

Verwitterungs- beständigkeit von Recycling-Baustoffen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 1

bast

Verwitterungs- beständigkeit von Recycling-Baustoffen

von

Karl-Heinz Guth

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 1

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht Ergebnisse aus ihrer Arbeit, vor allem Forschungsvorhaben, in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A – Allgemeines
B – Brücken- und Ingenieurbau
F – Fahrzeugtechnik
M – Mensch und Sicherheit
S – Straßenbau
V – Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Am Alten Hafen 113-115, D-2850 Bremerhaven 1, Telefon (04 71) 460 93-95, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 88 304:
Verwitterungsbeständigkeit von
Recycling-Baustoffen

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-5060 Bergisch Gladbach 1
Telefon (0 22 04) 4 30
Telefax (0 22 04) 4 38 32

Redaktion:
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-2850 Bremerhaven 1
Telefon (04 71) 460 93-95
Telefax (04 71) 427 65

ISSN 0943-9323
ISBN 3-89429-320-9

Bergisch Gladbach, April 1993

Kurzfassung · Abstract · Résumé

Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen

Um die bisherigen Kenntnisse über die Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen zu erweitern, wurde deren Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel in verschiedenen Versuchsdurchführungen in Verbindung mit der Raumbeständigkeit und der Widerstandsfähigkeit gegen Schlag geprüft.

Die Untersuchungen zeigten, daß zu den für bewährte Mineralstoffe geltenden Prüfungen zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel ergänzende Verfahren zugefügt werden müssen, um die Recyclingbaustoffe besser beurteilen zu können.

So können mit einem Prüfverfahren, bei dem die Erhöhung des Feinkornanteils im Gemisch ermittelt wird, gute Aussagen gemacht werden.

Es werden Aussagen zu Kennzeichnung, Festigkeit und Raumbeständigkeit der Recycling-Baustoffe gemacht und dazu Empfehlungen gegeben.

Weathering resistance of recycled construction materials

In order to improve the previous knowledge about the weathering resistance of recycled construction materials, their susceptibility to the freezing-thaw cycle was studied in various tests in connection with their volume stability and impact resistance.

The studies revealed that in order to improve the evaluation of recycled construction materials supplementary methods in addition to tests into the susceptibility to the freezing-thaw cycle traditionally used on accepted mineral aggregates are required. A method determining the increased content of fines in aggregates has proved to be a valuable evaluation instrument in this context.

The report includes information on classification, material strength, and volume stability of recycled construction materials as well as recommendations concerning their use.

La résistance des matériaux de construction recyclés à l'altération due aux intempéries

Pour approfondir les connaissances sur la résistance des matériaux de construction recyclés à l'altération due aux intempéries, leur résistance aux changements gel/dégel a été étudiée. A cet effet, plusieurs essais ont été effectués en étudiant aussi la constance de volume et la résistance aux chocs.

Les études ont montré qu'une bonne évaluation des matériaux recyclés demande des procédés supplémentaires aux essais courants visant à déterminer la résistance des agrégats traditionnels aux changements gel/dégel. Une méthode d'essai déterminant la fraction augmentée de grains fins dans un mélange permet, par exemple, de faire de bonnes évaluations.

Le rapport fournit des informations sur la marque, la résistance et la constance de volume des matériaux recyclés et donne des recommandations à l'égard de l'emploi.

Inhalt

1	Zielsetzung	7	6	Schlußfolgerungen	16
			6.1	Kennzeichnung	16
2	Untersuchungsprogramm.	7	6.2	Widerstand gegen Frost	16
2.1	Stoffliche Zusammensetzung	7	6.3	Mechanische Festigkeit	16
2.2	Kornverteilung	7	6.4	Weitere Untersuchungen	16
2.3	Kornform.	8			
2.4	Dichten.	8		Literatur	17
2.5	Mechanische Festigkeit	8			
2.6	Wasseraufnahme	8		Anlagen.	19
2.7	Widerstand gegen Frost-Tau- Wechselbeanspruchung.	8			
2.8	Raumbeständigkeit	8			
2.9	Festigkeitsverhalten nach Frost-Tau- Wechseln oder Kochen	9			
2.10	Proctordichte	9			
2.11	CBR-Wert	9			
3	Herkunft und Aufbereitung	9			
4	Untersuchungsergebnisse	10			
4.1	Stoffliche Zusammensetzung	10			
	Betonbruch aus Decken von Bundesautobahnen	10			
	Hochbauschutt mit Straßenaufbruch . .	10			
	mit Recyclingmaterial vermischte Mineralstoffe	10			
4.2	Kornzusammensetzung	10			
4.3	Kornform.	11			
4.4	Rohdichten.	11			
4.5	Mechanische Festigkeit	11			
4.6	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	11			
4.7	Widerstand gegen Frost-Tau- Wechselbeanspruchung.	11			
4.8	Raumbeständigkeit	12			
4.9	Festigkeitsverhalten nach der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung und nach dem Kochen.	13			
4.10	Proctordichte	13			
4.11	CBR-Wert	13			
5	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	13			
5.1	Mechanische Festigkeit	13			
5.2	Verwitterungsbeständigkeit	14			
5.3	Raumbeständigkeit	15			
5.4	CBR-Werte.	15			

1 Zielsetzung

Nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 1989 fallen in den alten Bundesländern ca. 22,6 Mio t/Jahr Bauschutt und ca. 10 Mio t/Jahr Baustellenabfälle an. Das Verwertungsgebot des Abfallgesetzes, hohe Deponiekosten und ein annehmbarer Stand der Wiederaufbereitung machen diese Stoffe für den Straßenbau als Anwendungsbereich von Massengütern interessant. In wiederaufbereiteter Form werden sie als Recycling-Baustoffe bezeichnet, ohne daß dieser Begriff präzise definiert ist. Auch in diesem Bericht werden sie zusammenfassend als Recycling-Baustoffe bezeichnet.

Im Teil „Wiederverwendung von Baustoffen“ des „Merkblattes über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau“ [1] werden die Bedingungen, unter denen wiedergewonnene Baustoffe im Straßenbau eingesetzt werden können, beschrieben. Dazu werden anwendungsbedingte Anforderungen genannt, ohne spezielle Angaben zur Verwitterungsbeständigkeit dieser wiederzuverwendenden Baustoffe zu machen. In den Güte- und Prüfbestimmungen „Recycling-Baustoffe für den Straßenbau RAL-RG 501/1“ [2] werden hingegen für aufbereiteten Bauschutt der Güteklasse I die für Mineralstoffe im Straßenoberbau geltenden Anforderungen der TL Min-StB 83 [3] und für Güteklasse II ermäßigte Anforderungen erhoben. Um eine Übersicht über das Verhalten von aufbereiteten Baustoffen, speziell bei der Beanspruchung durch Frost-Tau-Wechsel, zu erhalten, werden möglichst unterschiedliche, als „Recycling-Baustoffe“ angebotene Korngemische untersucht.

Aufgrund ihrer heterogenen Zusammensetzung und der Materialeigenschaften der einzelnen im Recycling-Baustoff enthaltenen Komponenten wird die Eignung der für natürliche Mineralstoffe eingeführten Prüfungen zur Feststellung der Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen angezweifelt. Aus diesem Grunde werden neben den eingeführten Prüfverfahren auch Möglichkeiten erprobt, durch Modifikationen oder neue Verfahren bessere Aussagen über die Verwitterungsbeständigkeit der Recycling-Baustoffe zu bekommen.

2 Untersuchungsprogramm

Um einen Überblick über das Verhalten der Recycling-Baustoffe zu bekommen, werden in Recycling-

anlagen, mobiler und stationärer Art, welche die verschiedensten Stoffe wiederaufbereiten, Proben entnommen.

Mit diesen Proben werden Eignungsprüfungen, wie sie für Korngemische für ungebundene Tragschichten vereinbart werden, durchgeführt. Zur Untersuchung der Recycling-Baustoffe auf ihre Verwendbarkeit als Straßenbaustoff bestehen keine speziellen Prüfverfahren. Sie werden daher im wesentlichen nach Prüfverfahren für die natürlichen Mineralstoffe des Straßenbaus untersucht. Vornehmlich wird die Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel geprüft.

In engem Zusammenhang mit der Verwitterungsbeständigkeit steht die mechanische Festigkeit der wiederzuverwendenden Baustoffe. Diese wird daher in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. So wird die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag, als das maßgebende Verfahren zur Bestimmung der Festigkeit für Mineralstoffe des Straßenoberbaus, vor und nach der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung geprüft, um die dadurch verursachten Minderungen der Festigkeit festzustellen.

Ebenso ist die Raumbeständigkeit ein Teil der Verwitterungsbeständigkeit und wird geprüft.

2.1 Stoffliche Zusammensetzung

Die Recycling-Baustoffe sind zunächst durch ihre stoffliche Zusammensetzung zu beschreiben. Dazu werden Teilproben ≥ 5 mm untersucht und gemäß Merkblattteil „Wiederverwendung von Baustoffen“ in folgende Stoffgruppen sortiert:

- Asphalt (Asphaltgranulat)
- Beton, Betonwerksteine
- sonstige hydraulisch gebundene Materialien
- Natursteine, gebrochenes Naturgestein, Gleis-schotter
- Kies, Sand
- Ziegel, Mauerwerk, Steinzeug.

Die stoffliche Zusammensetzung ist anteilmäßig in Gew.-% anzugeben. Aus ihr wird auf die Verwendbarkeit des Stoffgemisches geschlossen.

2.2 Kornverteilung

Die Kenntnis der Kornverteilung eines mineralischen Baustoffes ist eine Grundvoraussetzung zu dessen Bewertung. Aus dieser können z. B. die Verdichtbarkeit und die Frostempfindlichkeit beurteilt werden.

Prüfanweisung ist DIN 52 098, Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Siebanalyse.

Die Siebungen werden als Naßsiebung mit einer Siebmaschine durchgeführt.

2.3 Kornform

Die Kornform beeinflusst ebenfalls die Verdichtungswilligkeit eines Korngemisches. Außerdem kann sie u. a. die Kornfestigkeit beeinflussen.

Prüfanweisung ist DIN 52 114, Bestimmung der Kornform mit dem Kornform-Meßschieber.

Bei Mineralstoffen wird die Kornform der Körner über 4 mm durch einen Kornform-Meßschieber bestimmt. Sie wird durch ein Verhältnis von Länge zu Dicke gleich 3:1 des Kornes gekennzeichnet.

2.4 Dichten

Es werden Dichte (vormals Reindichte) oder Rohdichte unterschieden. Die Dichten von Naturstein und Gesteinskörnungen sind der Quotient aus ihrer Masse und ihrem Volumen im Prüfzustand, wobei der unzugängliche Porenraum im Volumen enthalten ist.

Die Dichten eines Gesteins werden zur Berechnung des Dichtigkeitsgrades und der Gesamtporosität gebraucht. Ferner werden die Einwaagen für Festigkeitsprüfungen über die Rohdichte berechnet.

Prüfanweisung ist DIN 52 102, Bestimmung von Dichte, Trockenrohichte, Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität.

Bei der Untersuchung der Recyclingbaustoffe werden vorwiegend die Rohdichten der Einzelkörnungen 8/12 und 35/45 mm untersucht.

2.5 Mechanische Festigkeit

Die Bestimmung der mechanischen Festigkeit wird zur Festlegung der Verwendbarkeit des jeweiligen Mineralstoffes in den verschiedenen Straßen, abhängig von der Schicht im Oberbau und der Verkehrsbelastung, benutzt.

Prüfanweisung ist DIN 52 115, Teil 2, Schlagversuch an Schotter und Teil 3, Schlagversuch an Splitt und Kies Kornklasse 8/12,5 mm Einzelkörnungen, Splitt 8/12 und Schotter 35/45 werden unter definierten Bedingungen auf Schlag beansprucht. Anhand von Siebungen nach dem Schlagversuch wird die Kornverfeinerung errechnet, mit der die Festigkeit ausgedrückt wird. Vor der Prüfung werden in den Recycling-Baustoffen enthaltene Anteile Asphaltgranulat aussortiert.

2.6 Wasseraufnahme

Gesteine für den Straßenbau müssen verwitterungsbeständig sein. Ein Gestein, mit einer Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck bis 0,5 Gew.- % wird für den Straßenbau als ausreichend verwitterungsbeständig bezeichnet. Bei höherer Wasseraufnahme ist eine Frost-Tau-Wechsel-Prüfung notwendig.

Prüfanweisung ist DIN 52 103, Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert. Schotter- oder Handstücke von 150 bis 350 g mit außerdem vorgegebenen Abmessungen werden in Wasser unter Atmosphärendruck gelagert und ihre Wasseraufnahme geprüft.

2.7 Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung

Gesteine, welche mehr als 0,5 Gew.- % Wasser aufnehmen, müssen der Frost- Tau-Wechselbeanspruchung unterworfen werden und dürfen nach dieser nur eine Höchstmenge an Frostabsplitterungen aufweisen. Erfüllen sie diese Anforderung, gelten sie je nach Verwendungszweck als verwitterungsbeständig.

Prüfanweisung ist DIN 52 104, Teil 1, Frost-Tau-Wechsel-Versuch.

Gestein und Gesteinskörnungen werden wassergesättigt und nach einem festgelegtem Temperaturverlauf in Gefäßen, unter Wasser liegend, Frost-Tau-Wechseln unterworfen. Es werden Schotter, Splitt und das abgestufte Korngemisch auf Zerstörungen durch Frosteinwirkungen untersucht.

Die Untersuchung des abgestuften Korngemisches ist kein genormtes Verfahren. Sie wird nur regional an Recycling-Baustoffen durchgeführt.

Hierfür wird das Prüfverfahren nach den Anforderungen der „Vorläufigen Lieferbedingungen für die Wiederverwendung von Baustoffen im Straßenbau“ des Hessischen Landesamtes für Straßenbau angewandt. [4] (Anlage 1)

2.8 Raumbeständigkeit

Das Straßenbaumaterial muß raumbeständig sein, damit im fertigen Straßenbauwerk keine Schäden durch Quellen, Treiben oder Sackungen entstehen. Für die Bestimmung der Raumbeständigkeit gibt es z. Z. noch kein einheitliches Verfahren. Daher wird hilfsweise der Kochversuch zur Prüfung herangezogen.

