtungen zugelassen. Das bedeutet, daß die anfallenden Sickerwässer den Deponiegrund durchdringen können.

Bisher werden in einer Auflistung über Klassifizierungsmerkmale von Einrichtungen zur Ablagerung von Abfällen aufgrund wasserwirtschaftlicher Kriterien für Bauschuttdeponien bzw. Monodeponien für Inertabfälle (Deponieklasse 2) ein schlecht durchlässiger Untergrund mit überwiegendem Abfluß oder Ableitung der Sickerwässer in ein Oberflächengewässer gefordert. Befindet sich die Deponie in einem Gebiet mit nicht nutzbaren oder unbedeutenden Grundwasservorkommen für die öffentliche Wasserversorgung, so kann es sich sogar um einen durchlässigen Untergrund handeln.

Für den Begriff "schlecht durchlässig" wird ein K_f-Wert (Gebirgsdurchlässigkeitsbeiwert) von kleiner 10⁻⁷ m/s angenommen. Die Dichtigkeit kann im natürlichen Zustand vorliegen oder nach einer entsprechenden Behandlung z.B. durch Verdichtung erreicht werden (42).

In der Klassifikation wird neben der Deponierung des Bauschutts auch die Rekultivierung von Ausgrabungen und die Auffüllung von Bodenvertiefungen durch Verfüllen mit Böden mineralischen Ursprungs erwähnt (42).

Für diese Deponieklasse 1 werden folgende wasserwirtschaftliche Merkmale genannt:

- durchlässiger Untergrund mit für die Trinkwassergewinnung nutzbarem Grundwasservorkommen;
- im Einflußbereich von Oberflächengewässern (Überschwemmungsgebiet);
- Abgrabungen im Grundwasserbereich.

Für die Deponieklassen 1 und 2 führt Merkel im einzelnen aus (42) :

Deponieklasse 1

- Zugelassene Abfallarten

Im wesentlichen nicht nachteilig veränderte mineralische Stoffe (z.B. Steine, Erden, gesinterte Aschen), die auch nachträglich keinen schädlichen Einfluß auf die Umgebung ausüben können.

- Grenzwerte

Das Eluat des Abfalles sollte einem Wasser entsprechen, das nach herkömmlichen Aufbereitungsverfahren als Trinkwasser verwendet werden kann. Für die Beurteilung werden die in der EG-Richtlinie über die Qualitätsanforderungen an Oberflächen-

wasser für Trinkwasseraufbereitung von 16.6.1975 und im DVGW- Arbeitsblatt W 151 angeführten Grenzwerte empfohlen. Sofern in den beiden Unterlagen für die einzelnen Parameter unterschiedliche Angaben bezüglich der Konzentrationen vorgegeben sind, wurde in der vorliegenden Aufstellung der jeweils höhere Wert berücksichtigt.

Für eine Reihe von Abfällen aus dem Bereich der Steine und Erden reicht es aus, nur wenige Summenparameter für die Beurteilung anzuwenden. Folgende Untersuchungen und Grenzwerte werden vorgeschlagen (42):

pH-Wert 5,5–9,5
Leitfähigkeit 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Geruch ohne
Aussehen farblos
CSB < 20 mg O_2/l
Fischtest negativ bei Anwendung des verdünnten Eluates (Verdünnung 1:10)

Bei einer Überschreitung dieser Grenzwerte sind Untersuchungen nach den bereits erwähnten Anforderungen der EG-Richtlinie in Verbindung mit dem Richtlinien-Entwurf der Landesanstalt für Wasser und Abfall 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.

– Grenzwerte

Die Konzentrationen der Inhaltsstoffe in den Eluates sollen die Grenzwerte nicht überschreiten, die bei einer Einleitung von Abwasser in ein Gewässer gestellt werden. Entsprechende Richtwerte sind aus den Ergebnissen der Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Festlegung von Einleiterbedingungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz §7 ermittelt werden, abzuleiten.

Zur wasserwirtschaftlichen Beurteilung über die Auswirkungen bei der Ablagerung der in Frage kommenden Abfälle kann es ausreichen, lediglich aus dem Herkunftsbereich Rückschlüsse auf Inhaltsstoffe zu ziehen (s. auch Richtlinienentwurf "Untersuchung und Beurteilung von Abfällen"), um die Zulässigkeit einer Ablagerung zu befinden.

So wären z.B. folgende Abfallarten 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.

Werden Abfälle mit komplexerer Zusammensetzung oder unbekannter Herkunft angeliefert, ist es sinnvoll, nach den Hinweisen des Richtlinienentwurfes "Untersuchung und Beurteilung von Abfällen" gemäß E 2 und E 3 zu untersuchen.

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.

In der Tabelle 4.4. ist eine Gegenüberstellung der Grenzwerte der Eluate von Abfällen aus Abfalldeponien der Deponieklassen 1 und 2 sowie ein Richtlinienentwurf "Untersuchung und Beurteilung von Abfällen", Teil 2, Stand Dezember 1984 für Eluate von Abfällen aus Bauschuttdeponien dargestellt.

Für die Substanzen Mangan, Beryllium, Vanadium, Silber, Selen, Phosphat, Gesamtkohlenwasserstoffe und für die Summenparameter chemischer Sauerstoff-Bedarf (CSB) und der Leitfähigkeit zeigt der Richtlinienentwurf um bis zu 25fach (für Be) höhere Grenzwerte gegenüber der Deponieklasse 2. Für die anderen Substanzen stimmen die Grenzwerte der Deponieklasse 2 und des Richtlinienentwurfes überein.

Diese Richtlinien setzen umfassende Kenntnisse und entsprechende Untersuchungen über die physikalischen, chemischen und biochemischen Eigenschaften der Baurestmassen voraus.

Entsprechend der Klassifizierung von Deponien nach wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten und der Zuordnung der Reststoffe an Bauschutt und Asphalt mit bestimmten Inhaltsstoffen differenziert nach Art und Konzentration, ergibt die Möglichkeit bei der Beurteilung der Abfälle bezüglich einer schadlosen Deponierung einheitlich vorzugehen (42).

In der Praxis werden die angelieferten Baureststoffe ohne Untersuchung höchstens durch optische Begutachtung bei der Annahme abgelagert. Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung können jederzeit schädliche Bestandteile auf die Deponie gelangen und durch eindringendes Regenwasser in das Grundwasser gespült werden.

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 4.5. in der prozentualen 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 etc. auf den Bauschuttdeponien angeliefert und abgelagert.

In den Tabellen 4.6. und 4.7. 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 Beschreibung der Wirklichkeit darstellt, da einer Probemenge von 10 kg eine halbjährliche Niederschlagsmenge an Regenwasser aufgegeben wird. Das Feststoff/Wasser Verhältnis beträgt 5:1, d.h. verglichen mit der S4-Methode

	Substanz	Einheit	Deponie- klasse 1 Eluat	Deponie- klasse 2 Eluat	Richt- linien- entwurf
	1	2	3	4	5
1	pH-Wert	-	5,5-9,5	5,5-10,0	5,5-12,0
2	Polycycli- sche Aromat- en (PAK)	mg/l	0,003(1)	0,003(1)	0,003
3	Phenole	mg/l	0,1(2)	0,1(2)	0,1
4	Kohlenwas- serstoffe	mg/l	0,05(3)	0,05(3)	1,0
5	Cyanide ges.	mg/l	0,05(1)	0,5(4)	0,5
6	Cyanide leicht freisetzbar	mg/l	0,01	0,1(4)	0,1
7	Chrom ges.	mg/l	0,05(1)	1,0(4)	1,0
8	Chrom-VI	mg/l	0,01(3)	0,1(3)	0,1
9	Ges.extrahier- bares org.Chlor	mg/l	0,005(4)	0,1(1)	-
10	Eisen(gelöst)	mg/l	1,0(1)	2,0(3)	2,0
11	Mangan	mg/l	0,5(1)	0,5(1)	1,0
12	Kupfer	mg/l	1,0(2)	1,0(2)	1,0
13	Zink	mg/l	5,0(2)	5,0(2)	5,0
14	Bor	mg/l	1,0(1)	1,0(1)	1,0
15	Beryllium	mg/l	0,0002(1)	0,0002(1)	0,005
16	Kobalt	mg/l	0,05(1)	0,5(3)	0,5
17	Nickel	mg/l	0,05(1)	0,5(5)	0,5
18	Vanadium	mg/l	0,05(1)	0,05(1)	0,2
19	Arsen	mg/l	0,1(2)	0,1(2)	0,1
20	Silber	mg/l	0,01(3)	0,01(3)	0,1
21	Thallium	mg/l	0,01(4)	0,1(4)	0,1
22	Blei	mg/l	0,05(1)	0,5(3)	0,5
23	Selen	mg/l	0,01(2)	0,01(2)	0,05
24	Quecksilber	mg/l	0,001(1)	0,005(4)	0,005
25	Barium	mg/l	0,5(3)	1,0(4)	1,0
26	Zinn	mg/l	0,5(3)	0,5(3)	0,5
27	Cadmium	mg/l	0,005(1)	0,05(4)	0,05
28	Fluor	mg/l	1,7(2)	5(4)	5,0
29	Antimon	mg/l	0,1(4)	0,1(4)	0,1
30	Leitfähigkeit	µS/cm	1000(4)	1000(4)	3000
31	CSB	mgO ₂ /l	20(4)	20(4)	50
32	Fischtest	-	negativ	Eluat un- verdünnt negativ(4)	Eluat un- verdünnt negativ
33	Ammonium	mg/l	2(4)	5(4)	5,0
34	Nitrat	mg/l	50(2)	100(4)	100
35	Nitrit	mg/l	1(3)	1(3)	1,0
36	Sulfat	mg/l	150(2)	-	500
37	Chlorid	mg/l	200(2)	-	350
38	Phosphat	mg/l	0,7(2)	10(4)	15

Tabelle 4.4.
Richtlinienentwurf für
Eluate von Abfällen
aus Deponien für Bau-
schutt im Vergleich zu
den Eluaten der Depo-
nieklasse 1 und 2 (42)

Anmerkungen zur Tabelle 4.4.