Prüfanweisung ist TP Min. – Teil 4.2, Ziffer 4.2.

Die Korngemische werden gewaschen, getrocknet und eingewogen. Sie werden dann 36 Std. gekocht, wobei sie immer von Wasser bedeckt sein müssen. Anschließend werden sie wieder getrocknet, abgeseibt und ausgewogen. Das Korngemisch 2/45 und stichprobenartig das Gemisch 0,063/45 mm werden geprüft.

2.9 Festigkeitsverhalten nach Frost-Tau-Wechseln oder Kochen

Schäden durch Frostbeanspruchung zeigen sich nicht immer durch Absplitterungen. Es kann auch eine Lockerung des Gefüges stattgefunden haben. Um das zu überprüfen, werden die Ergebnisse der Festigkeitsbeanspruchung vor und nach Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchungen oder Kochen verglichen und festgestellt, ob eine Minderung der Festigkeit stattgefunden hat.

Prüfanweisung ist DIN 52 104 und 52 115.

Die Versuchsdurchführung ist unter 2.5 und 2.7 beschrieben. Für die Schlagversuche nach Frost-Tau-Wechseln oder Kochen werden die nach Korngrößen bereinigten Prüfkörnungen, also ohne die bereits durch Frost oder Kochen zerkleinerten Körner, eingesetzt.

2.10 Proctordichte

Zweck des Proctorversuches ist es, die Verdichtbarkeit, in Abhängigkeit vom Wassergehalt, eines Bodens unter festgelegten Versuchsbedingungen festzustellen. Der Versuch dient der Abschätzung der auf Baustellen erreichbaren Dichte des Bodens und liefert eine Bezugsgröße für die Beurteilung der erreichten Dichte. Die Proctordichten an den Recyclingbaustoffen werden im Rahmen dieser Arbeit für die auszuführenden CBR-Versuche bestimmt.

Prüfanweisung ist DIN 18 127, Proctorversuch.

Es werden nur drei ausgewählte Materialgemische untersucht: BAB betonhaltiges Material, Hochbauschutt mit Straßenaufbruch und mit Recycling-Material vermischte Mineralstoffe.

2.11 CBR-Wert

Der CBR-Versuch dient zur Ermittlung eines empirischen Maßes für die Festigkeit des Bodens, des sog. CBR-Wertes. Er wurde für die Dimensionierung von Straßenbefestigungen entwickelt und wird vermehrt auch für die Beurteilung der Frostempfindlichkeit von Böden und industriellen Nebenprodukten als Straßenbaustoffe herangezogen.

Aufgrund der Erfahrungen der BAST aus früheren CBR-Versuchsreihen bestehen allerdings Vorbehalte hinsichtlich der Versuchsdurchführung bei gemischtkörnigen Materialien mit grobem Größtkorn, wie sie die Recycling-Baustoffe darstellen. Zur Erprobung werden trotzdem einige der untersuchten Proben dem CBR-Versuch vor und nach Frost-Tau-Wechseln unterworfen.

Geprüft wird nach Teil B 7.1 der Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, CBR-Versuch.

Dazu werden versuchsbedingt die beim Proctorversuch genannten Gemische verwendet. Bestimmt werden die CBR-Werte ohne weitere Vorbehandlung, CBR_O , und nach drei Frost-Tau-Wechseln, CBR_{ft} .

3 Herkunft und Aufbereitung

Die untersuchten 18 Proben stammen aus jeweils anderen Bauschutt-Recyclinganlagen oder aus mobilen Aufbereitungsanlagen auf Autobahnbaustellen, in denen die aufgenommenen Betonplatten an Ort und Stelle verarbeitet wurden.

Es wurden in folgenden Bundesländern Proben gezogen:

Nordrhein-	10	Stationäre Aufbereitungen
Westfalen	2	Mobile BAB-Aufbereitungen
Rheinland-Pfalz	3	Stationäre Aufbereitungen
Bremen	1	Mobile BAB-Aufbereitung
Niedersachsen	2	Mobile BAB-Aufbereitungen

Die Aufbereitungsanlagen waren alle in gewisser Weise ähnlich gestaltet. Es gab lediglich im Bereich der Bevorratung des aufbereiteten Produkts große Unterschiede. Die gebrauchten Baustoffe wurden in der Regel wie folgt zu Recycling-Baustoffen aufbereitet:

Abbruch-Betone, vorwiegend aus dem Hochbau, Straßenaufbruch mit und ohne Asphaltanteilen, Bodenaushub und anderes werden per LKW angeliefert und gelagert. Dabei erfolgt schon bei der Anlieferung des Rohmaterials eine Vorsortierung in Bezug auf Verunreinigungen und Feinmaterial. Das gelagerte Gut wird einer Prallmühle zugeführt, die es in die endgültigen Körnungen zerkleinert. Nach der Prallmühle durchläuft das Material ein Sieb, in dem der größte Anteil der Körnung 0/2 mm abgeseibt wird. Das Siebgut 2/x mm mit den restlichen Anteilen 0/2 mm wird über ein Band zu einer Sieb-

rinne geleitet, welche in die Körnungen 0/45 und 45/120 mm trennt. Das Siebgut 0/45 mm wird als Frostschutzmaterial vertrieben, das Material 45/120 mm für mechanische Bodenverbesserung verwendet.

Die mobilen BAB-Aufbereitungsanlagen an den Autobahnbaustellen stellten vorwiegend das Material her, welches sofort wieder in Tragschichten eingebaut wurde. Überkorn wurde wieder dem Brechvorgang zugeführt und auf das vorgegebene Größtkorn reduziert.

4 Untersuchungsergebnisse

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen sind in einer Tabelle (Anlage 2) zusammengefaßt und auf weiteren Anlagen dargestellt.

Ferner sind sowohl im Text wie in einigen Anlagen Mittelwert und Standardabweichung, sowie in einzelnen Fällen auch die entsprechenden Anforderungen angegeben.

Bei allen Prüfungen wurde versucht, die gleiche Zusammensetzung des Materials, auch in den Teilproben, durch mechanische Probeteilung zu gewährleisten.

4.1 Stoffliche Zusammensetzung

Stofflich setzen sich die untersuchten Recyclingbaustoffe aus wechselnden Anteilen Betonbruch, Asphaltgranulat, Naturstein und in geringem Maße aus anderem hydraulisch gebundenem Material und Anteilen an Ziegel, Mörtel und Leichtbaustoffen, sowie Mauerwerksbruch zusammen (Anlage 2 und 3). Die Natursteine stammen teils aus Tragschichten ohne Bindemitteln oder dem Straßenunterbau, teils sind sie aus dem Betonbruch herausgelöst. Die einzelnen Bestandteile schwanken dabei anteilmäßig sehr stark. Im Einzelnen wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- **Betonbruch aus Decken von Bundesautobahnen**

Dieses Material, Proben Nr. 1 bis 5, ist durch den qualitativ guten Beton, nach Angaben der örtlichen Bauleitungen mit Druckfestigkeiten bis 60 N/mm², gekennzeichnet. Es enthält zwischen 74 und 100 Gew.-% Beton.

- **Hochbauschutt mit Straßenaufbruch**

Die Mehrzahl der Proben (Nr. 6 + 8 bis 15) besteht aus aufbereiteten Gemischen verschiedener Korn-

größen aus Hochbauschutt und Straßenaufbruch: Hydraulisch gebundenen Materialien, Naturstein, Asphaltgranulat, Ziegel und Mauerwerk. Die Anteile der verschiedenen Komponenten der Mischungen sind je nach Einzugsgebiet und Art der abgebrochenen Bauwerke sehr uneinheitlich.

Ein besonderes Material stellen die Proben Nr. 7 und 16 dar. Sie bestehen zu rund 70 Gew.-% aus Betonbruch des Hochbaus bis zur Festigkeitsklasse B25 mit Bruchstücken aus Ziegel und Mauerwerk sowie einem Anteil Naturstein aus dem Beton.

- **mit Recyclingmaterial vermischte Mineralstoffe**

Zu ungebrauchten Tragschichtmaterialien aus Naturstein oder Hüttenschlacken wurden Ausbauphosphat oder aufbereiteter Straßenaufbruch zugesetzt (Proben Nr. 17 + 18). Bei den untersuchten Materialien beträgt der Zusatz von Recyclingmaterial zwischen 8 und 30 Gew.-%.

4.2 Kornzusammensetzung

Die untersuchten Recycling-Baustoffe fallen meist als ungleichkörnige, stetig abgestufte Korngemische an. Die Kornverteilungen entsprechen denen von Kies-Sand-Gemischen der Bodengruppe GW „weitgestufter Kies“ nach DIN 18 196. Das Größtkorn liegt zwischen 45 und 63 mm. Der Mittelwert der abschlämmbaren Bestandteile beträgt 3,3 Gew.-% bei einer Standardabweichung von 1,74 Gew.-% (Anlage 4 und 5). Die abschlämmbaren Bestandteile $\leq 0,063$ mm betragen bei 18 Untersuchungen nur in zwei Fällen über 5 Gew.-% (Anlage 6). Alle untersuchten Proben erfüllen die Anforderungen hinsichtlich der Frostempfindlichkeit von Tragschichten ohne Bindemittel (Kornanteil $\leq 0,063$ mm bzw. < 5 bzw. 7 Gew.-% der ZTVT-StB 86/90 [5]).

Die Proben für die Kornzusammensetzung konnten in den wenigsten Fällen vom Verladeband entnommen werden. Sie wurden meistens als Einzelproben von verschiedenen Stellen der Vorratshalden entnommen und dann als Sammelprobe zusammengesetzt. Daraus wurde dann mittels Drehteiler die Laboratoriumsprobe gezogen. So stellt sich der Sieblinienbereich der sehr unterschiedlichen Materialien recht eng dar. Nach den Erfahrungen bei den Probenahmen ist dieses Ergebnis zu positiv, da gerade bei der Aufhaltung bzw. der Lagerhaltung der Gemische nicht immer viel Sorgfalt darauf gelegt wurde, eine Entmischung zu verhindern.

4.3 Kornform

Das gewogene Mittel ungünstig geformter Körner in den Gemischen liegt zwischen 2,5 und 24,0 Gew.-%. Der Mittelwert beträgt 8,5 Gew.-% bei einer Standardabweichung von 5,0 Gew.-% (Anlage 7). Alle untersuchten Proben erfüllen damit die Anforderungen der TL Min-StB 83 an die Kornform von Kies, Schotter und Splitt.

4.4 Rohdichten

Es wurden die Rohdichten von Schotter 35/45 und Splitt 8/12 untersucht. Die Ergebnisse sind Mittelwerte aus jeweils 2 Versuchen (Anlage 8). Sie liegen beim Schotter zwischen 2,089 und 2,404 g/cm³, speziell beim Schotter aus BAB-Betonbruch zwischen 2,220 und 2,303 g/cm³. Der Mittelwert von allen Materialien beträgt 2,26 g/cm³ bei einer Standardabweichung von 0,148 g/cm³. Beim Splitt liegen die Rohdichten zwischen 2,495 und 2,884 g/cm³, während sie speziell beim BAB Betonbruch zwischen 2,598 und 2,665 g/cm³ betragen. Die hohe Rohdichte von 2,884 g/cm³ wird durch den hohen Anteil von 92,4 Gew.-% Basalt im Baustoffgemisch verursacht. Der Mittelwert aller Splitte beträgt 2,60 g/cm³ bei einer Standardabweichung von 0,081 g/cm³.

Im Vergleich zu Naturstein sind diese Rohdichten eher niedrig. Die Rohdichten der Korngemische mit einem hohen Anteil „BAB-Betonbruch“ lagen enger zusammen und waren geringfügig höher als der jeweilige Mittelwert aller untersuchten Materialien.

4.5 Mechanische Festigkeit

Die SD₁₀-Werte des Schotters schwanken zwischen 29 und 46 Gew.-%, Mittelwert 34,4 Gew.-% bei einer Standardabweichung von 6,64 Gew.-% (Anlage 9). In den TL Min- StB 83 werden in Tabelle 3 für Naturstein SD₁₀-Werte bis 30 Gew.-% (Kalkstein, Dolomitstein) und für bestimmte Hütten-schlacken bis 34 Gew.-% angegeben. Der Mittelwert für Schotter der untersuchten Recycling-Baustoffe ist höher, also ungünstiger als die für die bewährten Mineralstoffe zulässigen Richtwerte. Bei einer Zugrundelegung eines Grenzwertes von SD₁₀ = 30 Gew.-% liegen von den betrachteten 16 Proben 10 der ermittelten Schlagzertrümmerungswerte des Schotters deutlich darüber, 1 weiterer bei 30 Gew.-% und nur 5 darunter.

Die Zertrümmerungswerte SZ_{8/12} der Splitte schwanken zwischen 20,6 und 33,2 Gew.-%, Mittelwert 24,2 Gew.-% bei einer Standardabweichung

von 3,60 Gew.-% (Anlage 10). Dieser Wert entspricht denen weniger fester, aber in Trag-schichten bewährten Mineralstoffen der genannten Tabelle 3.

4.6 Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck

Die Wasseraufnahme wurde an Hand- oder Schotterstücken ermittelt. Die aufgeführten Ergebnisse sind gewogene Mittelwerte der verschiedenen Mineralstoffe im Gemisch. Die Werte liegen zwischen 1,10 und 8,29 Gew.-%. Der Mittelwert beträgt 4,60 Gew.-% und die Standardabweichung 2,122 Gew.-% (Anlage 11).

Die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck aller Recycling-Materialien im gewogenen Mittel liegt deutlich höher als 0,5 Gew.-%, so daß zur Beurteilung des Widerstandes gegen Frost gemäß TL Min-StB immer ein Frost-Tau-Wechsel-Versuch durchgeführt werden mußte.