(1) DVGW-Arbeitsblatt W 151
Eignung von Oberflächenwasser als Rohstoff für
die Trinkwasserversorgung

(2) Richtlinie des Rates v. 16.6.1975 über "Quali-
tätsanforderungen an Oberflächenwasser für die
Trinkwassergewinnung in Mitgliedstaaten"

(3) ATV-Regelwerk - Abwasser, Arbeitsblatt A
115
Dezember 1970 "Hinweise für das Einleiten von
Abwasser aus gewerblichen und industriellen Be-
trieben in eine öffentliche Abwasseranlage"

(4) Schweizerische Grenzwerte für die Konzentra-
tion von Abwasserinhaltsstoffen bei der Einleitung
an den Vorfluter

(5) Festlegung nach Erfahrungsgrundsätzen

Tabelle 4.5.
Verteilung der Baurestmassen bei einer Untersu-
chung von sechs Bauschuttdeponien des Landes
Nordrhein-Westfalen (4)

Baurestmassen		Einheit	Menge
1		2	3
1	Bodenaushub	Gew.-%	45
2	Bauschutt	Gew.-%	38
3	Straßenaufbruch	Gew.-%	15
4	Sonstige Abfälle	Gew.-%	2

Tabelle 4.6.
Ergebnisse der Eluatuntersuchungen
nach DEV-S4 (29)

Abfallarten	pH	elektr. Leitf. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Abdampfrest. (mg/l)	Glührückst. (mg/l)	Gesamthärte ($^\circ\text{dH}$)	Chlorid (mg/l)	Sulfat (mg/l)	CSB ($\text{O}_2 \text{ mg}/\text{l}$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Bauschutt	min.	7,0	105	72	44	0,3	1	< 10
	max.	11,8	2600	2480	2370	90,6	71	38
	Mittel	9,1	706	724	683	22,7	17	12
2 Bodenaushub	min.	6,8	60	64	64	1,1	3	< 10
	max.	11,4	550	946	880	29,0	42	22
	Mittel	8,3	194	212	194	6,0	13	< 10
3 Straßenaufbruch	min.	6,8	60	112	94	1,7	6	< 10
	max.	11,6	1100	360	340	15,6	18	18
	Mittel	9,3	333	212	195	6,9	12	< 10
4 Sonstige Abfälle	min.	7,2	25	76	56	0,1	8	< 10
	max.	10,7	21000	14180	12180	19,2	184	1100

wird bei den IWL-Verfahren eine 50mal geringere Wassermenge aufgebracht (29).

Das Sickerwasser aus Bauschuttdeponien ist, wie die Tabellen 4.5. und 4.6. zeigen, geringer belastet als die Eluate aus Hausmülldeponien, trotzdem kann es auf Grund fehlender Basisabdichtungen zu Belastungen des Grund- und Oberflächenwassers kommen.

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 (41).

Tabelle 4.7.
Ergebnisse von Auslaugungsuntersuchungen an Bauschutt nach unterschiedlichen Untersuchungsmethoden im Vergleich zu Sickerwasser aus Hausmülldeponien (29)

Parameter	pH	elektr. Leitf. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Gesamthärte ($^\circ\text{dH}$)	Abdampfdruckstand		Chlorid		Sulfat	
				ein Eluat (mg/l)	bez. auf die Abfallmenge (mg/kg)	ein Eluat (mg/l)	bez. auf die Abfallmenge (mg/kg)	ein Eluat (mg/l)	bez. auf die Abfallmenge (mg/kg)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 IWL - Methode									
	1. Stufe	8,6	3400	83,6	2750	468	220	37	-
	2. Stufe	8,2	2100	48,0	1500	300	99	20	-
2 S4 - Methode	9,2	250	10,9	420	4200	80	800	95	950
3 IWL - 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

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. Um unnötige Umweltbeeinträchtigungen von Bauschuttdeponien zu vermeiden, sollte bei der Genehmigung ein Betriebs- und Rekultivierungsplan vorgeschrieben werden, der die folgenden Punkte enthalten sollte (4):

- Eingangs- und Abkippkontrolle durch das Depo-
niepersonal;
- Betriebstagebuch über Anfuhrmengen, Herkunft
und Abfallarten;
- Einbau nach erdbautechnischen Gesichtspunk-
ten;
- Einsatz von Planiergeräten zum Einbau und zur
Verdichtung;
- Laufende Rekultivierung der Deponie;
- Erfassung und Ableitung des Oberflächenwas-
sers nach Abschluß der Einbauzeit;
- Schutz gegen wilde Ablagerungen durch Umzäu-
nung, Tor und entsprechende Bewachung;

- Konsequente Eingangskontrolle mit Zurückweis-
ungsrecht, bzw. einer Einsammlung nicht zuge-
lassener Abfälle.

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 sie mit dem Planiergerät in kürzester Zeit abgedeckt werden können. Eine Auflage, nicht zugelassene Abfälle nach dem Abkippen wieder einzusammeln und ordnungsgemäß abzufahren, kann normalerweise nicht eingehalten werden. So sollten auch für Bauschuttdeponien Grundwassermeßstellen vorgesehen werden, damit eine etwaige Grundwassergefährdung frühzeitig erkannt werden kann (29). 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 Sickerwässer 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. durch den Landschaftsverbrauch durch kommunale Behörden und Bürgerinitiativen verstärkt Einspruch erhoben.

Welche Bedeutung der ordnungsgemäße Betrieb von Bauschuttdeponien hat, zeigt ein Urteil des schleswig-holsteinischen Verwaltungsgerichtes vom 06.12.1984 -2A236/83. Mit diesem Urteil wird nur der Erdaushub für die Wiederauffüllung einer Sand- und Kiesgrube genehmigt, während Bauschutt und Straßenaufbruch als Abfall im Sinne des Abfallbeseitigungsgesetzes angesehen wird und aufgrund der Gefährdung des Grundwassers nicht abgelagert werden darf.

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Wirtschaftlichkeit einer Aufbereitungsanlage wird durch verschiedene Faktoren wie z.B. die Anlagengröße, die lokalen Bedingungen wie Standort, Personalkosten, Deponiegebühren, Anzahl der Bauvorhaben und den Durchsatz an Recyclingmaterial beeinflusst. Im folgenden werden exemplarisch die wirtschaftlichen Daten verschiedener Bauschutt- und Asphaltrecyclinganlagen vorgestellt.

5.1. Bauschuttrecycling

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat Hebel (23) die Beziehung zwischen dem Anlagenkapitalbedarf, der installierten Leistung und dem Durchsatz analytisch untersucht. In Abbildung 5.1. ist der Anlagenkapitalbedarf für mobile und semimobile Bauschuttrecyclinganlagen im Richtpreisdiagramm dargestellt. Diese in der Projektierungspraxis übliche analytische Darstellung geht davon aus, daß die ermittelten Daten normalverteilt sind und sich in einer doppellogarithmischen Darstellung als Gerade abbilden lassen. Für die berechnete Regressionskurve von mobilen Anlagen ergibt sich die Gleichung:

$$y = 310.500 \cdot x^{0,148}$$

Für semimobile Anlagen läßt sich die folgende Gleichung bestimmen:

$$y = 92.400 \cdot x^{0,380}$$

In der Praxis der Vorkalkulation des Anlagenkapitalbedarfs hat sich auch die Berechnung in Abhängigkeit zur installierten Motorleistung bewährt.

Wie aus Abbildung 5.2. erkennbar, bestehen akzeptable Übereinstimmungen zwischen den ermittelten Werten und der installierten Leistung der Bauschuttrecyclinganlage.

Für die berechnete Regressionskurve von mobilen Anlagen ergibt sich die Gleichung

$$y = 196.600 \cdot x^{0,225}$$

Bild 5.1.
Richtpreisdiagramm für den Anlagenkapitalbedarf von mobilen und semimobilen Baustoffaufbereitungsanlagen in Abhängigkeit zum Durchsatz pro h (Preisbasis 1985) (23)

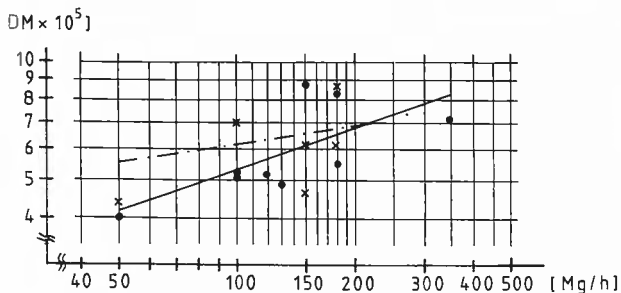
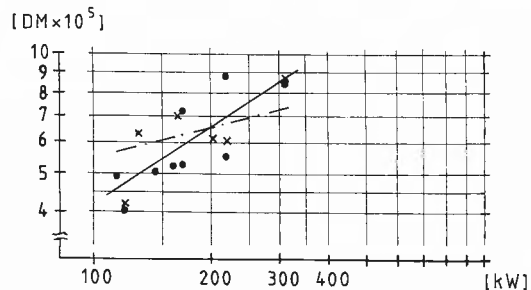


Bild 5.2.
Richtpreisdiagramm für den Anlagenkapitalbedarf von mobilen und semimobilen Bauschuttaufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der installierten Leistung (Preisbasis 1985) (23)



Für die Berechnung von semimobilen Anlagen läßt sich die folgende Gleichung verwenden:

$$y = 17.000 \cdot x^{0,690}$$

Wie aus den beiden graphischen Darstellungen 5.1. und 5.2. deutlich wird, bestehen die vermuteten mathematischen Beziehungen zwischen dem erforderlichen Anlagenkapitalbedarf und dem Durchsatz an Recyclingmaterial in Mg/h bzw. der installierten Leistung in kW.

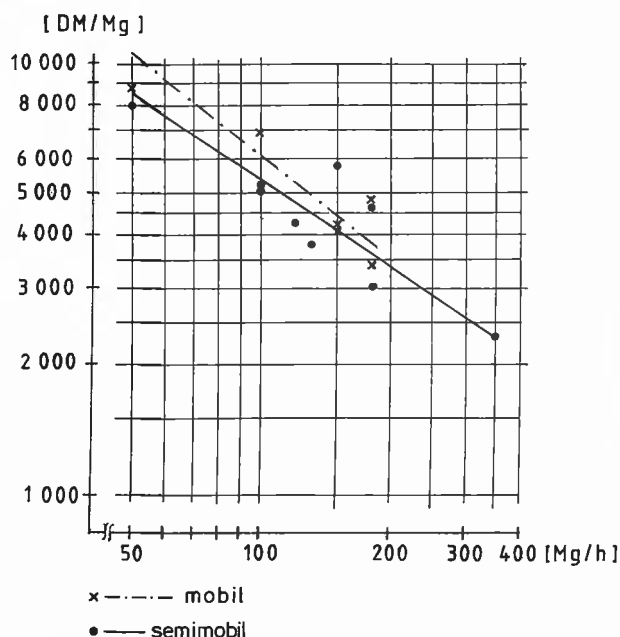
Aus beiden Diagrammen ist zu ersehen, daß der Kapitalbedarf für den Bau von mobilen Einheiten bis zu einem Schnittpunkt über dem von semimobilen Aufbereitungsanlagen liegt. Der höhere Kapitalbedarf für mobile Einheiten läßt sich aufgrund der notwendigen Fahrgestelle und den daraus folgenden Mehraufwendungen für spezielle Konstruktionsveränderungen erklären. Eine Anpassung der Stahlbaumaßnahmen an die Straßenverkehrszulassungsordnung (STVZO) macht diese für mobile Anlagen zusätzlich besonders aufwendig. Im Anlagenkapitalbedarf von semimobilen Anlagen sind ca. 15 – 20 % bezogen auf die Aggregatkosten für Stahlkonstruktionen anzusetzen, während die Ausführungen in mobiler Bauweise einen höheren Anteil von ca. 25 – 35 % im Kapitalbedarf aufweisen.