4.7 Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung

Von den untersuchten Materialien wurden alle Splitte, bis auf ein Material alle Gemische und die Schotterfraktionen aus 15 Proben der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung unterworfen. Die Einzelergebnisse enthält Tabelle 1.

Nr. der Probe	Schotter ≤ 22 mm Gew.-%	Splitt ≤ 5 mm Gew.-%	Gemische ≤ 0,063 mm Gew.-%
1	0,8	1,5	1,2
2	0,2	1,1	1,0
3	1,9	2,6	1,8
4	0,2	1,1	1,0
5	2,8	2,5	0,5
6	7,8	4,7	0,8
7	2,0	5,8	2,2
8	2,5	6,3	0,4
9	2,1	6,3	1,1
10	10,8	3,0	0,7
11	5,7	5,3	1,0
12	5,9	3,1	2,8
13	1,1	2,5	1,8
14	—	8,7	1,0
15	—	8,4	1,0
16	5,0	11,0	—
17	—	2,2	1,1
18	2,1	2,6	1,0

Tab. 1: Absplitterungen nach Frost-Tau-Wechseln

Die Ergebnisse, statistisch zusammengefaßt, betragen:

Frostabsplitterungen	
≤ 22 mm am Schotter:	0,2 bis 10,8 Gew.- %
Mittelwert:	3,4 Gew.- %
Standardabweichung:	3,04 Gew.- %
Anforderung nach TL Min-StB 83:	≤3,0 Gew.- %

(Anlage 12).

Es erfüllen 10 Schotterproben von 15 die Anforderungen der TL Min-StB 83

Frostabsplitterungen	
≤5 5 mm am Splitt:	1,1 bis 11,0 Gew.- %
Mittelwert:	4,4 Gew.- %
Standardabweichung:	2,87 Gew.- %

(Anlage 13)

Anforderung nach TL Min-StB 83: ≤3,0 Gew.- %
Danach erfüllen 9 Splittproben von 18 die Anforderungen der TL Min-StB 83

Frostabsplitterungen	
≤ 0,063 mm am Gemisch:	0,5 bis 5,0 Gew.- %
Mittelwert:	1,6 Gew.- %
Standardabweichung:	0,62 Gew.- %

(Anlage 14).

Bei den untersuchten 18 Recycling-Baustoffen werden deutliche Unterschiede im Frostverhalten zwischen den aufbereiteten BAB-Betonen und den übrigen Materialien festgestellt. So verhalten sich die hochwertigen, zu Schotter und Splitt aufbereiteten BAB-Betone in der Frost-Tau-Wechselprüfung ähnlich wie im Straßenbau bewährte Natursteine. Ihre Schotter- und Splittkörnungen entsprechen hinsichtlich der Frostbeständigkeit den Anforderungen der TL Min-StB 83.

Bei den anderen Recycling-Baustoffen entstehen zum Teil sehr hohe Frostabsplitterungen von bis 10,8 Gew.- % beim Schotter und bis 11,0 Gew.- % beim Splitt. Bei den Splitten aus Hochbauschutt und Straßenaufbruch können nur zwei von elf die Anforderungen der TL Min-StB 83 erfüllen. Eine Regelmäßigkeit, die auf die Ursache dieser ungenügenden Materialeigenschaft hingewiesen hätte, etwa hohe Anteile an wenig festem Beton, war nicht ersichtlich.

Die Kornverfeinerung (Korn ≤ 0,063 mm) der weiten Korngemische nach der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung nach der Hessischen Prüfanweisung ist sowohl als absoluter Wert, wie in Verbindung mit dem bereits in der Lieferkörnung vorhandenem Schlämmerkorn zu bewerten. Die Absplitterungen ≤ 0,063 mm aller Korngemische ohne Schlämmerkorn nach der Frost-Tau- Wechsel-Beanspruchung sind

deutlich geringer als der zulässige Höchstwert für Korngemische für Tragschichten ohne Bindemittel. Nach der Regelung des hessischen Landesamtes für Straßenbau sind aber die Summen der Kornanteile ≤ 0,063 mm aus dem nicht behandeltem Korngemisch und dem durch die Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchungen entstehende Feinkorn zu bewerten (Anlage 15). Dann beträgt der Schlämmerkornanteil im Mittel 4,7 Gew.- % bei einer Standardabweichung von 1,89 Gew.- %, einem Kleinstwert von 1,6 Gew.- % und einem Höchstwert von 7,8 Gew.- %. 6 Proben erfüllen nicht die Anforderungen der hessischen Regelung. Dabei fällt auf, daß davon 5 Proben bereits nur durch den hohen Anteil an Schlämmerkorn in der Lieferkörnung den Grenzwert überschreiten, während das bei der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung anfallende Schlämmerkorn bei diesen Proben 1 Gew.- % nicht übersteigt.

4.8 Raumbeständigkeit

Beim Durchgang durch das 2-mm-Sieb nach dem Kochen betragen bei 14 Versuchen mit dem Korngemisch 2/45 die Absplitterungen zwischen 0,5 und 1,5 Gew.- %, Mittelwert 0,95 Gew.- %, Standardabweichung 0,238 Gew.- %. Beim Durchgang durch das 0,063-mm-Sieb – es wurden stichprobenartig 4 Versuche mit dem Korngemisch 0,063/45 durchgeführt – liegen die Absplitterungen zwischen 0,21 und 1,8 Gew.- %, Mittelwert 0,99 Gew.- % (Anlagen 2 und 16).

Es wurde beobachtet, daß durch den Kochversuch Materialien zerkleinert werden, die z. T. im Frostversuch nur unwesentlich reagieren (einzelne Porenbetone, Fertiginnenputze).

Eine quantitative Anforderung für die Raumbeständigkeit von Mineralstoffen gibt es nicht. Zur Beurteilung der Absandungen nach dem Kochen wird behelfsweise der Grenzwert von ≤ 1 Gew.- %, analog zur Beurteilung von Sonnenbrennerbasalten, zugrunde gelegt. Danach erfüllen bei der Absiebung mit dem 2-mm-Sieb 12 von 14 Materialien diese Anforderung. Lediglich bei den Proben 12 und 17 wird der Grenzwert merklich überschritten. Dabei handelt es sich um Materialien mit einem hohem Anteil von Ausbauasphalt (Probe 12) oder mit einem hohem Anteil an Basalt (Probe 17). Vermutlich enthält der Basalt Anteile an Sonnenbrand-Gestein. Die Absiebung mit dem 0,063-mm-Sieb ergibt eine etwas größere Spreizung der Ergebnisse, die darauf hindeuten, daß sich das Kochen im Sandbereich stärker auswirkt. Hier müßten spezielle Untersuchungen durchgeführt werden.

4.9 Festigkeitsverhalten nach der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung und nach dem Kochen

Sowohl nach der Beanspruchung durch Frost-Tau-Wechsel als auch durch den Kochversuch wurden die Korngrößenbereinigten Schotter und Splitt dem Schlagversuch unterworfen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse einander gegenübergestellt.

Nr.	Schotter SD ₁₀			Splitt SZ _{8/12}		
	1 Gew.-%	2 Gew.-%	3 Gew.-%	1 Gew.-%	2 Gew.-%	3 Gew.-%
1	31	34	—	22,0	22,7	—
2	35	36	—	22,6	23,3	—
3	34	33	—	24,4	24,5	—
4	29	29	—	23,6	25,0	—
5	35	35	33	21,0	21,3	21,2
6	40	37	29	20,6	21,5	20,5
7	44	50	49	27,6	29,8	28,2
8	39	41	35	21,9	23,4	22,4
9	30	37	36	23,9	22,3	24,3
10	33	36	38	25,1	23,3	23,2
11	30	32	31	26,7	24,9	26,2
12	34	39	37	26,6	25,7	23,8
13	19	18	17	17,9	21,1	21,9
14	41	—	—	28,1	—	—
15	—	—	—	26,7	—	—
16	46	50	—	33,2	34,0	—
17	—	—	—	20,3	19,7	22,5
18	30	29	29	22,9	22,7	21,8

1 ohne Behandlung – 2 Nach Frost – 3 Nach Kochen

Tab. 2: Vergleich Schlagversuche Schotter und Splitt

Aus der Gegenüberstellung ergibt sich unter Berücksichtigung der Wiederholpräzision des Verfahrens beim Schotter: Von 15 SD₁₀-Werten sind nach der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung 6 schlechter als beim ungefrorenen Material (Anlage 17). Von 10 SD₁₀ Werten sind nach dem Kochen 3 schlechter und 1 besser als beim ungekochten Material.

Beim Splitt ergaben sich folgende Vergleiche: Von 16 SZ_{8/12}-Werten sind 3 schlechter und 1 besser als ohne Frost-Tau-Beanspruchung (Anlage 18). Von 11 SZ_{8/12}-Werten sind 2 schlechter und 1 besser als vor dem Kochen. Bei der Probe 17 wird durch die deutliche Zunahme des Zertrümmerungswertes die Vermutung der Sonnenbrenneranteile im Basalt bestätigt. Die verbesserten Werte ergeben sich sowohl für den Schotter als auch für den Splitt durch das Abtrennen der bereits beim Frost-Tau-Wechsel oder beim Kochen zerfallenen Körner vor den Schlagversuchen.

4.10 Proctordichte

Von den Proben Nr. 5, 11 und 13 wurde die einfache Proctordichte im Prüfzylinder, d 1 = 150 mm, ermittelt. Ergebnisse enthält Tabelle 3:

Probe Nr.	ρ_{Pr} g/cm ³	W _{Pr} Gew.-%
5	1,96	7,5
11	1,81	4,7
13	1,94	5,5

Tab. 3: Proctordichten einiger Recycling-Baustoffe

4.11 CBR-Wert

Mit den Proben Nr. 5, 11 und 13 wurden, ausgehend von den Proctordichten, CBR-Versuche durchgeführt. Bei allen Versuchen war der CBR-Wert bei einer Eindringtiefe von 5,0 mm größer als der bei 2,5 mm. Es wurde daher, entsprechend der Prüfanweisung, jeweils ein zweiter Versuch zur Bestätigung der Werte gefahren. Die angegebenen CBR-Werte sind die bei einer Eindringtiefe von 5,0 mm erreichten Werte. Die Ergebnisse der Versuche und die sich daraus ergebenden Verhältniswerte CBR_{ft}/CBR_o sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Probe Nr.	CBR _o % Mittel aus 2 Versuchen	CBR _{ft} %	$\frac{CBR_{ft}}{CBR_o}$ %
5	73,7	131,3	1,78
11	32,1	36,4	1,13
13	39,9	25,2	0,36

Tab. 4: CBR-Werte einiger Recycling-Baustoffe

Die Wertung der Ergebnisse erweist sich als schwierig, da es im Deutschen Regelwerk keine Anforderungen mit CBR-Werten gibt. Anforderungen aus dem Ausland zu übernehmen, ist nicht ohne weiteres möglich, da teils der Zweck der Anforderungen nicht vergleichbar ist, teils die Versuchsdurchführungen unterschiedlich sind.

5 Diskussion der Untersuchungsergebnisse

5.1 Mechanische Festigkeit

Einen großen Einfluß auf die Beständigkeit einer Tragschicht hat die mechanische Festigkeit der Mineralstoffe. Bei zu geringer Festigkeit kann sich

durch die dynamische Beanspruchung der Feinkornanteile in der Tragschicht erhöhen und zur Frostempfindlichkeit, beitragen.

Die Festigkeit wird z. Z. durch die Schlagzertrümmerungswerte von Schotter und Splitt gekennzeichnet. Anforderungen für die Schlagfestigkeit von Recycling-Baustoffen gibt es z. Z. bundesweit nicht. Es wird jedoch auf die Werte der Tafel 3 der TL Min-StB 83 hingewiesen [1]. Dieser Hinweis zielt darauf, daß die Recycling-Baustoffe in ihre Bestandteile zerlegt werden, z. B. in die einzelnen Gruppen der Natursteine, Hochofen-Schlacke usw. und diese dann getrennt geprüft und beurteilt werden. Diese Verfahrensweise ist in der Praxis kaum oder nur schwer durchzuführen, weil es oft an der nötigen Menge der einzelnen Bestandteile mangelt und der Aufwand für das Aussuchen sehr groß ist. Außerdem können verschiedene Anteile des Materials wie Beton oder Klinkerbruch nicht den Mineralstoffarten der besagten Tabelle zugeordnet werden, da diese sich auf nur Natursteine und Schlacken bezieht.

Hilfreicher sind Anforderungen an das gesamte Stoffgemisch, welche für den speziellen Anwendungsbereich eine bestimmte Schlagfestigkeit fordern, z. B. für Tragschichten ohne Bindemittel. So haben schon einige Bundesländer Anforderungen für die Schlagfestigkeit von Recycling-Baustoffen festgelegt z. B.:

Hessen:	$SD_{10} = \leq 30 \text{ Gew.} - \%$ $SZ_{8/12} = \leq 34 \text{ Gew.} - \%$
Baden-Württemberg:	$SD_{10} = \leq 30 \text{ Gew.} - \%$ $SZ_{8/12} = \leq 26 \text{ Gew.} - \%$
Sachsen-Anhalt:	$SD_{10} = \leq 30 \text{ Gew.} - \%$ $SZ_{8/12} = \leq 34 \text{ Gew.} - \%$

Diese Festigkeiten sind dann qualitätsmäßig in der Größenordnung bei Hochofenstückschlacke B oder Metallhüttenschlacke 2 bzw. bei Kalk- oder Dolomitstein angesiedelt, die sich in Tragschichten des Oberbaues langjährig bewährt haben und in denen eine schadensverursachende Kornverfeinerung nicht festgestellt wurde. Diese Anforderungen an die Festigkeit des Stoffgemisches sollten allgemein als Beurteilungsgrundlage für Recycling-Material eingeführt werden.