Der Anlagenkapitalbedarf steigt sowohl mit der installierten Leistung als auch mit zunehmendem Durchsatz an, wobei sich in Abbildung 5.2. der Schnittpunkt der beiden Kurven deutlicher zeigt. Oberhalb einer gewissen installierten Leistung und einem Durchsatz von 200 Mg/h kann die Investition für eine mobile Anlage günstiger als für eine semimobile Recyclinganlage sein.

In Abbildung 5.3. wird der spezifische Anlagenkapitalbedarf für die mobile und semimobile Recyclinganlage graphisch in Abhängigkeit vom Durchsatz pro Stunde dargestellt. Der spezifische Kapitalbedarf pro aufbereitetes Mg Bauschutt, Erdaushub und Straßenaufbruch sinkt mit steigender Anlagengröße. Die analytischen Werte für die Regressionsgeraden ergeben für die mobilen Aufbereitungsanlagen die Gleichung:

$$y = 224.200 \cdot x^{-0,784}$$

Bild 5.3.
Richtpreisdigramm für den spezifischen Anlagenkapitalbedarf von mobilen und semimobilen Aufbereitungsanlagen von Bauschutt in Abhängigkeit des Durchsatzes pro Stunde; (Preisbasis 1985) (23)



Für semimobilen Anlagen ergibt sich folgende Gleichung:

$$y = 117.700 \cdot x^{-0.669}$$

Obwohl die Bindung des Kapitalbedarfs bei mobilen Aufbereitungsanlagen pro Mg Durchsatz höher und damit ungünstiger ist als bei semimobilen und stationären Verfahren, zeigt die Praxis, daß sich nur wenige Standorte in den bundesrepublikanischen Ballungszentren anbieten, an denen stationäre Anlagen mit Durchsätzen von 200 – 450 Mg/h wirtschaftlich betrieben werden können. Der Betrieb von mobilen und semimobilen Anlagen kann daher

Tabelle 5.1.
Strukturelle Aufschlüsselung der Kosten von verschiedenen Aufbereitungsanlagen für Bauschutt nach (23)

Kostenart	Anlagentyp		
	mobil 90 Mg/h	semimobil 100 Mg/h	stationär 350 Mg/h
1	2	3	4
1 Kapitalkosten %	29,8	41,3	41,8
2 Personalkosten %	38,2	22,6	24,8
3 Betriebsstoffe %	6,9		3,9
4 Schmierstoffe, Sonst.%	5,2	7,4	3,8
5 Reparatur + Wartung %	10,4	14,0	11,3
6 Verschleißkosten %	9,5	14,7	15,4
7 Summe %	100,0	100,0	100,0
8 Kapitalbedarf Mio DM	1,33	1,56	4,32

durchaus wirtschaftlich durchgeführt werden, wenn Bauschutt dezentral und in geringen Mengen aufbereitet werden muß. Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit sind jedoch die Betriebskosten der verschiedenen Anlagenvarianten am jeweiligen Standort zu untersuchen.

In Tabelle 5.1. sind die Betriebskosten für eine stationäre, semimobile und mobile Bauschuttrecyclinganlage strukturell aufgezeigt.

Wie Tabelle 5.1. darstellt, weichen vor allem die Personal- und Kapitalkosten der mobilen Anlagen von denen der anderen Verfahren stark ab. Dies weist auf den verstärkten Einsatz von Personal bezogen auf die Gesamtkosten bei mobilen Einheiten hin.

Aus den Ergebnissen der Tabelle 5.1 kann abgeleitet werden, daß mit steigenden Durchsätzen und Anlagengrößen die spezifischen Kosten je Mg aufzubereitendes Material fallen. Die Frage nach der absoluten Wirtschaftlichkeit läßt sich für alle Verfahren positiv beantworten, wenn die Unsicherheiten bei der Abschätzung der Erlöse nur geringe Abweichungen von den tatsächlichen Marktverhältnissen zeigen. Weiterhin müssen hierbei die fehlenden Kosten wie Raum-, Lager- und Vertriebskosten mit ins Kalkül eingezogen werden.

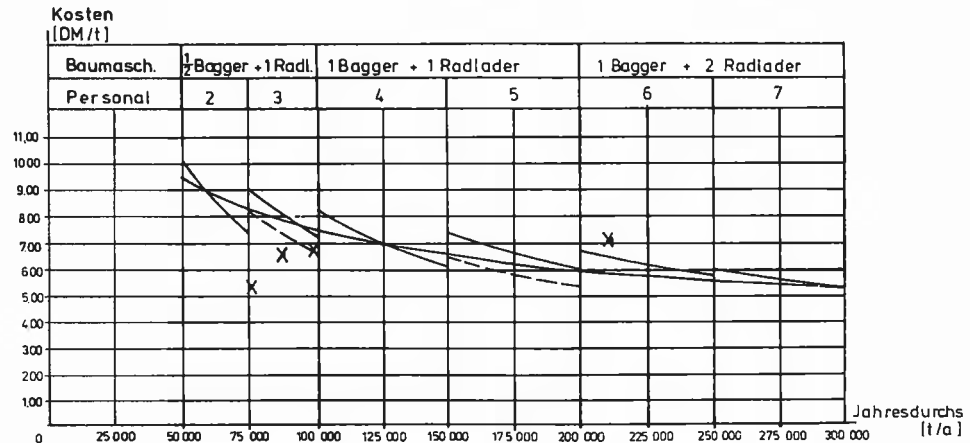
Insgesamt läßt sich für die hier von Hebel (23) untersuchten Anlagen feststellen, daß die Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch wirtschaftlich durchführbar ist. Die Überschüsse schwanken bei den zitierten Anlagentypen zwischen 0,27 DM/Mg und 2,03 DM/Mg Einsatzmaterial. Hierbei sind etwaige Einsparungen von Deponiegebühren nicht berücksichtigt.

Die dargestellten Ergebnisse passen nur bedingt zu den Untersuchungen von Gallenkemper (17) über die Wirtschaftlichkeit von Aufbereitungsanlagen. In der Abbildung 5.4. hat Gallenkemper die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von bestimmten vorgegebenen Einflußfaktoren (lokale Gegebenheiten, Preise für Primärrohstoffe, Deponiegebühren, Transportkosten etc.) für die Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch untersucht. Die Anlagen bestanden wie in den von Hebel vorgelegten Berechnungen ebenfalls aus den Verfahrenskomponenten Aufgabevorrichtung, Vorabsiebung, Prallmühle, Magnetscheidung und Nachsiebung.

In Abbildung 5.4. sind die Ergebnisse von Gallenkemper unter Berücksichtigung der Untersuchungen von Hebel graphisch dargestellt. Es wird deutlich, daß die Aufbereitungskosten nach Gallenkemper mit steigenden Jahresdurchsätzen sinken, während die empirisch ermittelten Angaben von Hebel zeigen, daß weitere Einflußgrößen bei dem Vergleich berücksichtigt werden müssen. So ist die tatsächliche Ausbringungsmenge zur installierten Anlagenleistung, das Einsatzmaterial und eine Reihe von standortspezifischen Gegebenheiten für die Wirtschaftlichkeit einer Gesamtanlage von wesentlicher Bedeutung.

Hebel (23) hat für eine mobile Betriebsanlage die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit vom Durchsatz untersucht. Die Anlage ist für 150 Mg/h ausgelegt und variiert sowohl im spezifischen Durchsatz als auch in der Jahresarbeitszeit. Die Abbildung 5.5. ist aus den ermittelten Untersuchungsdaten erstellt und zeigt die Gesamtkostenfunktion und den

Bild 5.4.
Spezifische Gesamtkosten für die Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch nach Gallenkemper (17) mit Berücksichtigung der Ergebnisse der Untersuchung von Hebel (23).



Durchschnittsertrag. Die Produktionsfaktoren sind während des Betriebes limitational.

Die variablen Kosten verhalten sich bei Steigerung der zu verarbeitenden Baurestmassen und bei sonst gleichbleibenden Produktionsbedingungen proportional, d.h. die Gesamtkostenfunktion verläuft bis zur technischen Kapazitätsgrenze linear und folgt damit der allgemeinen Gleichung:

$$K = k_v \cdot x + K_f$$

Die Durchschnittsertragskurve ist in dieser Abbildung als Gerade in DM/Mg dargestellt. Aus Gründen der Anschaulichkeit wird hier auf mögliche Veränderungen der Marktpreise für das Recyclingprodukt verzichtet. An der Schnittstelle der Durchschnittsertragskurve mit der Durchschnittskostenkurve (break-even-point) wird bei Fällung der Senkrechten vom Schnittpunkt auf die Abzisse, der wirtschaftlich notwendige Mindestdurchsatz eines Jahres, in diesem Fall bei ca. 40.000 Mg/a für die untersuchte Recyclinganlage, angegeben. Die Schnittstelle des Durchschnittsertrags mit den fixen Durchschnittskosten gibt die jährlich zu verarbeitende Bauschuttmenge wieder, die notwendig ist, um den Fixkostenblock der Recyclinganlage zu decken. Dieser Punkt dokumentiert dem Unternehmer auch den Mindestdurchsatz, der kurzfristig eingehalten werden kann, jedoch nicht unterschritten werden darf, ohne die Firmensubstanz zu gefährden. In vorliegendem Anwendungsfall liegt der Mindestdurchsatz für ein Jahr bei ca. 33.000 Mg.

5.2. Asphaltrecycling

Die Kosten für die Aufbereitung des Ausbaus asphalt werden nachfolgend nicht weiter betrachtet, da Asphalttschollen, wie Bauschutt, in den gleichen Anlagen zerkleinert werden können (siehe Kap. 5.1.). Unterschiede bestehen hingegen beim Fräsgut, das lediglich einer Nachsiebanlage zur Abtrennung des Überkorns aufgegeben werden muß (61).

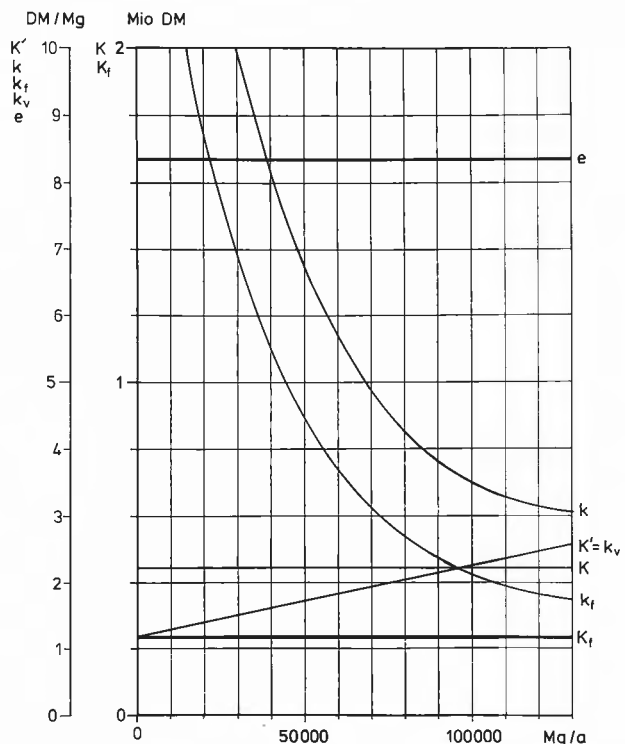
Für das Asphaltrecycling werden hauptsächlich die bereits vorgestellten Chargenmischanlagen verwendet. Bereits bestehende Mischanlagen müssen jedoch durch geeignete Zugabemöglichkeiten ergänzt und umgerüstet werden. Unabhängig davon, ob das Asphaltgranulat in den Mischer, Heißelevator oder die Trockentrommel zugegeben wird, ist die Installation einer zusätzlichen Dosiereinrichtung

für das Recyclingmaterial mit geeigneten Abzugsvorrichtungen erforderlich. Zur exakten Dosierung sind weiterhin Wägevorrückungen wie z.B. Bandwaagen für das Asphaltgranulat wie auch für die neuen Mineralstoffe erforderlich, da die Dosiergenauigkeit vorhandener Einrichtungen nicht ausrei-

Bild 5.5.

Darstellung der verschiedenen Kosten der Kostenfunktion und des Durchschnittsertrages einer mobilen Bauschuttrecyclinganlage mit einer Auslegung von 150 Mg/h in Abhängigkeit des Jahresdurchsatzes

- K** = Gesamtkosten (DM/a)
- K_f** = Gesamtfixkosten (DM/a)
- k** = Durchschnittskosten (DM/Mg)
- k_f** = fixe Durchschnittskosten (DM/Mg)
- k_v** = variable Durchschnittskosten (DM/Mg)
- e** = Durchschnittsertrag (DM/Mg)



chend ist. 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 Ausbauasphaltes hervorrufen können. Weiterhin sind die Absaugvorrichtungen zu erweitern, um die evtl. explosionsartig entstehenden Wasserdampfmengen schadlos abzuführen, wenn kaltes und feuchtes Asphaltgranulat mit den heißen Mineralstoffen zusammentrifft (27).

Je nach Anlageausführung kann ein Investitionsbedarf von 150.000.- bis 300.000 DM angesetzt werden.

Neben den zusätzlich entstehenden Kapitalkosten kommt es zu einer Erhöhung der Betriebskosten, da für die Trocknung des Ausbauasphaltes und die erforderlichen höheren Mineralstofftemperaturen ein Mehraufwand an Energie benötigt wird.

Die Transportkosten können unberücksichtigt bleiben, da der Ausbauasphalt entweder zu einer Deponie oder alternativ zu einer Aufbereitungsanlage transportiert wird. Weiterhin entstehen zusätzliche Kosten durch die notwendigen Prüfungen der Oberbauschichten. Wie beschrieben, sollte je 500 m² Verkehrsfläche eine Untersuchung erfolgen. Insgesamt ist die Wirtschaftlichkeit des Asphaltrecycling entscheidend vom Bitumenpreis abhängig. Bei einer Tragschicht der Type C entfallen ca. 40 % des Gesamtpreises je Mg auf den Bitumenpreis, bei einem Asphaltbeton 0/11 mm sogar bis zu ca. 45 %. Die Angaben sind jeweils bezogen auf einen Bitumenpreis von 580.- DM pro Mg.

In einer Untersuchung, die im Rahmen der Eigenüberwachung erfolgte, wurden von Fräsgut- und Aufbruchasphaltproben der jeweilige Bitumengehalt bestimmt. Hierbei ergab sich ein Bindemittelgehalt von 3,1 Gew.-% bis 5,6 Gew.-% im Aufbruchasphalt und im Fräsgut von 4,5 Gew.-% bis 7,7 Gew.-% (27).

Aus den Zahlen wird deutlich, daß bei entsprechenden Bitumenpreisen der Bindemittelgehalt im Asphaltgranulat ein wesentlicher Kostenfaktor ist. Prinzipiell kann festgestellt werden, daß die Wiederverwendung von Altasphalt technisch durchführbar ist. Offen bleiben bislang die qualitativen und quantitativen Grenzen der Wiederverwendung. So kann die Wirtschaftlichkeit im Straßenbau durch zwei wesentliche Maßnahmen verbessert werden:

- Steigerung der Zugabemengen in das Tragschichtmischgut = Maximierung der Asphaltgranulatmenge;
- Gezielte Berücksichtigung der unterschiedlichen Bindemittelgehalte der Oberbauschichten und damit eine entsprechende Verwendung in Deck- und Binderschichten = Optimierung des Asphaltgranulateinsatzes.

Wie beschrieben, ist eine Steigerung der Zugabemenge über die von den Länderbehörden festgelegten 20 bis 25 Gew.-% möglich.

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 Zusammensetzung des Ausbauasphaltes zu erfassen und bei der Zusammensetzung des resultierenden Mischgutes zu berücksichtigen. Diese kürzeren Untersuchungsintervalle erlauben allerdings auch eine exaktere Berücksichtigung des Bindemittelgehaltes und damit eine bessere Nutzung des tatsächlichen Wertes des Ausbauasphaltes. Gleichzeitig lassen sich die Anforderungen verbessert kontrollieren. Die höheren Anforderungen an die Qualität führen zumindest zukünftig vom Prinzip der Maximierung weg, hin zu einer Optimierung der Zugabemengen. Zur Veranschaulichung dieser Überlegungen ist in Bild 5.6. ein Regelaufbau nach RStO 75 für die Bauklasse I maßstäblich aufgetragen. Die möglichen Schwankungen der Stärken für die einzelnen Schichten in den Bauklassen II-V sind der Spalte "Schichtstärke" zu entnehmen. Die Spannweiten der Anforderungen der technischen Vorschriften für den Bindemittelgehalt, das Größtkorn und den Kornanteil > 2 mm sind in den entsprechenden Spalten aufgezeigt (27).

Wegen der abnehmenden Anteile des Neubaus am gesamten Straßenbau nimmt auch der Anteil an Tragschichten zugunsten von Deck- und Binderschichten ab. Die anfallenden Ausbauasphaltmengen können demnach nur dann wirtschaftlich wiederverwendet werden, wenn diese dem Binder- und Deckschichtmischgut zugegeben werden. Die höheren Anforderungen an diese Mischgutttypen bedingen, daß der Ausbauasphalt durch lagenweises Fräsen gezielt gewonnen und gelagert werden muß.

Um die dargestellten Aspekte zu berücksichtigen, müssen bereits in der Planungs- und Ausschreibungsphase die entsprechenden Faktoren miteinbezogen werden, um eine Wiederverwendung des Ausbauasphaltes zu ermöglichen.

Die Abstimmung folgender Arbeitsgänge ist hierzu erforderlich:

- Art der Gewinnung;
- Zahl der Fräsgänge;
- Frästiefe;
- Lagerung des Ausbauasphaltes.

Durch Vornahme vorgenannter Vorgehensweise ist es möglich, sowohl die Zugabemengen bei bekannter Zusammensetzung zu erhöhen als auch Ausbauasphalt in geringeren Mengen aber mit höheren Bindemittelanteilen im Binder- und Deckschichtmischgut zu verarbeiten. Die kostenrelevanten Einflußgrößen wurden bereits mit den vorgenannten Zusammenhängen beschrieben. Zusätzliche 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 von Flächen, Transportwegen, Emissionen u.ä. zu kalkulieren (27).

Neben den betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sollten jedoch auch volkswirtschaftliche Aspekte in die Überlegungen miteinbezogen werden.

Bild 5.6.
Mögliche Variablen
hinsichtlich der
Schichtstärke der
Oberbauschichten für
die Optimierung des
Ausbauasphaltes
nach (27).

Schichten- folge	Schicht- stärke (cm)	Bindemittel- gehalt (Gew.-%)	Größt- korn (mm)	Kornanteil > 2 mm (Gew.-%)
Deck- schicht	2,0-5,5	AB 5,2-8,5 GA 6,5-9,0	5,8,11,16 5,8,11	35-65 30-55
Binder- schicht	3,5-8,5	3,8-6,5	11,16,22	50-80
Trag- schicht	6,0-18,0	3,4-4,3	8,11,16, 22,32	0-80

Bei der Erneuerung einer Straße sind nicht nur die Baukosten, sondern auch die Auswirkungen auf die Straßennutzerkosten, die volkswirtschaftlichen sowie 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.

Unter volkswirtschaftlichen und ökologischen Kosten sind diejenigen zu verstehen, die durch den Landschaftsverbrauch für Rohstofflagerstätten (Sand- und Kiesgruben) und Deponien entstehen (27).

Die dargestellten Abhängigkeiten zeigen, daß bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Recycling-in-place-Verfahren neben den betriebswirtschaftlichen Parametern wie Kapital- und Betriebskosten auch die regional bedingten Einflußfaktoren Berücksichtigung finden sollten.

Bei den Recycling-in-place-Verfahren zeigen die nichtverfahrensspezifischen 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 (66):

- 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 (58):

- 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 (66):

Ein Kostenvergleich zwischen den konventionellen (overlay/inlay) Bauweisen 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-plant kann im Vergleich zu konventio-

nellen Straßenbaumaßnahmen bislang mit keinem Kostenvorteil gerechnet werden, sofern der Anteil an Ausbauasphalt nicht mindestens bei 50–65% liegt. Bislang sind in der Literatur keine konkreten Wirtschaftlichkeitsvergleiche gültig für die Bundesrepublik Deutschland durchgeführt worden, so daß an dieser Stelle nur pauschale Annahmen getroffen werden.