Legt man dazu als gemittelte Werte der Anforderungen aus den Regelwerken der Bundesländer $SD_{10} \geq 30 \text{ Gew.} - \%$ für Schotter und $SZ_{8/12} \geq 32 \text{ Gew.} - \%$ für Splitt zugrunde, so können die Untersuchungsergebnisse der geprüften Recyclingbaustoffe wie folgt beurteilt werden: Von 18 untersuchten Splitten erfüllen 17 die Anforderung $SZ_{8/12} \leq 32$

Gew. - %, aber von 16 Schottern nur 5 die Anforderung $SD_{10} \leq 30 \text{ Gew.} - \%$. Probe 16 mit den ungünstigsten Festigkeitswerten – $SD_{10} = 46 \text{ Gew.} - \%$ und $SZ_{8/12} = 33,2 \text{ Gew.} - \%$ – besteht ganz überwiegend aus Hochbauschutt.

Auch von den 5 Aufbruch-Betonen aus Autobahndecken erfüllt nur der Schotter einer Probe die Anforderung. Vergleicht man die Werte der Schlagfestigkeiten von Schotter und Splitt der Tabelle 3 der TL Min [3], so ist festzustellen, daß die Zahlenwerte zum Schotter immer geringer sind als die der Splitte, während dies bei den Recycling-Baustoffen umgekehrt ist. Daraus läßt sich folgern, daß die Schotterkörner der Recyclingbaustoffe aufbereitungsbedingt im Vergleich zu den Splitten weniger fest sind. Es wird daher empfohlen, die Recyclingbaustoffe bis zu einem Größtkorn 32 mm zu zerkleinern.

5.2 Verwitterungsbeständigkeit

Die Frostbeständigkeit von Mineralstoffen für den Straßenbau, gekennzeichnet durch den Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung, ist das wesentliche Merkmal für die Verwitterungsbeständigkeit. Wie in Abschnitt 4.7 festzustellen ist, erfüllen nur 10 von 15 untersuchten Schotterproben und 9 von 18 untersuchten Splittproben die geltenden Anforderungen an die Frostbeständigkeit [3]. Dabei sind die Schotter und Splitte aller 5 Proben aus Autobahnbeton enthalten. Schließt man diese aus, ist das Ergebnis der Frost-Tau-Wechselprüfungen deutlich ungünstiger: 5 von 10 Schotterproben und 9 von 13 Splittproben, also mindestens die Hälfte der untersuchten Materialien, erfüllen nicht die Anforderungen. Die Frost- bzw. Witterungsbeständigkeit der Recycling-Baustoffe ist also wesentlich geringer als die der im Straßenbau bewährten natürlichen Gesteine oder der Hüttenschlacken.

Betrachtet man aber die die Frostempfindlichkeit von Tragschichten ohne Bindemittel bestimmenden Feinkornanteile ($\leq 0,063 \text{ mm}$), die im Korngemisch bei der gleichen Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung wie bei der Prüfung von Schotter und Splitt entstehen, so wird bei den untersuchten 18 Proben lediglich eine mittlere Menge von 1,2 Gew. - % festgestellt (Anlage 14). Bei nur 4 Proben wird dieser Wert überschritten.

Die bereits aufbereitungsbedingt in den Proben aus den Lieferkörnungen vorhandenen höheren Feinkornanteile betragen im Mittel 3,3 Gew. - % (Anlage 6). Sie werden nur bei 3 Proben durch die geringe Feinkornnachbildung infolge Frost-Tau-Wechsel-

Beanspruchung so vergrößert, daß die Frostempfindlichkeit eines Tragschichtmaterials nicht mehr gewährleistet wäre bzw. die Anforderungen [5] nicht mehr erfüllt würden (Anlage 15). Die kritische Erhöhung des Feinkornanteils $< 0,063$ mm der untersuchten Recycling-Baustoffe durch die Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung ist gering.

Diese für die Recycling-Baustoffe günstigere Betrachtungsweise wird durch Beobachtungen von Straßen mit Tragschichten ohne Bindemitteln aus Recycling-Baustoffen gestützt. So wurde 1988 die Frostschutzschicht einer Strecke der BAB A 44 bei Düsseldorf aus Recycling-Baustoffen mit hohem Anteil an Hochbauschutt und bis zu 11 Gew.-% Absplitterungen bei der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung der einzelnen Kornfraktionen gebaut. Bisher wurden dort keine Frostschäden beobachtet.

Weiterhin werden zur Beurteilung der Ergebnisse der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchungen mögliche Zusammenhänge zwischen den Daten der Prüfung des Schotters, des Splittes und des abgestuften Korngemisches untersucht (Anlagen 19–21). Dazu wurden folgende Korrelationskoeffizienten r berechnet:

Absplitterungen des Schotters zu Absplitterungen des Splittes
 $r = 0,35$

Absplitterungen des Schotters zu Absplitterungen des Korngemisches
 $r = -0,099$

Absplitterungen des Splittes zu Absplitterungen des Korngemisches
 $r = -0,327$

Folglich lassen sich keine Zusammenhänge zwischen den Prüfergebnissen der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung der verschiedenen Kornfraktionen erkennen. Bei den inhomogenen Ausgangsmaterialien werden durch die Aufbereitung bestimmte Stoffgruppen in den einzelnen Fraktionen angereichert, so daß die engen Prüfkörnungen des Schotters und des Splittes nicht repräsentativ für das gesamte Korngemisch sein können. Daher sollte das „Hessische“ Prüfverfahren mit dem abgestuften Prüfgut, das alle Fraktionen umfaßt [9], für die Prüfung der Frostbeständigkeit von Recycling-Baustoffen bevorzugt werden. Der damit zugestandene „Qualitätsrabatt“ gegenüber den bewährten Mineralstoffen sollte durch eine Beschränkung des Einsatzes der Recycling-Baustoffe auf 1. Tragschichten, Frostschutzschichten, berücksichtigt werden.

5.3 Raumbeständigkeit

Die Untersuchung lediglich mit dem Kochversuch ergab keine Hinweise auf besonders mangelhafte Raumbeständigkeit der Recycling-Baustoffe. Höhere Absplitterungen waren durch hohe Anteile Asphaltgranulat oder zugesetzten minderwertigen Naturstein bedingt. Bestimmte Bestandteile aus dem Hochbau, insbesondere in der Sandfraktion, sollten zusätzlich speziell auf ihre Raumbeständigkeit untersucht werden.

5.4 CBR-Werte

Aus den wenigen Ergebnissen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Streubreite der CBR-Werte ist groß. Sie entspricht in etwa den beiden Hauptgruppen der Materialien. So hebt sich das Material Nr. 5, welches aus 78 Gew.-% BAB-Beton besteht, deutlich von den beiden anderen ab. Die Proben Nr. 11 und Nr. 13 haben eine sehr ähnliche Materialzusammensetzung und einen ähnlichen Anteil der Körnung $\leq 0,063$ mm.
- Eine Wertung der Tragfähigkeit bzw. Verformbarkeit nach dem Airfield Classification des US Corps of Engineers [12] besagt nach den CBR_o -Werten:
 Proben 11 und 13: „guter Untergrund“,
 Probe 5: „ausgezeichneter Untergrund“.
- Diel [6] zeigte Zusammenhänge zwischen CBR_o -Wert und Ev_2 -Werten von natürlichen Böden auf. Danach entsprechen die Anforderungen [5] an die erste Tragschicht von $Ev_2 = 120$ N/m² etwa einem CBR_o -Wert = 34 % und für Schottertragschichten mit $Ev_2 = 150$ oder 180 MN/m² etwa CBR_o -Werten von 52 % und 76 %.
- Überträgt man diese Zusammenhänge auf die Recycling-Baustoffe mit 100 % Proctordichte, könnten aufgrund der an den Proben ermittelten CBR_o -Werte alle drei Proben als 1. Tragschicht (Frostschutzschicht) und der BAB-Betonbruch auch als Schottertragschicht verwendet werden. Diese Bewertung entspricht der nach der genannten Airfield Classification.
- Der CBR_{ft} -Wert der Probe 5 hat gegenüber CBR_o deutlich zugenommen, was auch der Verhältniswert CBR_{ft}/CBR_o belegt. Hier spielt eine gewisse Verfestigung durch noch aktive Bindemittelreste im Betonbruch eine Rolle.
- Nach dem Merkblatt für die Verhütung von Frost-

schäden an Straßen [7] können die Korngemische nach ihren CBR_{ft} -Werten den Frostempfindlichkeitsklassen der ZTVE-StB [8] zugeordnet werden. Danach sind die Proben 5 und 11 mit $CBR_{ft} > 30\%$ in die Frostempfindlichkeitsklasse F1 „nicht frostempfindlich“ und die Probe 13 in die Klasse F2 „gering bis mittelfrostempfindlich“ einzuordnen. Nur die Probe 13 weist auch einen Abfall des CBR_{ft} -Wertes gegenüber dem CBR_o -Wert auf. Sie hat die höchste Feinkornnachbildung der 3 Proben bei der Frost- Tau-Wechsel-Beanspruchung des Gemisches (Anlage 15).

6 Schlußfolgerungen

6.1 Kennzeichnung

Mit dem Begriff „Recycling-Baustoff“ sollen eindeutig nur aufbereiteter Straßenaufbruch, aufbereitete mineralische Rückstände des Hochbauabbruches und Gemische aus beiden gekennzeichnet werden, wobei der Anteil an Asphaltgranulat mengenmäßig zu begrenzen ist.

Gemische von Recycling-Baustoffen mit ungebrauchten Mineralstoffen müssen als solche gekennzeichnet werden. Werden für den qualifizierten Straßenbau Gemische von Recycling-Baustoffen mit ungebrauchten Mineralstoffen hergestellt, müssen auch die ungebrauchten Mineralstoffe die für sie speziell geltenden Anforderungen erfüllen. Damit soll ein „Verstecken“ oder „Verdünnen“ nicht anforderungsgerechter Baustoffe im Hinblick auf bautechnische wie auf wasserwirtschaftliche Belange vermieden werden.

Auch das Aufbruchmaterial des hochwertigen Betons aus Fahrbahndecken sollte aufgrund seiner vergleichsweise besseren bautechnischen Eigenschaften gesondert gekennzeichnet werden.

6.2 Widerstand gegen Frost

Insbesondere bei höheren Anteilen von Hochbauschutt können bei der normierten Beanspruchung der Körnung 8/12 und 35/45 der Recycling-Baustoffe die Grenzwerte der TL Min-StB überschritten werden. Dann soll das gesamte Korngemisch $> 0,063\text{ mm}$ dem Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt werden. Die Zunahme des Feinkornanteils $< 0,063\text{ mm}$ soll dabei 2 Gew.-% nicht überschreiten. Außerdem soll die Summe des bereits im Korngemisch vorhandenen und des bei der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung anfallenden Feinkorns 5 Gew.-% nicht übersteigen.

Wenn die Anforderungen der TL Min-StB nicht erfüllt werden, jedoch die Summe des bereits im Korngemisch vorhandenen und der Feinkornanteile nach der Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung des Gemisches $\leq 5\text{ Gew.-%}$ beträgt, ist der Einsatz des Recyclingmaterials in Frostschutzschichten möglich.

Der Feinkornanteil des Gemisches ist durch Naßsiegung zu bestimmen.

6.3 Mechanische Festigkeit

Wird bei der Prüfung der Schlagfestigkeit von Schotter eines Recycling-Baustoffes der Wert $SD_{10} \geq 30\text{ Gew.-%}$ überschritten, soll es nur als Korngemisch bis 32 mm eingesetzt werden. Damit soll vermieden werden, daß die in Recycling-Baustoffen häufig vorhandenen vergleichsweise zum übrigen Material weniger festen Schotterkörner im Tragschichtgerüst versagen.

6.4 Weitere Untersuchungen

Zur gemeinsamen Beurteilung des Widerstandes gegen Frost und der Frostempfindlichkeit von Baustoffen für Tragschichten ohne Bindemittel bietet sich der CBR-Versuch an. Dazu sollten für die Recycling-Baustoffe die Beziehungen zwischen den CBR-Werten und den geltenden Anforderungen der TL Min-StB und der ZTVT-StB durch Reihenversuche und Orientierung am Verhalten der Tragschichten ohne Bindemittel in Straßen hergestellt werden.

Hinsichtlich der Raumbeständigkeit bestimmter Bestandteile der Recycling-Baustoffe aus dem Hochbau bestehen Bedenken. Hierzu sind noch stoffbezogene Untersuchungen notwendig.

Literatur

- [1] Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Wiederverwendung von Baustoffen“; Köln 1985
- [2] „Recycling-Baustoffe für den Straßenbau“; Gütesicherung; RAL-RG 501/1; Bonn 1985
- [3] „Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau“; TL Min-StB 83; Köln 1983
- [4] „Vorläufige Lieferbedingungen für im Straßenbau wiederzuverwendende Baustoffe“; Hessisches Landesamt für Straßenbau 1989
- [5] „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau“; ZTVT-StB 86, Fassung 1990; Köln 1990
- [6] Diel: FA 5.32 „Vergleichsuntersuchungen mit dem CBR- und Plattendruckversuch auf bindigen Böden“, Bundesanstalt für Straßenwesen Köln, 1973
- [7] „Merkblatt für die Verhütung von Frostschäden an Straßen“; Köln 1991
- [8] „Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“; ZTVE-StB 76; Köln 1976
- [9] „Vorläufige Lieferbedingungen für im Straßenbau wiederzuverwendende Baustoffe“; Hessisches Landesamt für Straßenbau 1989
- [10] „Vorläufige Lieferbedingungen für im Straßenbau wiederzuverwendende Baustoffe“; Landesamt für Straßenbau, Sachsen-Anhalt; 1991
- [11] „Vorläufige Lieferbedingungen für im Straßenbau wiederzuverwendende Baustoffe“; Verkehrsministerium und Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg; 1991
- [12] „Office of the Chief Engineers, Airfield pavement design, flexible pavements Engineering Manual Part XII Chap. 2“; Washington, D.C. 1947

Anlagen

1. Versuchsbeschreibung des Hessischen Landesamtes für Straßenbau
2. Zusammenstellung aller Versuchsergebnisse
3. Stoffliche Bestandteile der Recycling-Baustoffe
4. Sieblinien aller Proben
5. Sieblinie des Betonbruchs aus Autobahnen
6. Anteil der Körnung $< 0,063$ mm
7. Kornform der Gemische
8. Rohdichten von Schotter und Splitt
9. Schlagversuche am Schotter
10. Schlagversuche am Splitt
11. Wasseraufnahme
12. Absplitterungen nach Frost-Tau-Wechsel – Schotter
13. Absplitterungen nach Frost-Tau-Wechsel – Splitt
14. Absplitterungen nach Frost-Tau-Wechsel – Gemisch
15. Absplitterungen nach Frost-Tau-Wechsel + Siebanteil $< 0,063$ mm
16. Raumbeständigkeit, Absplitterungen nach dem Kochen
17. SD_{10} -Werte, vor und nach Frost-Tau-Wechsel
18. $SZ_{8/12}$ -Werte, vor und nach Frost-Tau-Wechsel
19. Korrelation der Absplitterungen von Schotter und Splitt
20. Korrelation der Absplitterungen von Schotter und Korngemisch
21. Korrelation der Absplitterungen von Splitt und Korngemisch

Anlage 1

Frost-Tau-Wechsel an Korngemischen

Versuchsbeschreibung nach den Vorläufigen Lieferbedingungen für im Straßenoberbau wiederzuverwendenden Baustoffen des Hessischen Landesamtes für Straßenbau*

... wird das gesamte Baustoffgemisch geprüft. Dazu werden die Kornanteile $\leq 0,063$ mm durch Naßsiebung gewichtsmäßig bestimmt, das Restgemisch befrosten**, die Anteile $\leq 0,063$ mm nach dem Frostversuch erneut bestimmt und zu den Kornanteilen $\leq 0,063$ mm der Naßsiebung des unbefrostenen Gemisches addiert. Die Summe der Anteile $\leq 0,063$ mm darf 5 Gew.-% nicht überschreiten.

* Rundverfügung Nr. 6/1989

** DIN 52 104 – Verfahren N, bei Wasserlagerung nach Abschnitt 6.1.1.1

Anlage 2/1

RCLges

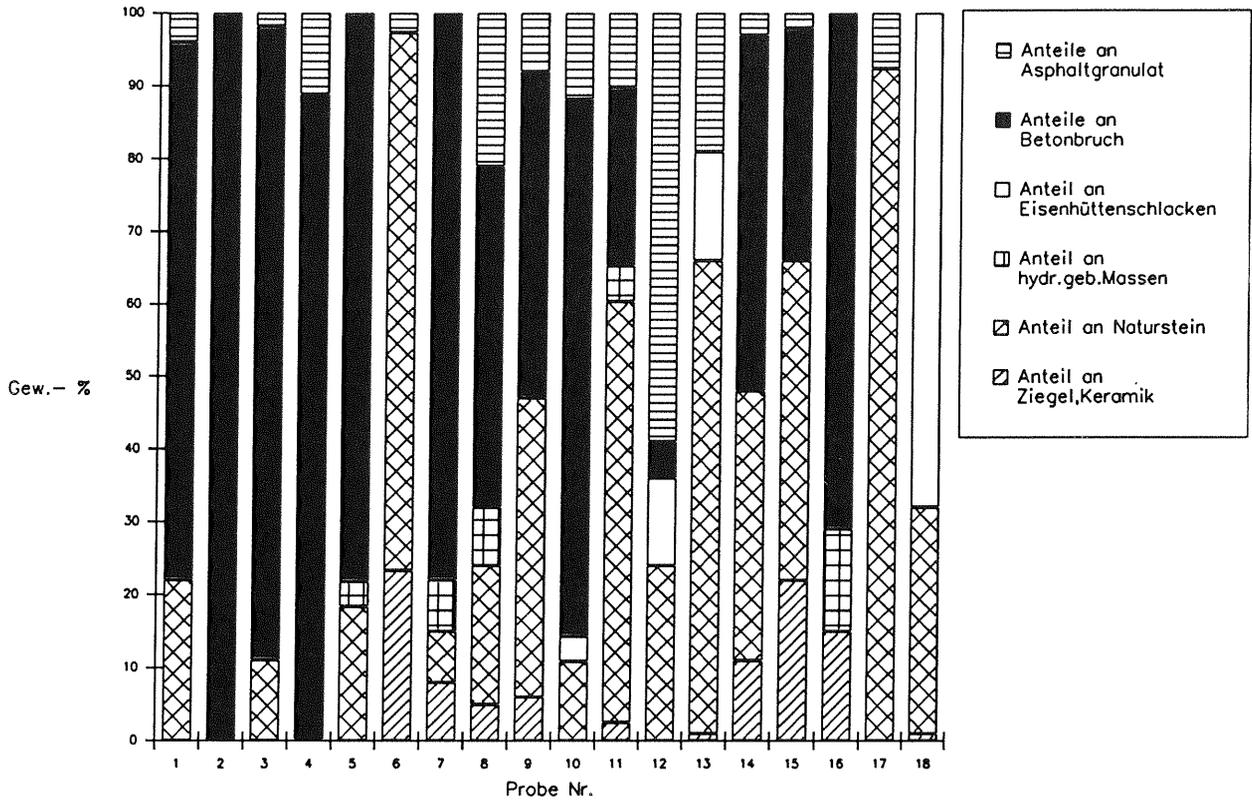
Lfd.Nr.	Land	wa Gew.- %	FS Gew.- %	FSp Gew.- %	FG Gew.- %	RG Gew.- %	RG ≤0,063 Gew.- %	SnKS Gew.- %	SnFS Gew.- %	SnKSp Gew.- %	SnFSp Gew.- %	RoS g/cm ³	RoSp g/cm ³	SS Gew.- %	SSp Gew.- %	SSpB Gew.- %
1	NW	4,28	0,8	1,5	1,2				34		22,7	2,303	2,665	31	22,0	
2	NI	5,38	0,2	1,1	1,0	0,9	1,20		36		32,3	2,220	2,635	35	22,6	
3	NW	4,19	1,9	2,6	1,8	0,9			33		24,5	2,297	2,602	34	24,4	
4	NI	4,32	0,2	1,1	1,0	0,9			29		25,0	2,738	2,639	29	23,6	
5	Br	3,81	2,8	2,5	0,5	0,9	0,74	33	35	21,2	21,3	2,244	2,598	35	21,0	
6	RP	5,20	7,8	4,7	0,8	0,9		29	37	20,5	21,5	2,089	2,600	40	20,6	
7	NW	6,88	2,0	5,8	2,2	0,9		49	50	28,2	29,8	2,130	2,495	44	27,6	
8	NW	2,97	2,5	6,3	0,4	1,0		35	41	22,4	23,4	2,241	2,553	39	21,9	
9	RP	8,29	2,1	6,3	1,1	1,1		36	37	24,3	22,3	2,181	2,552	30	23,9	26,6
10	NW	2,44	10,8	3,0	0,7	0,9	0,21	38	36	23,2	23,3	2,404	2,616	33	25,1	
11	NW	1,68	5,7	5,3	1,0	0,5		31	32	26,2	24,9	2,341	2,543	30	26,7	
12	NW	4,34	5,9	3,1	2,8	1,5		37	39	23,8	25,7	2,259	2,565	34	26,6	
13	NW	1,63	1,1	2,5	1,8	0,7	1,80	17	18	21,9	21,1	2,342	2,546	19	17,9	18,3
14	NW	6,43		8,7	1,0							2,210	2,588	41	28,1	
15	NW	6,34		8,4	1,0							2,210	2,588		26,7	
16	NW	7,90	5,0	11,0					50		34,0	2,120	2,570	46	33,2	
17	RP	1,10		2,2	1,1	1,3		23		22,5	19,7	2,884			20,3	
18	NW	5,83	2,1	2,6	1,0	0,9		22	29	21,8	22,7	2,191	2,590	30	22,9	

Anlage 2/2

KG Gew.- %	AB Gew.- %	B Gew.- %	EHS	HGM Gew.- %	N Gew.- %	Z,K Gew.- %	GK mm	K≥45 Gew.- %	K≥32 Gew.- %	K≥22 Gew.- %	K≤2 Gew.- %	K ≤ 0,063 Gew.- %	P t/m ³	Wp %	CBRo 1 %	CBRo 2 %	CBR ft %
8,0	4,0	74,0			22,0		45		17,0	33,7	15,1	2,1					
3,4		100,0					56	6,5		35,5	21,3	0,6					
6,0	1,8	87,1			11,1		45		11,2	23,2	20,7	1,8					
3,5	11,1	88,7			0,2		45		10,7	20,8	17,1	1,9					
6,0		78,2		3,4	18,4		45		14,1	26,7	18,2	1,9	1,960	7,5	65,9	81,5	131,3
12,1	2,7				74,0	23,3	45		3,4	20,1	35,5	3,5					
5,0		78,0		7,0	7,0	8,0	45		5,6	15,0	29,8	2,8					
6,0	21,0	47,0		8,0	19,0	5,0	45		0,0	26,6	17,2	1,4					
9,0	8,0	45,0			41,0	6,0	56		20,8	31,3	25,7	4,9					
11,1	11,8	73,9	3,4		10,9		56	7,8		31,5	23,6	3,4	1,800	6,3			
10,0	10,1	24,6		4,9	57,9	2,5	45		9,2	18,8	28,6	5,5	1,810	4,7	26,8	37,3	36,4
3,7	59,0	5,0	12,0		24,0		45		7,8	12,1	35,9	1,3					
10,5	19,0		15,0		65,0	1,0	56		8,8	22,8	31,7	5,8	1,940	5,5	35,6	44,2	25,2
10,5	3,0	49,0			37,0	11,0	45		5,8	20,0	26,0	4,9					
11,0	2,0	32,0			44,0	22,0	45		4,2	24,0	25,0	6,4					
24,0		71,0		14,0	15,0		63	5,0		50,0	18,0	2,4					
11,1	7,6				92,4		45		1,8	12,9	15,6	3,8					
2,5		0,0	68,0		31,0	1,0	45		6,2	21,2	27,4	4,6	1,920	8,2			

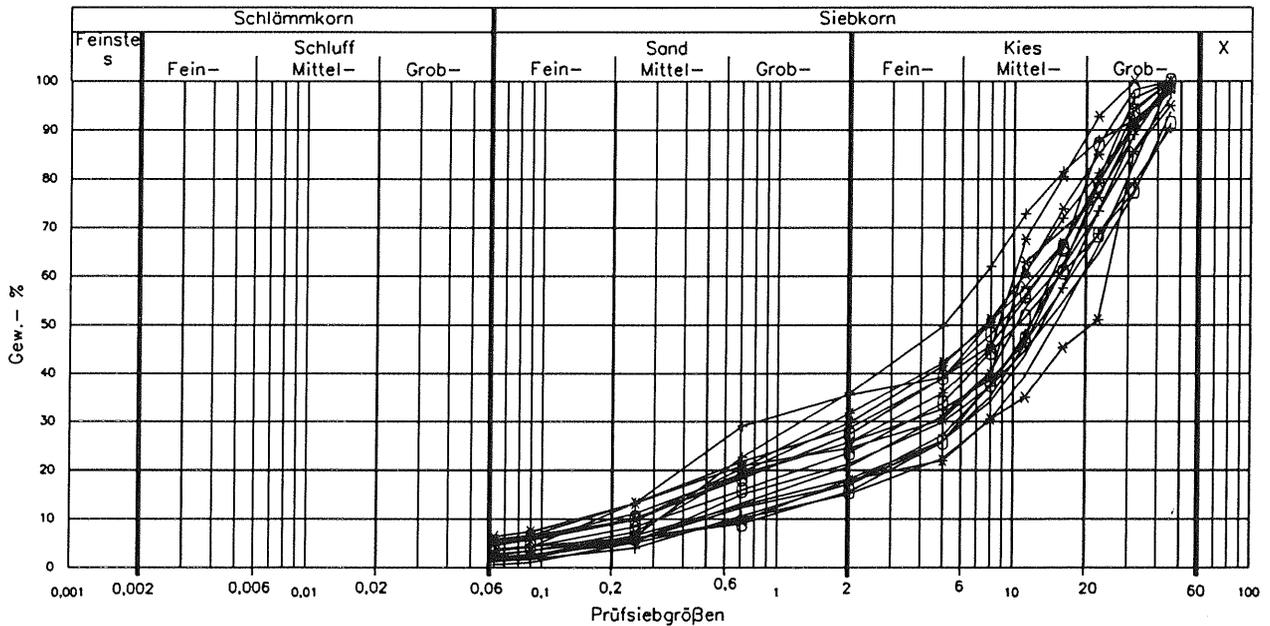
Anlage 3

Stoffliche Bestandteile



Anlage 4

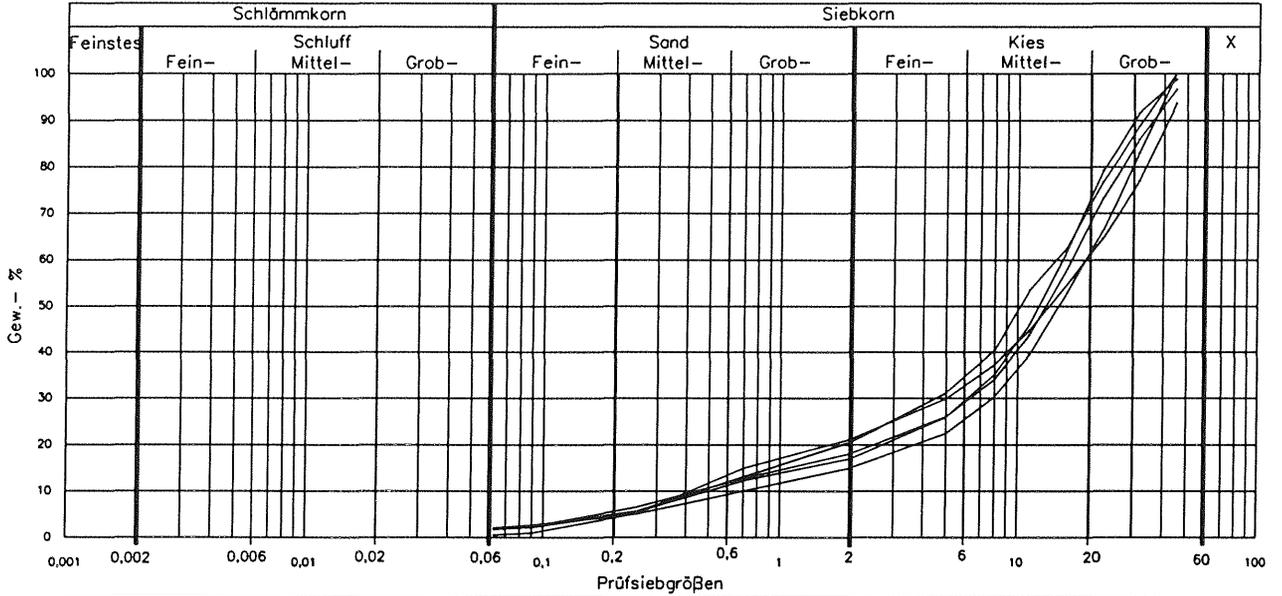
Körnungslinien



Kurve Nr.:	1 bis 18	Bemerkungen (z.B. Kornform)
Bodenart:	Recycling-Baustoffe	
Tiefe:		
U = d60/d10 :		
Entnahmestelle/Ort		