Ebenso sind die zu erzielenden Energieeinsparungen in hohem Maße von externen Faktoren abhängig. In einer von Gragger (1979) aufgestellten Vergleichsrechnung zwischen konventioneller Bauweise und Recycling-in-place-Verfahren wurden Energieeinsparungen von 30 bis 40 % angesetzt.

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 Baurestmassen vor allem in der Verschleißminderung an den Zerkleinerungsaggregaten sowie in der Qualitätsanhebung durch Verminderung von Verunreinigungen der Recyclingprodukte.

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 Qualitätsabstimmungen 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 sowie der Zusammenarbeit zwischen Kommunen, Bauunternehmern und den Anlagenbetreibern ab. Entsprechende Handlungsanweisungen der gesetzgebenden Instanzen können hierbei positiv fördernd wirken.

Zur weiteren Entwicklung von Bau und Betrieb von Recyclinganlagen sowie zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sollten folgende Maßnahmen verstärkt vorgenommen werden (15, 23, 27):

- Beim Gebäudeabriß oder Straßenaufbruch sowie bei der späteren Lagerung der Materialien an den Aufbereitungsanlagen oder auf den Deponien muß eine sorgfältige, getrennte Erfassung der Reststoffgruppen gewährleistet sein.

- Eine frühzeitige Abschätzung kommunaler sowie privater Bau- und Abbruchvorhaben bietet eine Grundlage dafür, daß eine neue Anlage entsprechend den langfristig anfallenden Baurestmassen ausgelegt und gleichmäßig ausgelastet werden kann. Der langfristige Bedarf sowie das entstehende Angebot an hergestellten Sekundärrohstoffen kann in die Planung miteinbezogen werden.

- Eine verbesserte Abstimmung zwischen Baufirmen bzw. Aufbereitungs- und Mischanlagenbetreibern ist erforderlich, um die zum Teil stoßweise anfallenden Baurestmassen bei fehlendem Bedarf nicht an minderwertiger Stelle (z.B. Lärmschutzwällen) einzubauen, sondern zwischenzulagern.

- Eine organisierte Lagerhaltung kann für die Aufbereitungs- und Mischanlagen zu einer kontinuierlichen Auslastung der Kapazitäten führen und andererseits der Baustoffindustrie regelmäßig hochwertiges Recyclingmaterial zur Verfügung stellen.

- In Liefer- und Bauverträgen sollte grundsätzlich der Einsatz von Sekundärbaustoffen sowie die Zugabe von Asphaltgranulat zum Asphaltmischgut Berücksichtigung finden.

- Mit Erscheinen der neuen ZTVT ist eine bundeseinheitliche Regelung für die Wiederverwendung von Asphalt bei der Herstellung von Tragschichtmischgut und somit eine Ablösung der Länder-sonderregelungen zu erwarten.

Durch die Berücksichtigung möglichst vieler Einflußfaktoren können private und kommunale Betreiber der Recyclinganlagen wirtschaftlicher arbeiten und höhere Recyclingquoten erzielen. Es wird deutlich, daß im weiten Bereich des Recyclings von Baurestmassen die ökonomischen Gesichtspunkte den ökologischen Wertvorstellungen nicht entgegenstehen müssen.

7. Literatur

1. Arand, W.: Asphaltstraßentagung 1985 in Mainz – Eine Nachbetrachtung – in: Die Asphaltstraße Nr.4, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
2. Augustin, K.; Fischer, D.; Holz, A.; Kumm, A.; Langer, H.: Daten zur Umwelt, Umweltbundesamt (Hrsg.), 1984, Berlin
3. Bellin, P.; Rode, F.: Qualitätssicherung bei der Wiederverwendung von Asphalt, in: Straße und Autobahn, Nr.7, 1985, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg
4. 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, 1983, Erich Schmidt Verlag, Berlin
5. Bilitewski, B.: Recyclinganlagen für Haus- und Gewerbeabfälle, Beiheft 21 für Müll + Abfall, Erich Schmidt Verlag Berlin 1985,
6. Blumer, M.: Wiederaufbereitung von Belagsmaterial, in: Die Asphaltstraße Nr.4, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
7. Bramer, G.: Die Folgenutzung aus der Sicht der kommunalen Gebietskörperschaften, in: Steinbruch und Sandgrube Nr.6, 1982, Media-Mail Verlagsgesellschaft mbH, Hannover
8. Deters, R.: Rohstoffrecycling durch Rückgewinnung und Wiederaufbereitung von Asphalt in: Straße und Autobahn Nr. 12, 1980, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg
9. Dienemann, B.; Barz, G.: Deckeninstandsetzung nach dem Remix-Verfahren auf der B4 in Braunschweig, Teerbau Veröffentlichungen, Nr.27, Essen 1980
10. Dohmann, M.: Auslaugungsversuche mit aufbereitetem Bauschutt, in: Recycling International, Thomè-Kozmiensky, K.J.(Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, 1984, Berlin
11. Durth, W.; et al: Wiederverwendung einer bituminösen Fahrbahnbefestigung auf der BAB 48 – Erprobungsstrecke Gießen, Vorwort von R.Knoll, in: Straße und Autobahn Nr.4, 1979, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg
12. Durth, W.: Möglichkeiten der Deckenerneuerung mit dem Repave-Verfahren, in: Zeitschr. Straße und Autobahn Nr.11, 1977, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg
13. Erhardt, H.; Neumann, G.: Technische Aspekte zur Wiederverwendung von Asphalt, in: Straße und Autobahn Nr. 7, 1985, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg
14. Erhardt, H.: Wiederverwendung von Asphalt, in: Baustoff-Recycling Nr.2, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
15. Erhardt, H.: Wiederverwendung von Asphalt – Ein Bericht vom Asphalt Seminar 1985, in: Die Asphaltstraße Nr.5, 1985, Stein-Verlag GmbH, Bonn-Bad Godesberg
16. Erhardt, H.: Herstellen und Wiederverwenden von Asphalt in Trommelmischanlagen – Bericht über ein Symposium vom 12. – 14. Juni 1984 in Blois und Reading, in: Die Asphaltstraße Nr.3, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
17. Gallenkemper, B.: Anfall von Bauschutt und Straßenaufbruch – Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit -, in: Recycling International, Thomè-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984
18. Gallenkemper, B.: Stand der Technik der Bauschuttaufbereitung, in: Fortschritte der Deponietechnik '83, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin 1983
19. Gallenkemper, B.: Stand und Möglichkeiten der Wiederverwendung von Bauschutt und Straßenaufbruch, in: Müll und Abfall Nr.4, 1984, Erich Schmidt Verlag, Berlin
20. Gragger, F.: Stand der Wiederverwendung von Asphalt, in: Bitumen Nr.6, 1979
21. Gragger, F.: Stand der Wiederverwendung von Asphalt, in: Zeitschr. s + t Nr.33, 1979
22. Halfmann, U.: Wiederverwendung von Asphalt in: Ztschr. s + t Nr.33, 1979
23. Hebel, K.-H.: Baustoffgewinnung durch Aufbereitung von Baurestmassen, Diplomarbeit an der TU-Berlin, 1985
24. Heimsoth, W.: Erfahrungen mit einer trockenen Bauschuttaufbereitungsanlage, in: Recycling International, Thomè-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984
25. Hermann, R.: Baurestmassen gehören nicht auf die Deponie, in: Müll und Abfall Nr.9, 1981, Erich Schmidt Verlag, Berlin
26. Hermann, R.: Verwertung von Bauabbruch, in: Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 8665, 1982, Erich Schmidt Verlag, Berlin
27. Heyde, K.H.: Tappert, A.: Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit bei der Wiederverwendung von Asphalt in: Straße und Autobahn, Nr.7, 1985, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg
28. Hintsteiner, E.: Recycling im Straßenbau, in: Die Asphaltstraße, Nr.5, 1984, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
29. Hoffmann, H.: Anforderungen an Deponien für Bauschutt und ähnliche Abfälle – Folgerungen aus Untersuchungen an vorhandenen Deponien, in: Fortschritte der Deponietechnik '80, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin 1980
30. Homes, J.: Erfassung und Bewertung der Umweltbelastungen bei innerstädtischen Bauprozessen, Fortschrittberichte der VDI Zeitschriften, Reihe 4 : Bauingenieurwesen, Nr.67, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1984
31. Huwald, E.: Bauschutt ist weiterverwertbar, Umweltmagazin Nr.2, 1985 (Sonderdruck), Vogel-Verlag, Würzburg
32. Junghänel, A.: Moderne Asphalt-Mischanlagen und die Wiederaufbereitung von Ausbauasphalt, in: Die Asphaltstraße Nr.2, 1984, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden
33. Junghänel, A.: Recycling bituminöser Straßenbeläge, in: Entsorgungspraxis Nr.5/6, 1984, Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH, Gütersloh
34. Kirchhoff, B.: Anlagen für die Aufbereitung von Altbaustoffen, in: Baumaschine und Bautechnik, Mai 1982, Bauverlag GmbH, Wiesbaden
35. Koppe, W.: Beseitigung von Spurrinnen an bituminösen Fahrbahnbefestigungen mit dem Asphaltdecken-Regenerierzug, in: Zeitschr. für

den Straßen- und Brückenbau, Straßenplanung und Straßenverwaltung Nr.3, 1970

36. Kotte, G.: "Maschinelles Rückformen abgetragener oder deformierter Schwarzdecken – künftig ein Muß" in: Baugewerbe Nr.4, 1980, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln

37. Kuhne, V.: Recycling von Abbruchmaterialien – eine Aufgabe für die Zukunft, in: Baugewerbe Nr.3, 1985, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH, Köln

38. Kuhne, V.: Recycling von Baustoffen, in: Baumaschine und Bautechnik Nr.8, 1984, Bauverlag GmbH, Wiesbaden

39. Leutner, R.: Untersuchung alternativer Baustoffe auf ihre Verwendbarkeit und Umweltverträglichkeit, Straße und Autobahn Nr. 5, 1985, Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg

40. Loewenstein, H.-H.: Qualität und Wirtschaftlichkeit von Recycling-Baustoffen im Straßenbau, in: Baustoff-Recycling Nr.1, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

41. Lübbert, E.: Referat anlässlich des Symposiums "Recycling-Baustoffe", Juni 1984, Bonn-Bad Godesberg

42. Merkel, E.: Untersuchung und Beurteilung der Ablagerungsfähigkeit von Abfällen auf unterschiedlichen Deponietypen, in: Fortschritte der Deponietechnik '80, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin 1980