Anlage 5

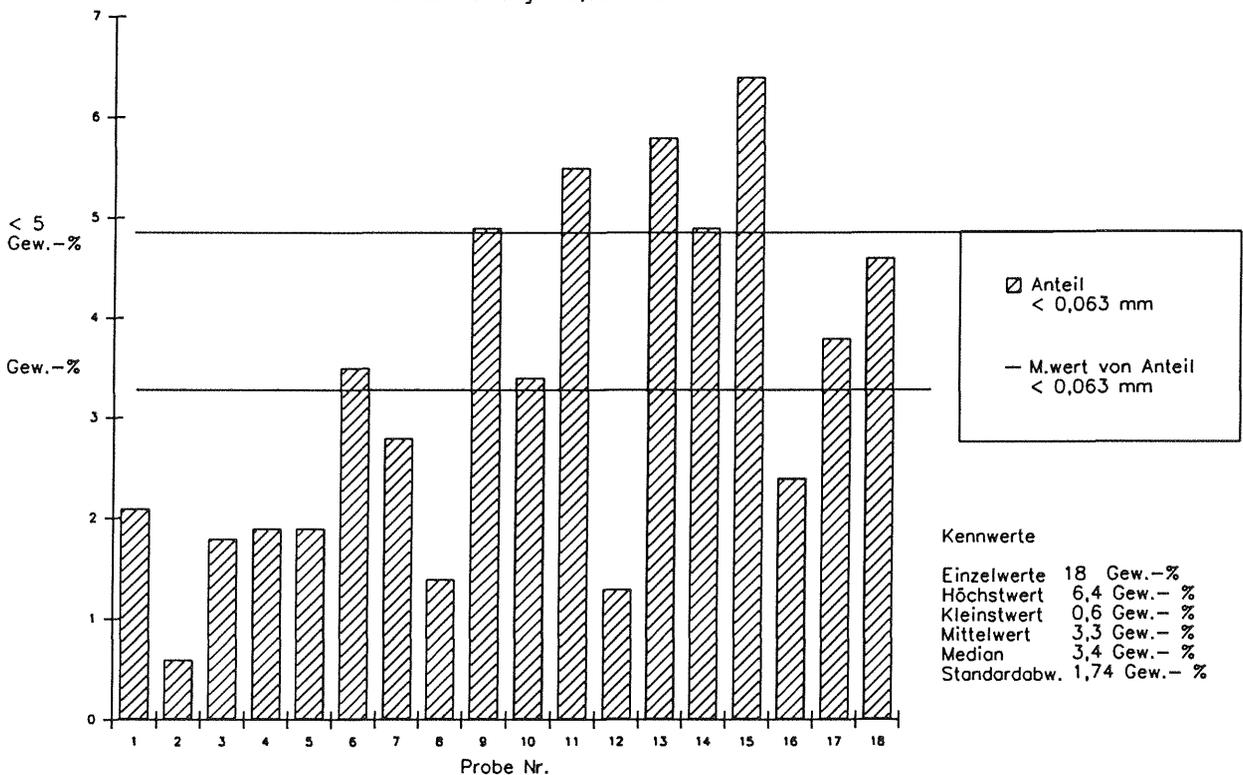
Sieblinien BAB-Material



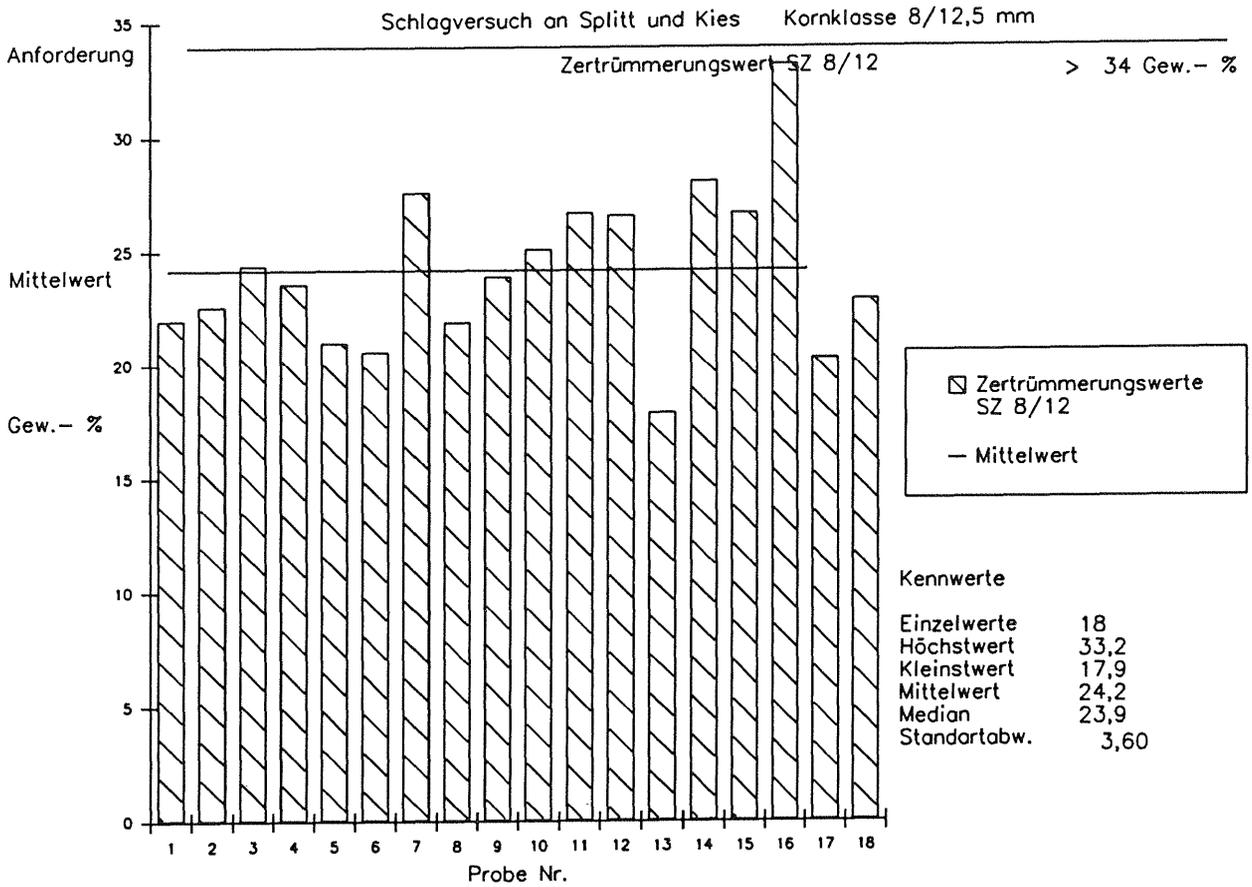
Kurve Nr.:	1 bis 5	Bemerkungen (z.B. Kornform)
Bodenart:	BAB - Betonbruch	
Tiefe:		
U = d60/d10 :		
Entnahmestelle/Ort		

Anlage 6

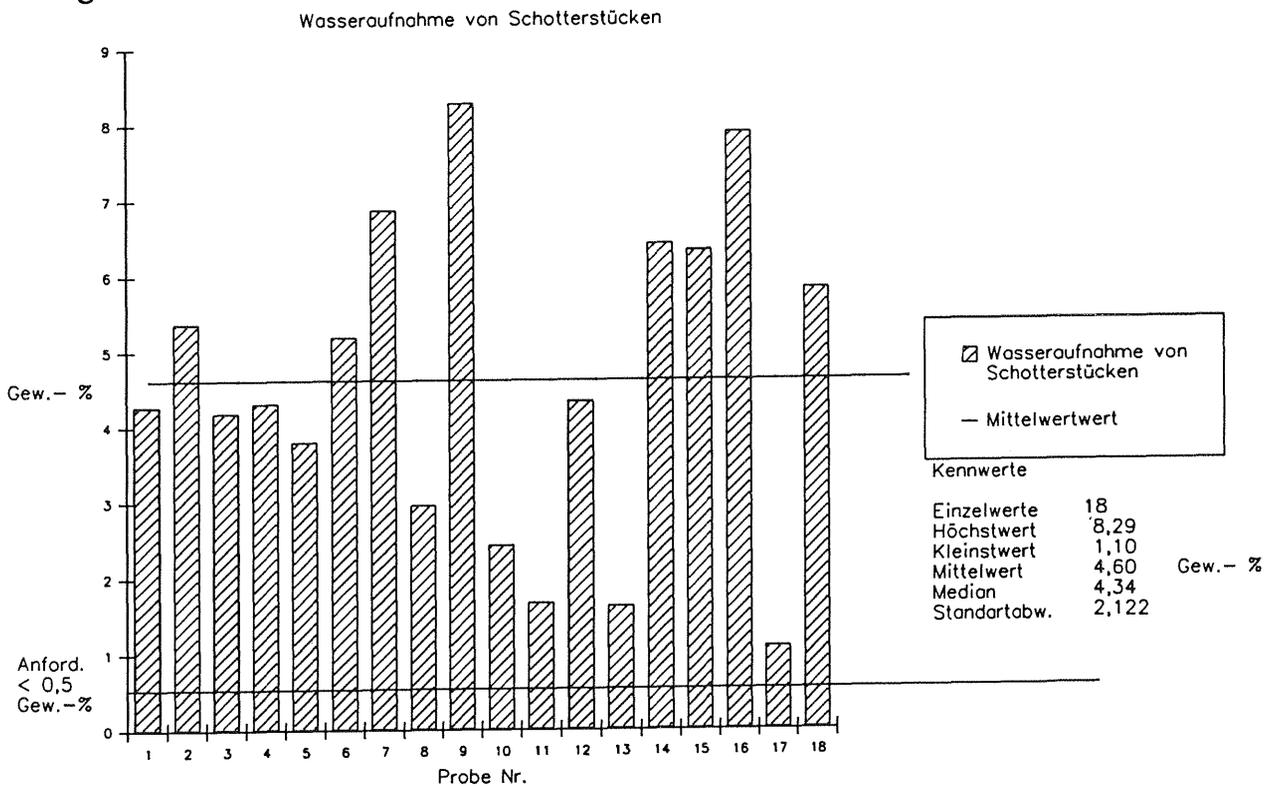
Anteil der Körnung < 0,063 mm



Anlage 10

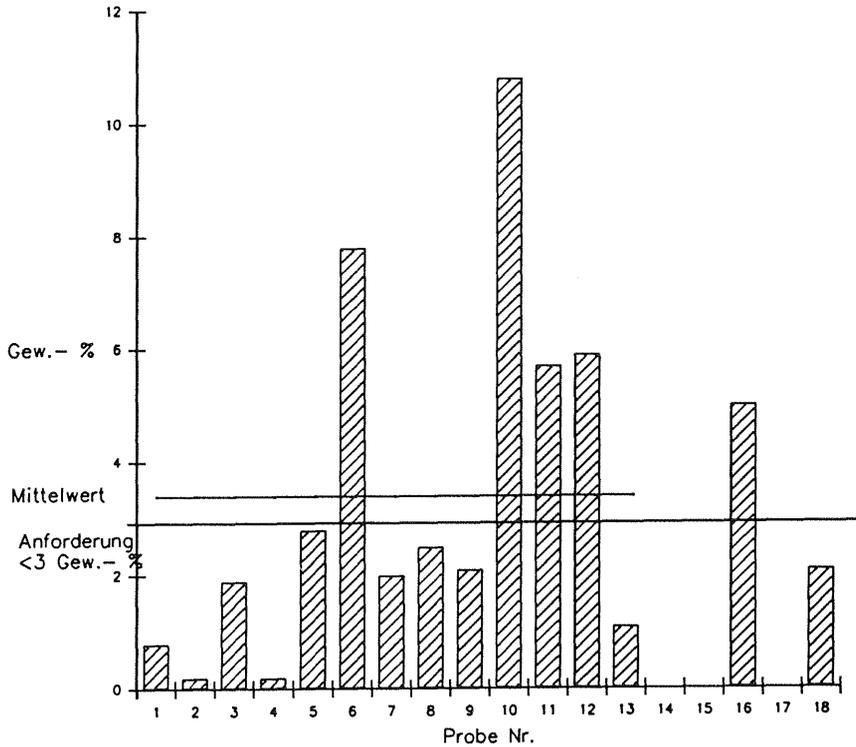


Anlage 11



Anlage 12

Absplitterungen nach F-T-W
(Schotter)



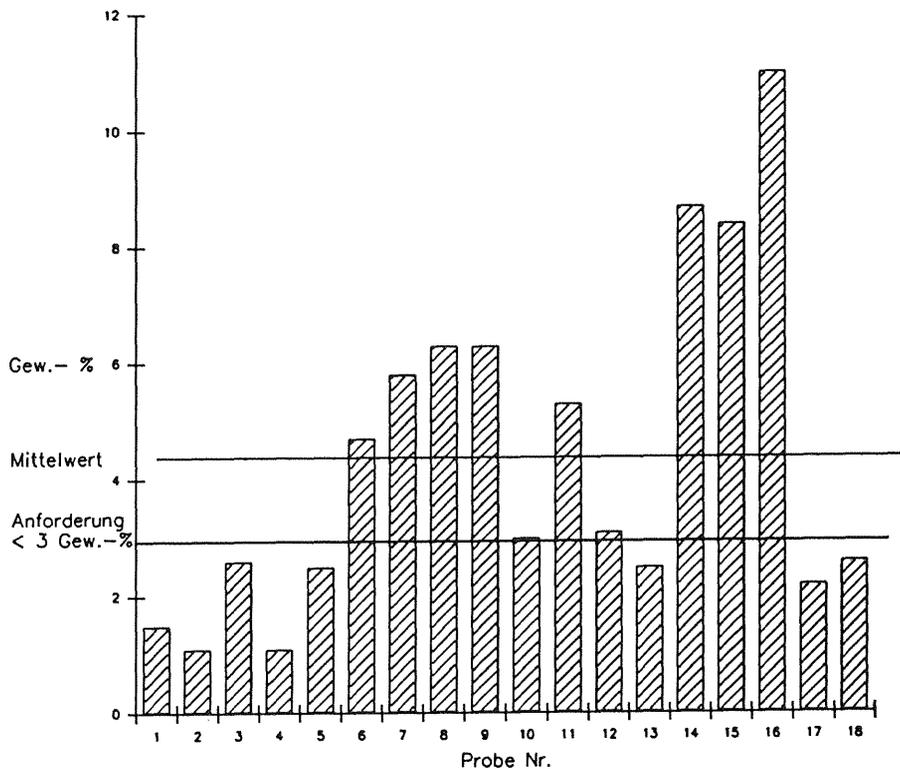
Absplitterungen nach F-T-W (Schotter)
 — Mittelwert

Kennwerte

Einzelwerte	15	
Höchstwert	10,8	
Kleinstwert	0,2	Gew.- %
Mittelwert	3,4	
Median	2,1	
Standardabw.	3,04	

Anlage 13

Absplitterungen nach F-T-W
(Splitt)



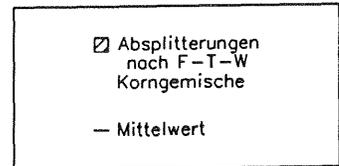
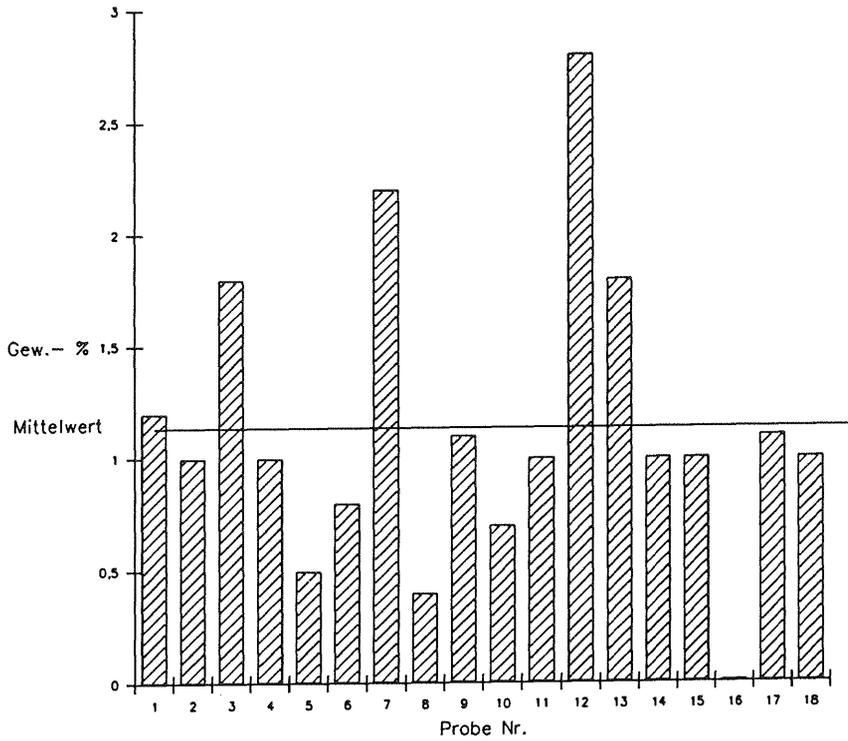
Absplitterungen nach F-T-W (Splitt)
 — Mittelwert

Kennwerte

Einzelwerte	18	
Höchstwert	11	
Kleinstwert	1,1	Gew.- %
Mittelwert	4,4	
Median	3,3	
Standardabw.	2,87	

Anlage 14

Absplitterungen nach F-T-W
(Korngemische)

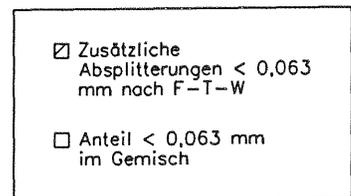
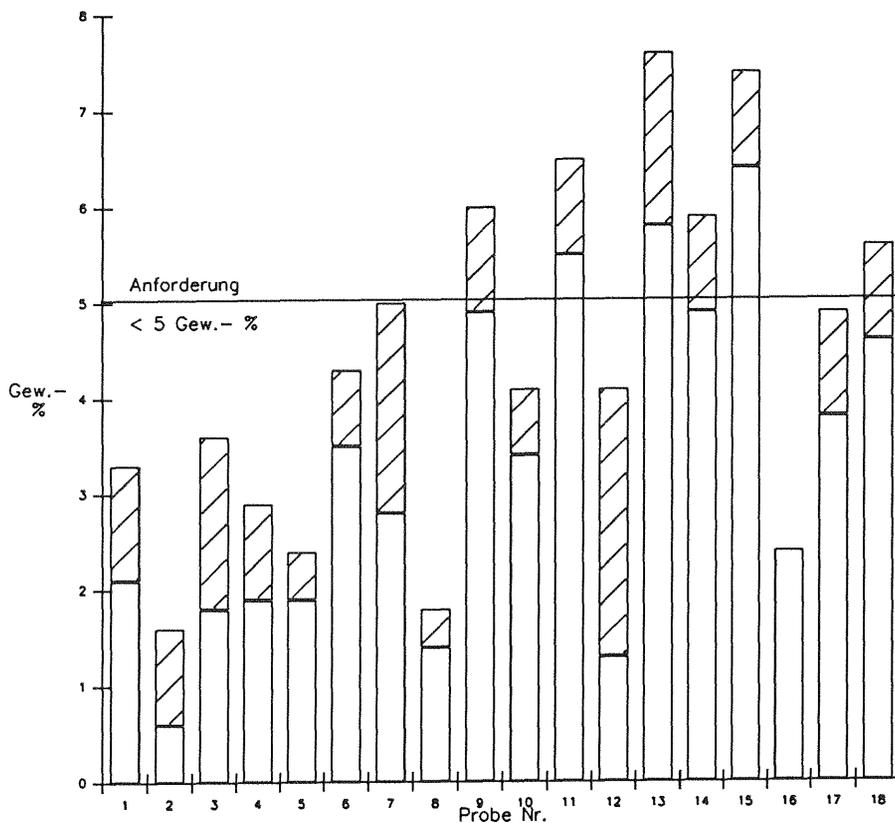


Kennwerte

Einzelwerte	17	
Höchstwert	2,8	
Kleinstwert	0,4	Gew.- %
Mittelwert	1,2	
Median	1,0	
Standardabw.	0,62	

Anlage 15

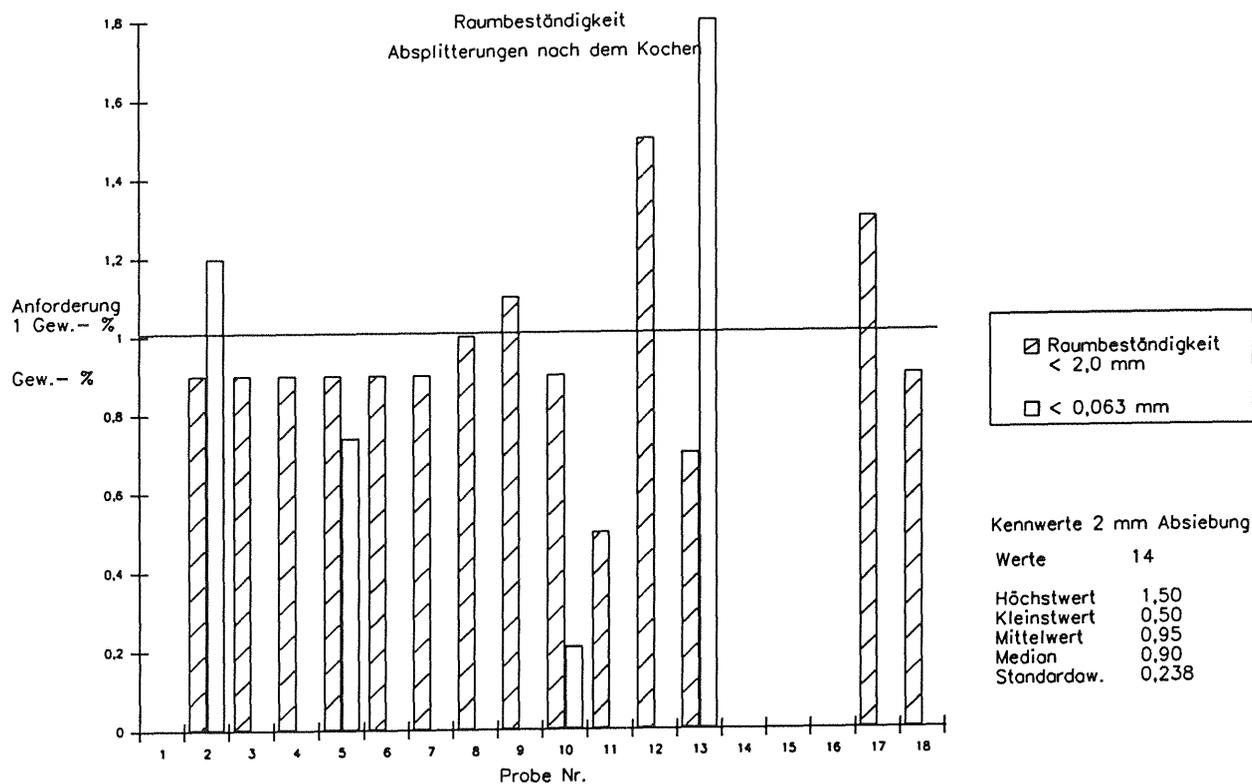
Absplitterungen nach F-T-W
plus Siebanteil < 0,063 mm der Gemische



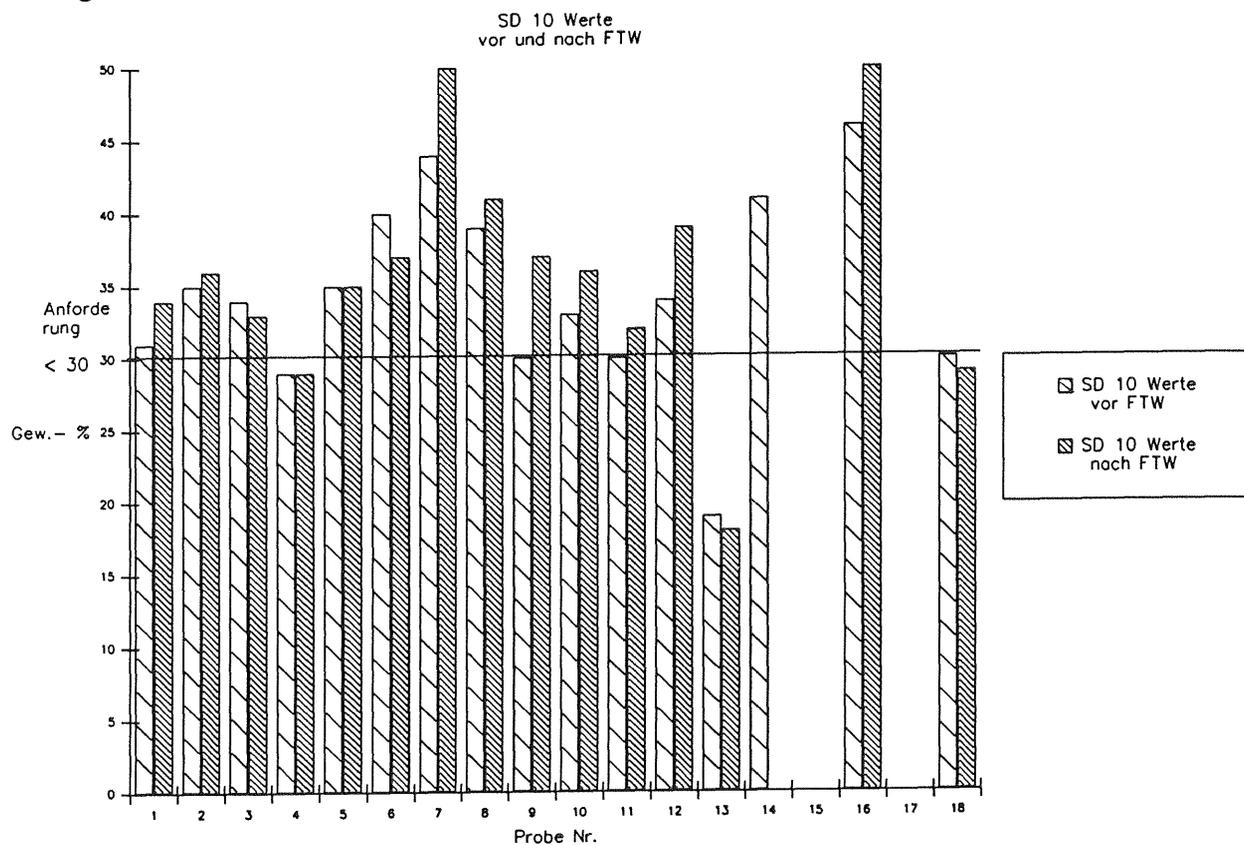
Kennwerte

Einzelwerte	18
Höchstwert	7,8
Kleinstwert	1,6
Mittelwert	4,7
Median	4,9
Standardabw.	1,89