43. Messmer, W.: Die Notwendigkeit regionaler Asphalt- Recycling-Zentren, in: Die Asphaltstraße Nr.5, 1984, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

44. Mölling, H.A.: Wiederaufbereitung von bituminösen Straßenbelägen, Informationstagung in Krifel bei Frankfurt/Main, 20. Mai 1981

45. Nix, H.: Erfahrungen mit einer nassen Bauschuttaufbereitungsanlage in: Recycling International, Thomè-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984

46. N.N.: Der Elsner, Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen, Darmstadt 1982

47. N.N.: Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstraßen Teil: Bauliche Maßnahmen; Wiederverwenden von Asphalt; Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1985

48. N.N.: Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstraßen Teil: Bauliche Maßnahmen; Instandsetzung 2.4 Rückformen der Fahrbahnoberfläche, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1983

49. N.N.: Entwurf des Merkblattes über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen, Nov. 1984, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

50. N.N.: Recycling von Asphalt, Technische Information 1, Deutsche Asphalt GmbH (Hrsg.), ohne Datum

51. N.N.: Firmendruckschrift der Firma Marini-Vertrieb, ATS Asphalttechnik und Straßenbaugeräte GmbH & Co. KG, Eschborn, ohne Datum

52. N.N.: Recycling-Baustoffe für den Straßenbau-Gütesicherung RAL-RG 501/1, RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Bornheimer Str.180, Bonn, 1985

53. N.N.: Brechsand auch für Kabelgräben, Baustoff-Recycling Nr.2, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

54. N.N.: Gretchenfrage, in: Sekundärrohstoffe Nr.9, 1984, Peter Polz Verlag, Gauting

55. N.N.: Baugewerbe – Bauvolumen geht 1985 um

2 % zurück, in: Steinbruch und Sandgrube Nr.3, 1985, Media-Mail Verlagsgesellschaft, Hannover

56. N.N.: Ausrüstung für die Asphalt- und asphaltverarbeitende Industrie auf dem deutschen und europäischen Markt – Wiederverwendung, in: Die Asphaltstraße Nr.2, 1984, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

57. Olshausen, H.-G.; Homes, J.: Berücksichtigung von Umwelteinflüssen bei der Auswahl von Bauverfahren, Schriftenreihe "Bau- und Wohnforschung" Nr.04095, H. Fuck Verlag, Koblenz, 1983

58. Pleetz, W.: Sannierung bituminöser Fahrbahndecken durch Asphalt-Recycling, Diplomarbeit an der TU Berlin, 1983

59. Roth, R.H.: Moderne Verfahren zur Belagserneuerung, in: Schweizer Bauwirtschaft Nr.10, 1985

60. Schmidt, H.J.: Referat anlässlich eines Betriebsleiterseminars zum Thema: "Wiederverwendung von Asphalt in stationären Mischwerken – Grundregeln, Empfehlungen, Probleme" in: Die Asphaltstraße Nr.4 1984, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

61. Schmidt, H.J.: Asphaltgranulat im Blickfeld von Qualität und Wirtschaftlichkeit, in: Baustoff-Recycling Nr.1, 1985, Stein-Verlag GmbH, Baden-Baden

62. Schniering, A.: Möglichkeiten und Vorschriften zur Wiederverwendung von Baustoffen im Straßenbau, in: Recycling International, K.J. Thomè-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984

63. Schöndorfer, G.: Die ökonomischen Grenzen möglicher Recyclingmaßnahmen von Bauschutt, Diplomarbeit, Universität Essen, August 1984

64. Scholz, W.: Untersuchungsbericht – Chemische Untersuchungen an Auffüllmaterial hergestellt aus Bauschutt, Aalener Materialprüfinstitut für Baustoffe, unveröffentlicht, Juli 1984

65. Schuler, B.A.: Asphaltrecycling im bituminösen Straßenbau, unveröffentlichte Studie, Berlin 1983

66. Schuler, B.A.: Asphaltrecycling im Straßenbau, in: Recycling International, K.J. Thomè-Kozmiensky (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984

67. Sommer, H.: Recycling von Beton – Wiederverwertung im Deckenbau, in: Straße und Autobahn Nr.5, 1984, Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg

68. Specht, W.: aus alt mach neu, Asphalt-Deckschichten regenerieren; Recycling mit "Repaver" und "Reformer" in: Zeitschr. Baupraxis Nr.8, 1977

69. Toussaint, A.: Verwertung industrieller Rückstände im Straßenbau, in: Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 8661, 1982, Erich Schmidt Verlag Berlin

70. Vollenweider, H.J.: Belagsrecycling – Werden die Weichen richtig gestellt? in: Die Asphaltstraße Nr.5, 1984, Stein Verlag GmbH, Baden-Baden

71. Wachter, B.: Die Folgenutzung aus der Sicht der kommunalen Gebietskörperschaften, in: Steinbruch und Sandgrube Nr.7, 1982, Media-Mail-Verlagsgesellschaft, Hannover

72. Wesche, K.; Schulz, R.-R.: Beton aus aufbereitetem Altbeton – Technologie und Eigenschaften, in: Beton Nr.2 und Nr.3, 1982, Beton-Verlag, Düsseldorf

73. Westphal, J.: Rekultivierung von Kiesgruben, in: Steinbruch und Sandgrube Nr.12, 1983, Media-Mail-Verlagsgesellschaft, Hannover

74. Wiehler, H.G. (Hrsg.): Straßenbau -Konstruktion und Technologie, Band 2, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1979

75. Wilbertz, J.: Sortierung von "Containerabfällen" und Konsequenzen für die Abfallbeseitigung, in: Fortschritte der Deponietechnik '83, Texte Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin 1983

76. Wilbertz, J.: Deponientlastung durch Aufbereitung von Bauschutt und Baustellenabfällen, in : Müll und Abfall Nr.6, 1985, Erich Schmidt Verlag, Berlin

8. Herstellerverzeichnis

8.1. Bauschutt- und Straßenaufbruchaufbereitung

Aulmann & Beckschulte
Maschinenfabrik GmbH & Co.KG
Postfach 1151
D-5275 Bergneustadt
Tel. 02261/4761

Böhringer + Ratzinger GmbH
Postfach 726
D-7101 Oedheim
Tel: 07136/6089

Fischer-Jung KG
Ritzhütte 11
D-4150 Krefeld
Tel. 02151/37037

GfA
Gesellschaft für Aufbereitungsmaschinen mbH +
Co. KG
Postfach 12 40
D-6834 Ketsch/Rhein
Tel: 06202/6612

Hartl Powercrusher
Mobile Sieb- und Brechanlagen GmbH
Brunnenstr. 15
A-4482 Ennsdorf
Tel: 07223/ 3226

Hazemag
Dr. E. Andreas GmbH & Co.
Postfach 3447
D-4400 Münster
Tel: 0251/697-1

Kleemann & Reiner GmbH
Postfach 760
D-7320 Göppingen-Faurndau
Tel: 07161/22094

Klöckner-Becorit GmbH
Postfach 02 45 45
D-4620 Castrop-Rauxel
Tel: 02305/701-1

Krupp Handel GmbH
Postfach 10 19 45
D-4300 Essen 1
Tel: 0201/188 25 00

Lokomo
Aufbereitungsanlagen GmbH
Karl-Theodor-Str. 15
D-6909 Walldorf
Tel: 06227/21 80

Müller Aufbereitungstechnik GmbH
Postfach 13 60
D-2330 Eckernförde
Tel: 04351/810 04

Orenstein & Koppel
Postfach 10 25
D-4722 Ennigerloh
Tel: 02524/30-1

PHB Weserhütte AG
Unternehmensbereich Bad Oeynhausen
Postfach 10 13 51
D-4970 Bad Oeynhausen 1
Tel: 05731/15-0

Rexnord Aufbereitungstechnik
Frankfurter Str. 168-172
D-6078 Neu-Isenburg
Tel: 06102/38 091

SBM Wageneder GmbH
Postfach 18
A-4663 Laakirchen
Tel: 07613/27 710

Svedala-Arbra GmbH
Berner Str.75
D-6000 Frankfurt/Main 56
Tel: 0611/507 1010

Voest-Alpine AG
Postfach 2
A-4010 Linz
Tel: 0732/585-1

8.2. Asphaltrecycling

Amman IMA GmbH
Postfach 15 47
D-6460 Gelnhausen
Tel: 06051/4016

Bomag-Menck GmbH
Postfach 180
D-5407 Boppard
Tel: 06742/10 00

Dynapac GmbH
Postfach 1165
D-6080 Groß-Gerau
Tel:06152/580 56

Linnhoff & Thesenfitz
Maschinenbau GmbH
Postfach 14 09
D-2090 Winsen
Tel: 04171/20 06

Marini-Vertrieb
ATS - Asphalttechnik und Straßenbaugeräte
GmbH & Co.KG
Max-Planck-Str. 21
D-6236 Eschborn/Taunus
Tel: 06196/489 47

MVG Maschinenvertriebsgesellschaft mbH
Postfach 22 42
D-4005 Meerbusch 2
Tel: 02150/2068

Wirtgen GmbH
Spezialunternehmen für Abfräsen von Schwarz-
decken
Hohner Str. 2
D-5461 Windhagen
Tel: 02645/32 21

Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

Beihefte zu

Müll und Abfall

Fachzeitschrift
für Behandlung
und Beseitigung
von Abfällen

Organ für die
gesamte Entsorgung
und Abfallwirtschaft

Parallel zu der Fachzeitschrift MÜLL und ABFALL, dem Forum für die gesamte Abfallwirtschaft, erscheinen in unregelmäßiger Folge die Beihefte zu MÜLL und ABFALL, die wir Ihnen im folgenden vorstellen.

Die Beihefte erscheinen im Format DIN A4, kartoniert.

Die Beihefte zu MÜLL und ABFALL sind wichtige Ergänzungen zu der Fachzeitschrift MÜLL und ABFALL. In der äußeren Erscheinung der Zeitschrift angeglichen, ist auch ihr inhaltliches Anliegen dieser entsprechend.

In den nach Bedarf erscheinenden Beiheften werden von Fachleuten aus der Abfallwirtschaft ausführliche Beiträge zu einem Themenbereich veröffentlicht, deren Umfang den Rahmen der Fachzeitschrift sprenger würde.

Jedes der Beihefte ist eine Monographie, von kompetenten Fachleuten zu einem aktuellen Thema verfaßt.

Jeder, der sich auf dem Gebiet der Müll- und Abfallbehandlung und -beseitigung umfassend informieren möchte, findet hier wertvolles Material als geeignetes Arbeitsgrundlage.