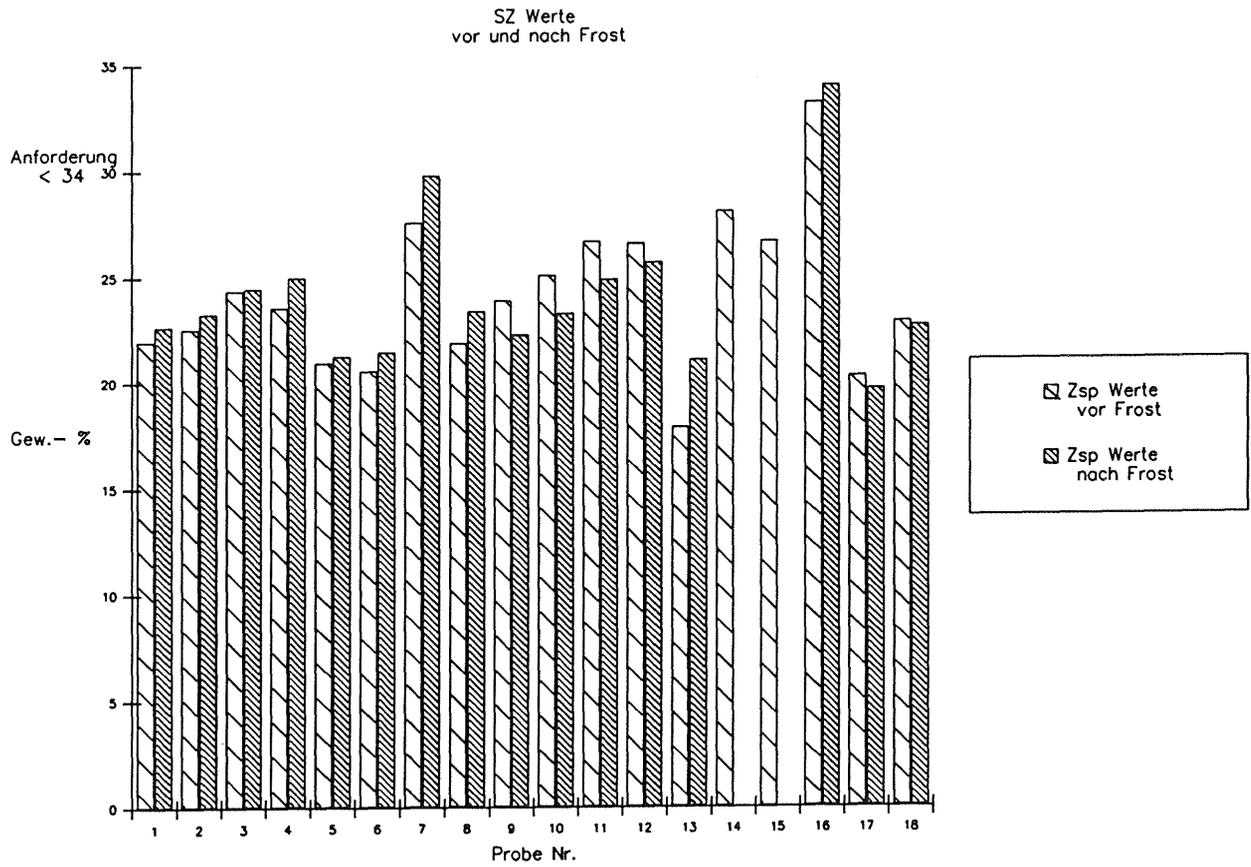
Anlage 16



Anlage 17

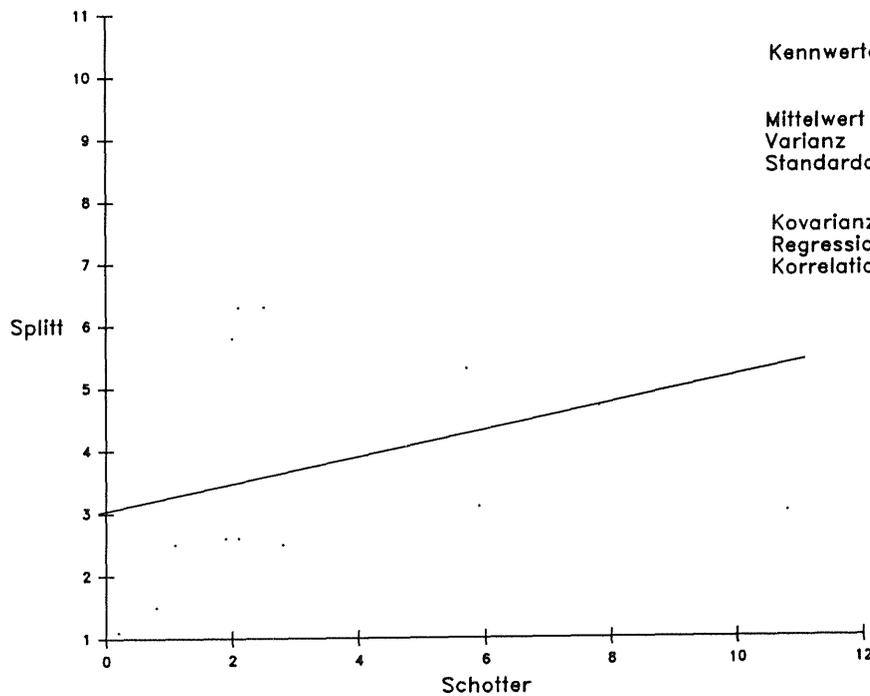


Anlage 18



Anlage 19

Korrelation der Absplitterungen
von Schotter und Splitt

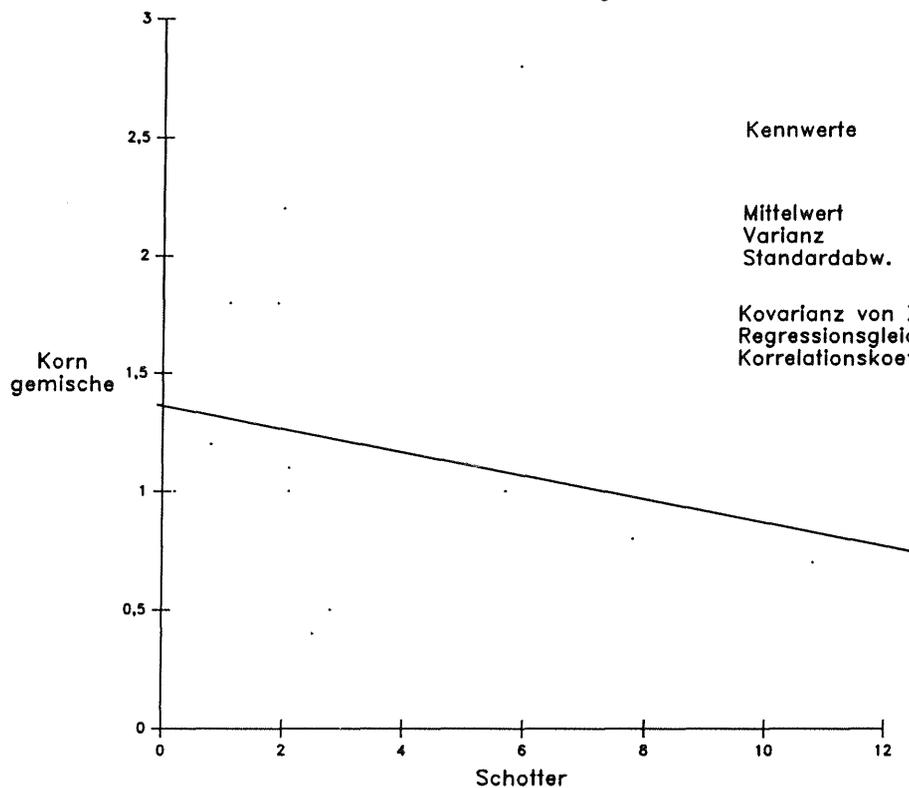


Kennwerte

	von x	von y
Mittelwert	3,39	3,96
Varianz	9,25	7,02
Standardabw.	3,041	2,649

Kovarianz von X und Y = 2,383
 Regressionsgleichung $Y = 3,09 + 0,26 * X$
 Korrelationskoeffizient $r = 0,2958$

Anlage 20

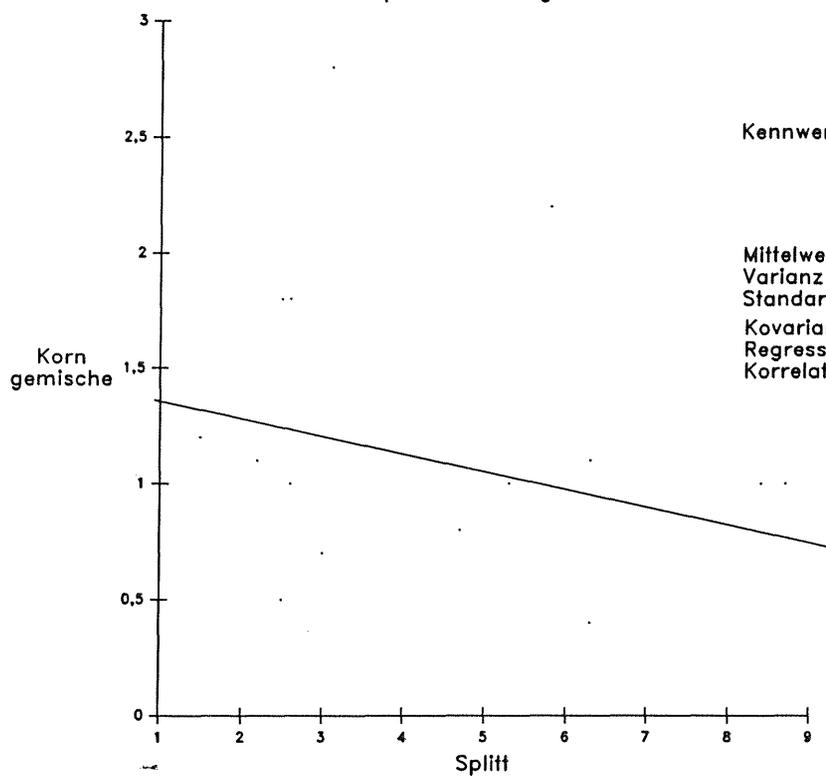
Korrelation der Absplitterungen
von Schotter und Korngemischen

Kennwerte

	von x	von y
Mittelwert	3,28	1,24
Varianz	9,75	0,46
Standardabw.	3,122	0,678

Kovarianz von X und Y = - 0,210
 Regressionsgleichung $Y = 1,31 + - 0,02 * X$
 Korrelationskoeffizient $r = - 0,0992$

Anlage 21

Korrelation der Absplitterungen
von Splitt und Korngemischen

Kennwerte

	von x	von y
Mittelwert	4,37	1,13
Varianz	8,26	0,44
Standardabw.	2,875	0,662

Kovarianz von X und Y = - 0,623
 Regressionsgleichung $Y = 1,46 + - 0,08 * X$
 Korrelationskoeffizient $r = - 0,3277$

Anlage 2/3

Erklärung der Tabellenkürzel

Wa:	Wasseraufnahme an Hand (Schotter) stücken.
FS:	Frostabsplitterungen von Schotter
FSp:	Frostabsplitterungen von Splitt
FG:	Frostabsplitterungen des Gemisches (n. hess. Lieferbed.)
RG:	Raumbeständigkeit am Gemisch 2/X mm
$RG \leq 0,063$:	Raumbeständigkeit am Gemisch 0,063/X mm
SnKS:	Schlag nach Kochen an Schotter
SnFS:	Schlag nach Frost an Schotter
SnKSp:	Schlag nach Kochen an Splitt
SnFSp:	Schlag nach Frost an Splitt
RoS:	Rohdichte Schotter
RoSp:	Rohdichte Splitt
SS:	Schlagversuch Schotter
SSp:	Schlagversuch Splitt
SSpB:	Schlagversuch Splitt mit Asphaltbruch
KG:	Kornform des Gemisches (gew. Mittel)
AB:	Asphaltbruch
B:	Beton
EHS:	Eisenhüttenschlacken
HGM:	hydr.-geb. Gemische
N:	Naturstein
Z,K:	Ziegel, Keramik u. ä.
GK:	Größtkorn
$K \geq 45$:	Kornanteile ≥ 45 mm im Gemisch
$K \geq 32$:	Kornanteile ≥ 32 mm im Gemisch
$K \geq 22$:	Kornanteile ≥ 22 mm im Gemisch
$K \leq 2$:	Kornanteile ≤ 2 mm im Gemisch
$K \leq 0,063$:	Kornanteile $\leq 0,063$ mm im Gemisch
P:	Proctordichte einfach
W_{pr} :	Proctorwassergehalt in % (100 % P)
CBR_{01} :	CBR trocken, 1. Versuch
CBR_{02} :	CBR Trocken, 2. Versuch
CBR_{ft} :	CBR nach Frost-Tau-Wechseln

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe "Straßenbau"

**S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-
Baustoffen**

von K.-H. Guth

32 Seiten, 1993

Kann kostenfrei bei der BAST, Bergisch Gladbach,
angefordert werden.

Zu beziehen durch:

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10, Am Alten Hafen 113-115

D-2850 Bremerhaven 1

Telefon (0471) 46093-95, Telefax (0471) 42765