Die Beihefte zu MÜLL und ABFALL können Sie auch unabhängig von einem Abonnement der Fachzeitschrift zur Fortsetzung beziehen. Sie sichern sich damit nicht nur den sofortigen Erhalt nach Erscheinen, sondern auch den Bezug zu dem ermäßigten Abonnementspreis.

Wenn Sie jetzt zur Fortsetzung bestellen, haben Sie die Möglichkeit, auch die bereits erschienenen Beihefte zum verbilligten Abonnementspreis zu beziehen!

Beiheft 1

Moderne Müllverbrennungsanlagen Planung – Bau – Betrieb

Von Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Heigl
77 Seiten, 19 Abbildungen, im Einzelbezug DM 21,-, Abonnementspreis DM 18,-,
ISBN 3 503 00331 2

Beiheft 5

Planung einer Müllverbrennungsanlage

Merkblatt und Anleitung
vom Oktober 1970

Aufgestellt im Auftrag von Bund und Ländern vom Bundesgesundheitsamt – Zentralstelle für Abfallbeseitigung – unter Mitwirkung von Sachverständigen

Herausgegeben vom Bundesminister des Innern und der Länderarbeitsgemeinschaft Abfallbeseitigung

44 Seiten, 4 Abbildungen, 3 Tabellen, im Einzelbezug DM 12,50, Abonnementspreis DM 11,20,
ISBN 3 503 00810 1

Beiheft 7

Studie über neue Techno- logien zur schadlosen Abfallbeseitigung

Bericht des Battelle-Institutes e. V., Frankfurt/Main, für das Bundesministerium für Forschung und Technologie

67 Seiten, im Einzelbezug DM 29,-, Abonnementspreis DM 25,-, ISBN 3 503 01077 7

Beiheft 8

Das Prämienlohnsystem der Hamburger Straßenreinigung

Von Ltd. Regierungsdirektor Herbert Oppermann und Oberbaurat Herbert Schulz, beide in der Stadtreinigung der Freien und Hansestadt Hamburg

43 Seiten, im Einzelbezug DM 34,-, Abonnementspreis DM 29,50, ISBN 3 503 01091 2

Beiheft 10

Untersuchung über die Erfassung und Beseitigung von Abfällen aus Kranken- häusern und ähnlichen Einrichtungen einschließlich Pharma-Abfällen

Gegenwärtiger Stand und zukünftige Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland

Bericht der WIBERA Wirtschaftsberatung AG, Düsseldorf, im Auftrag des Bundesministers des Innern

38 Seiten, im Einzelbezug DM 24,-, Abonnementspreis DM 21,50, ISBN 3 503 01135 8

Beiheft 12

Glas im Hausmüll Anteil und Beseitigungsverhalten

Studie der Dornier-System GmbH, Friedrichshafen, im Auftrag des Fachverbandes Hohlglasindustrie e. V., Düsseldorf

Von R. Schiller und G. Gieseler

43 Seiten und 1 Ausschlagtafel, im Einzelbezug DM 39,-, Abonnementspreis DM 34,-,
ISBN 3 503 01188 9

Beiheft 14

Menge und Zusammen- setzung von Abfällen

Basisdaten für die Abfallbeseitigungsplanung

Von Dipl.-Kfm. Hans Langer und Dipl.-Ing. Klaus Stief, beide im Umweltbundesamt

47 Seiten, im Einzelbezug DM 39,-, Abonnementspreis DM 34,-, ISBN 3 503 01746 1

Beiheft 16

Rekultivierung von Deponien und Müllkippen

Von Dr.-Ing. Uwe Neumann und Dipl.-Ing. Gerhard van Ooyen

70 Seiten, im Einzelbezug DM 58,-, Abonnementspreis DM 52,-, ISBN 3 503 01790 9

Beiheft 17

Abfallbeseitigung auf See

Herausgegeben von Dr. Ekkehard Offhaus, Umweltbundesamt

105 Seiten, DIN A4, kartoniert, im Einzelbezug DM 68,-, Abonnementspreis DM 62,-,
ISBN 3 503 01866 2

Beiheft 18

Umweltfreundlicher Winterdienst

Strategien – Alternativen – Technologien

Herausgegeben von Dipl.-Ing. Michael Ferber und Dr. Hein-Detlef Gregor, Umweltbundesamt

59 Seiten, DIN A4, kartoniert, im Einzelbezug DM 54,-, Abonnementspreis DM 49,-,
ISBN 3 503 02129 9

Beiheft 20

Die Beseitigung von Sondermüll

Beurteilung und Einteilung von Abfällen der gewerblichen Wirtschaft unter Berücksichtigung der Behandlungs- und Beseitigungsmöglichkeiten mit Hinblick auf die TA Abfall

Von Dr. Kurt von Beckerath, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

56 Seiten, DIN A 4, kartoniert, Abonnementspreis DM 38,-, im Einzelbezug DM 42,-,
ISBN 3 503 02439 5

Beiheft 21

Neuerscheinung

Recyclinganlagen für Haus- und Gewerbeabfälle

Grundlagen, Technik, Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkungen

Von Dr.-Ing. Bernd Bilitewski

120 Seiten, DIN A 4, kartoniert, Abonnementspreis DM 68,-, im Einzelbezug DM 76,-,
ISBN 3 503 02479 4

Beiheft 22

Neuerscheinung

Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen Anforderungen – Stand der Technik – Anwendungsbeispiele

Herausgegeben von Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Knipschild

111 Seiten, DIN A4, kartoniert, Abonnementspreis DM 69,-, im Einzelbezug DM 78,-,
ISBN 3 505 02484 0



Erich Schmidt Verlag

Berlin · Bielefeld · München

Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) von Großprojekten

Grundlagen und Methoden sowie deren Anwendung am Beispiel der Fernstraßenplanung

Von Dr.-Ing. Hans-Joachim Schemel
XIII, 510 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 86,-,
ISBN 3 503 02502 2

Beiträge zur Umweltgestaltung, Band A 97

Diese Neuerscheinung behandelt umfassend die wesentlichen inhaltlichen und methodischen Fragen, die es bei der Abfassung der UVP für ein konkretes Vorhaben zu lösen gilt. Ziel der Arbeit ist es, aufzuzeigen, wie die Belange der Umwelt ihrer Bedeutung entsprechend mit Hilfe der UVP in umwelterhebliche Entscheidungsprozesse eingeführt werden können.

Das Werk dient als unentbehrliche Arbeitsunterlage den öffentlichen und privaten Institutionen, die mit den komplexen Auswirkungen von Großprojekten auf die Umwelt befaßt sind, sei es in ihrer Eigenschaft als Projektträger, Prüfungs- und Genehmigungsbehörde, Gutachter oder Betroffene: Angesprochen sind Bundesbehörden, Regierungspräsidenten, Kreise und Gemeinden, Forschungsinstitute, private Planungs- und Ingenieurbüros, Verbände und Bürgerinitiativen sowie private Unternehmen und Landes-Sonderbehörden (wie Straßenneubauämter etc.)



Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München

gerst

Unser Beitrag zum Umweltschutz:

Schon seit Jahren praktische Erfahrung in der Herstellung und Verarbeitung von wiederaufbereiteten Baustoffen.

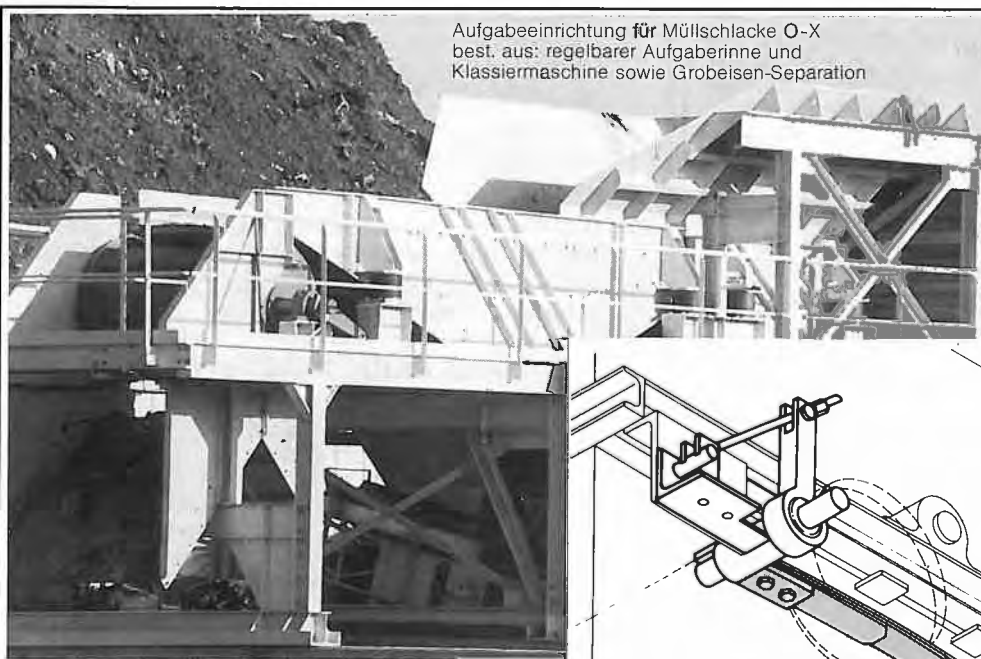
Kompostierung von Grünabfällen.

Betreiber der Bauschuttdeponie mit Aufbereitungsanlage in Neustadt/Wstr.



6732 Edenkoben

Bahnhofstraße 171 · Telefon (06323) 3001



Aufgabereinrichtung für Müllschlacke O-X
best. aus: regelbarer Aufgaberinne und
Klassiermaschine sowie Grobeisen-Separation

HOPPE
ANLAGENTECHNIK
UND RECYCLING GMBH

Karlstraße 12
D-4353 Oer-Erkenschwick
Telefon 023 68/60088
Telex 829956

Wir planen und liefern
komplette Anlagen
für Aufbereitung
und Recycling

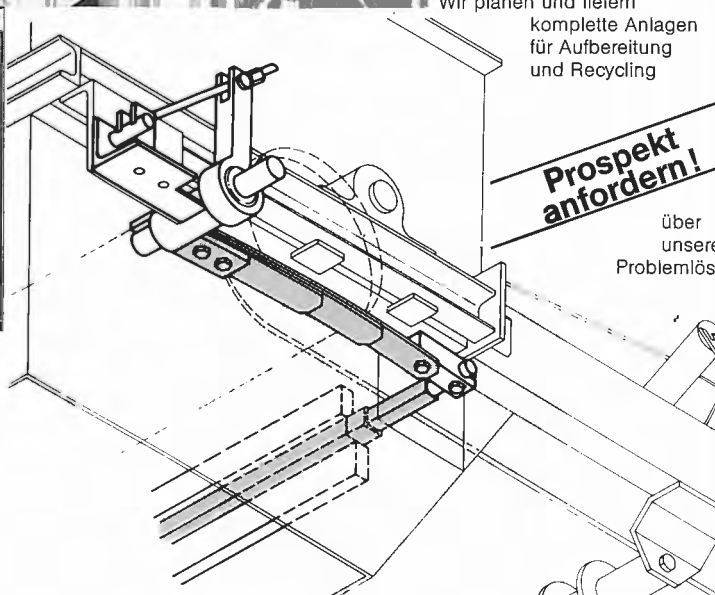
**Prospekt
anfordern!**

über
unseren
Problemlöser

Der Förderbandabstreifer von HOPPE
hat sich vor allem bei Problem-Materialien
bestens bewährt.

Weitere Pluspunkte:

- Variable Einbau-Möglichkeiten
- Einbau einer zweiten Abstreifleiste möglich – ein System
- Die Abstreifleiste entspricht in ihrer Längenbemessung der tatsächlichen Schüttbreite
- Doppelseitig einsetzbar durch 180-Grad-Drehung



Straßenbau A–Z

**Sammlung Technischer Regelwerke und
Amtlicher Bestimmungen für das Straßen-
wesen**

Ergänzbare ESV-Textsammlung. Bearbeitet
von Dipl.-Ing. Herbert Kühn und Dr.-Ing. Ernst
W. Goerner, Forschungsgesellschaft für
Straßen- und Verkehrswesen

10270 Seiten, DIN A 5, einschließlich 8 Spezial-
ordnern. Ergänzungen von Fall zu Fall.

- **Gesetze, Verordnungen der Behörden,
Normen, Richtlinien und Merkblätter
der Forschungsgesellschaft für Straßen- und
Verkehrswesen und anderer Körperschaften**
- **Alphabetische Ordnung nach Haupt- und
Unter Stichworten**
- **Übersichtliche Register**
- **Schnelle und praktische Handhabung**
- **Automatische Zusendung der neuesten
Fassungen von Vorschriften und Merk-
blättern**

Wenn Sie zu denjenigen gehören die theoretisch oder praktisch direkt oder indirekt im deutschen Straßenbau ein Wörtchen mitreden müssen, wissen Sie, daß Regelwerke, Bestimmungen, Richtlinien, Gesetze, Merkblätter, Normen u. v. m. zum unverzichtbaren täglichen Brot gehören. Sie wissen, daß beim Zusammentragen der ganzen Unterlagen viel Zeit verlorengelht. Daß man dabei allerdings auch viel Zeit einsparen kann, beweisen die 8 Bände von Straßenbau A–Z. Die aktuelle, vollständige Quelle, die Sie mit allen Informationen zum Straßenbauwesen entscheidungssicher versorgt. Schon die kleinsten Veränderungen oder Zusätze werden automatisch in den Ergänzungslieferungen berücksichtigt.

Straßenbau und Straßenunterhaltung

Ein Handbuch für Studium und Praxis

von Prof. Dipl.-Ing. Burkhard Kreiß,
Universität – Gesamthochschule – Essen

245 Seiten, Großoktav, kartoniert, DM 39,80
ISBN 3 503 02004 7

Bitte fordern Sie ausführliches Informationsmaterial zu
unserem Programmbereich „Technik und Bauwesen“ an.
(Postfach, 4800 Bielefeld 1)



Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München

A 85

Müll- und Abfallbeseitigung

**Handbuch über die Sammlung, Beseitigung
und Verwertung von Abfällen aus Haushal-
tungen, Gemeinden und Wirtschaft**

– Müll-Handbuch –

Begründet auf Anregung des Bundesministers für Gesund-
heitswesen von Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Kumpf †, Ministerialrat
a. D., K. Maas † und Prof. Dr.-Ing. H. Straub, Stadtbaudirektor
a. D.

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. H. Straub, Prof. Dr. med.
habil. Gottfried Hösel, Ministerialdirigent a. D., und Erster
Direktor und Professor beim Umweltbundesamt Dipl.-Ing.
Werner Schenkel, unter Mitwirkung in- und ausländischer
Fachleute aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.

Ergänzbare Ausgabe, DIN A 5, 5 Spezialordner.
Ergänzungen von Fall zu Fall, Seitenpreis ca. DM 0,32.

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 Beteilig-
ten vom Produktionsbetrieb bis zum professionellen
Beseitiger: Mehr und mehr verschiebt sich die Zusam-
mensetzung des zu beseitigenden Abfalls hin zu **Son-
derabfällen**, die teilweise komplizierte Vorbehandlun-
gen erfordern.

Sich dieser Herausforderung erfolgreich zu stellen
erfordert ein Arbeitsmittel, das in mehr als 20 Jahren
seine Eignung unter Beweis gestellt hat und heute
aktueller und wichtiger als je zuvor ist:

Das Müll-Handbuch

Das gesamte know-how der Abfallwirtschaft, angefan-
gen von Kriterien für die Auswahl von Müllfahrzeugen
bis hin zu Beseitigungsmethoden PCB-haltiger Abfäl-
le, wurde von über 120 namhaften Mitarbeitern für
dieses Standardwerk zusammengetragen. Unterneh-
men mit nach Art oder Menge problematischen Abfäl-
len und öffentliche wie private Beseitigungsbetriebe
und Anlagenbetreiber benutzen das Müll-Handbuch
seit langem zur Bewältigung der sich ständig ändern-
den Aufgaben. Behörden und Ämtern im Bundes-,
Landes- und kommunalen Bereich ebenso wie öffentli-
chen und privaten Forschungsinstituten sowie Inge-
nieurbüros dient das Handbuch als ständige Informa-
tionsquelle.



Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München

Recycling mit Hydrascreen.

Die stärkste Mobil-Siebanlage für die wirtschaftliche Rückgewinnung wertvoller Baustoffe.

- Sie sparen steigende Transport- u. Deponiekosten.
- Sie verbessern die Rentabilität und
- Wettbewerbsfähigkeit.



Leistung bis
400 to/h

**FOPPERMANN
& FUSS GMBH**

Möhlenwisch 7 · 2 Hamburg 61 · Tel. 040/581180 · Tx. 2173598

Mobiles Recycling, Sieben und Fördern mit weltweit Nr.1

POWERSCREEN®



Kies
Sand
Humus
Rinde
Abbruchmaterial
Deponieschutt
Eisenbahnschotter
Torf
Tennismehl
Gips
Kohle

Wirtschaftliche Rückgewinnung und Aufbereitung
- auch kleinerer Vorkommen!

Mobilität = kurze Transportwege, Arbeiten an Ort und Stelle

mit Shredder - für das schnelle Zerkleinern

Leistung bis max. 800t

FB/MBU

Friedrich Bliher Baumaschinen
Maschinenbau Ullm GmbH
7901 Ulm-Beimersteden
Telefon (0 73 48) 8 10
Telex 712 605

Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Amtliches Mitteilungsblatt der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

97. Jahrgang, erscheint monatlich, Umfang je Heft 58 Seiten, DIN A 4, Bezugspreis jährlich DM 40,-, Einzelheft DM 4,-.

Mit einer Auflage von rund 32000 Exemplaren ist **Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft** das auflageführende Fachorgan der Tief- und Straßenbaubranche. Sie erreicht jeden Monat nahezu sämtliche einschlägige Unternehmer, Mitglieder der Geschäftsführung, Leiter von Konstruktionsbüros, Bauleiter, Sicherheitsfachkräfte, Technische Aufsichtsbeamte und all jene Praktiker, die auf der Baustelle Verantwortung tragen.

Was der Leser an dieser Zeitschrift besonders schätzt, ist die Praxisnähe ihrer Autoren, die auch komplizierte Materie, wie etwa neue Technologien und Forschungsergebnisse, klar und allgemeinverständlich darzustellen wissen.

Abgerundet wird das technische Redaktionsprogramm durch die Veröffentlichung und Kommentierung von neuen Unfallverhütungsvorschriften, Merkblättern, Sicherheitsregeln, Richtlinien, Arbeitsschutzbestimmungen und Normen.



Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München

Informationsschrift Abfallarten

Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) in Zusammenarbeit mit dem Bundesminister des Innern.

Stand: Herbst 1980 · 2., überarb. Auflage, 108 Seiten, 12,5×19,5 cm kartoniert DM 12,60 · Staffelpreise: ab 5 Expl. DM 10,65; ab 10 Expl. DM 10,15; ab 25 Expl. DM 9,25; ab 50 Expl. DM 8,85.
ESV-Taschenbücher zum Umweltschutz.

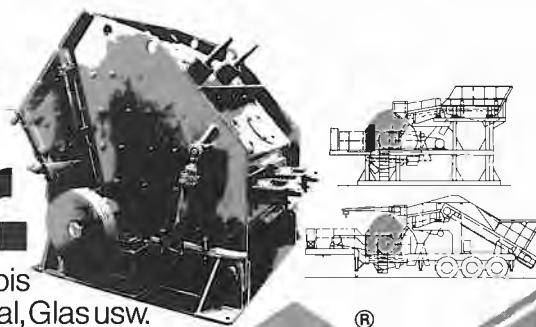
Der **Abfallkatalog** dient einer einheitlichen Benennung, Systematik, Beschreibung und Bewertung von Abfällen als zweckmäßige Voraussetzung für viele Aufgaben in Verwaltung und Wirtschaft.

Die „**Informationsschrift Abfallarten**“ ist eine große Hilfe für alle Beseitigungspflichtigen, insbesondere gewerbliche Betriebe, kommunale Behörden, Gebietskörperschaften und für alle, die sich mit diesen Fragen zu befassen haben.

Erich Schmidt Verlag Berlin · Bielefeld · München

Thema Baustoff-Recycling: O&K-Prallbrecher.

Stationäre, semi-mobile oder mobile Anlagen für Grob- bis Feinzerkleinerung von Bauschutt, Straßenaufbruchmaterial, Glas usw.



O&K

O&K Zementanlagen und Aufbereitungstechnik
Postfach 1025, 4722 Ennigerloh, Telefon (0 25 24) 30-1, Telex 89409

Wir kommen zu Ihnen ...



... mit unserer mobilen Recycling-Anlage

Wir lösen Ihre Aufarbeitungsprobleme von
Bauschutt und bit. Straßenaufbruch

Rufen Sie uns doch einfach an – wir beraten Sie gerne!



Heinrich Hebel GmbH & Co.
Bauunternehmen ☎ 07325/6041