

Bericht

Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial auf Sulfat und PAK

**Untersuchung von Stichproben bei Bauschutt-
recycling-Anlagen in Baden-Württemberg**

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt und Verkehr
Baden-Württemberg
Referat 25
Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart

Bearbeiter:

Dr. Carsten Schäfer
Alfred Gamm
Dr. Wilfried Weiß

Datum:

04. Dezember 2003

Az: 35-8980.11/Bauschutt



Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

Referat 35
Kreislaufwirtschaft • Abfallbehandlung

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	2
2	Aufgabenstellung	3
3	Durchführung der Untersuchungen	3
4	Ergebnisse	5
4.1	PAK	5
4.2	Sulfat	7
4.3	Stoffliche Zusammensetzung	8
5	Bewertung	10
5.1	PAK	10
5.2	Sulfat	11
5.3	Unterschiede zwischen Vorsiebmaterial und sonstigem Material	12
5.4	Zusammenhang zwischen stofflicher Zusammensetzung und PAK - und Sulfatgehalt	13
5.4.1	PAK und Asphalt	13
5.4.2	Sulfat und Beton	13
5.4.3	Sulfat und Ziegel	14
6	Abkürzungs- und Quellenverzeichnis	16
7	Anhang	17

1 Zusammenfassung

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg nahm die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 62 repräsentative Proben von versandfertigem Bauschuttrecyclingmaterial bei 27 ausgewählten Bauschuttrecycling-Anlagen in Baden-Württemberg und ließ den Gehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Feststoff und an Sulfat im Eluat sowie die stoffliche Zusammensetzung und die Korngrößenverteilung von der IBE GmbH, Langenbrettach, bestimmen.

Die in den Bauschuttrecycling-Anlagen angelieferten mineralischen Abfälle werden meist nach den Materialien Betonbruch, Schwarzmaterial (Straßenbruch), Rotmaterial (Ziegel, Mauerwerk) und gemischtem Bruchmaterial getrennt gelagert. Die getrennten Fraktionen werden in der Regel beim Brechen im je nach Qualität des Produkts gewünschten Verhältnis vermischt. Als versandfertiges Material vorgefunden und beprobt wurde Recyclingmaterial der Körnung 0/32, 0/45, 0/56 oder 0/100, zum Teil güteüberwacht, sowie Vorsiebmaterial (Körnungen bis ca. 20 mm).

Der mittlere PAK-Gehalt der untersuchten Proben liegt bei 9,0 mg/kg. Der Median liegt mit 5,6 mg/kg aufgrund von Ausreißern nach oben deutlich niedriger. Die Verteilung der ermittelten PAK-Gehalte auf einzelne Größenklassen der Schadstoffgehalte weicht deutlich von den Ergebnissen der UVM-Erhebung ab, die im September 2003 bei den Vollzugsbehörden nach Aktenlage durchgeführt wurde. Die UVM-Erhebung zeichnete ein optimistischeres Bild.

Die Verteilung der ermittelten Sulfatwerte weicht nicht erheblich von den Ergebnissen der UVM-Erhebung ab. Je nach Bestimmungsmethode für Sulfat, entweder nach LAGA M 20 aus dem unzerkleinerten Probenmaterial oder nach VwV Straßenbau nach Zerkleinerung auf max. 10 mm, ergaben sich teilweise erheblich unterschiedliche Sulfatgehalte im gleichen Probenmaterial. Der Mittelwert aller Sulfatbestimmungen nach LAGA M 20 liegt bei rund 200 mg/l, der Wert der Bestimmungen nach VwV Straßenbau mit rund 280 mg/l deutlich höher.

Die Ergebnisse dienen der Bewertung von neuen Grenzwertfestsetzungen, die derzeit im Rahmen der Novellierung der Technischen Regel M 20 der LAGA zur Diskussion stehen.

2 Aufgabenstellung

Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) wurde vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM) mit Schreiben vom 08.10.2003, Az. 25-8982.31/37, beauftragt, eine Probenahme- und Analysenkampagne bei ausgewählten Bauschuttrecycling-Anlagen in Baden-Württemberg durchzuführen. Dabei sollten einsatzfertige Recyclingbaustoffe einschließlich Vorsiebmaterialien repräsentativ beprobt werden. Ziel der Untersuchungen ist es, zusätzliche Daten über Sulfat- und PAK-Gehalte in Recyclingbaustoffen zu erhalten, die aus aufbereiteten mineralischen Bauabfällen aller Qualitätsstufen hergestellt wurden. Diese Untersuchungen ergänzen die Ergebnisse der im September 2003 vom UVM durchgeführten Erhebung bei den unteren Abfallrechtsbehörden und Gewerbeaufsichtsämtern (UVM, 2003), bei der nach Aktenlage vorhandene Analysenergebnisse zu PAK- und Sulfatgehalten in Bauschuttrecyclingmaterialien zusammengestellt wurden. Insgesamt dienen die Ergebnisse der Bewertung von neuen Grenzwertfestsetzungen, die im Rahmen der Novellierung der Technischen Regel M 20 der LAGA „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen (November 1998)“ (LAGA M 20) derzeit diskutiert werden.

3 Durchführung der Untersuchungen

Die LfU nahm in Absprache mit den Staatlichen Gewerbeaufsichtsämtern (GAÄ) repräsentative Proben von versandfertigem Material in 27 ausgewählten Bauschuttrecycling-Anlagen. Je Aufsichtsbezirk der GAÄ wurden zwei bis drei Recycling-Anlagen ausgewählt. Im Zuständigkeitsbereich der GAÄ Karlsruhe und Freiburg waren es fünf bzw. sechs Anlagen.

Die Probenahme erfolgte in Anlehnung an die LAGA-Richtlinie PN 98 (Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen) durch die LfU, Referat 35 - Kreislaufwirtschaft/ Abfallbehandlung. Dabei wurden die aus den Einzelproben gewonnenen Mischproben vor Ort durch Aufkegeln und Vierteln mittels Probenkreuz auf die erforderliche Laborprobe verjüngt. Die Laborprobe wurde dem **IBE, Institut für Baustoffprüfung und Umwelttechnik GmbH, 74243 Langenbrettach-Langenbeutigen**, einem in der Baustoffuntersuchung erfahrenen Institut, zur

Untersuchung übergeben. Insgesamt wurden Laborproben von 62 verschiedenen Materialien genommen, das entspricht im Durchschnitt 2 bis 3 Laborproben pro Anlage.

Die Untersuchung auf PAK erfolgte gemäß DIN ISO 13877, Ausgabe 6/1995, durch Extraktion aus dem Originalmaterial ohne Zerkleinerung der Proben.

Die Untersuchung auf Sulfat erfolgte einerseits am unzerkleinerten Probenmaterial nach Elution gemäß DIN 38414-4, Ausgabe 10/1984, (S4) und anschließender Sulfat-Analyse im Eluat gemäß DIN EN ISO 10304-1, Ausgabe 4/1995. Die Elution vom unzerkleinerten Material entspricht den Vorgaben der Technischen Regel M 20 der LAGA „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen (November 1998)“, Kapitel III Nr. 1.2.4, wonach zur Herstellung des Eluats das Material in der Regel in dem Zustand eingesetzt werden soll, in dem es verwertet wird.

Zusätzlich wurde Sulfat gemäß den Vorgaben der „Verwaltungsvorschrift über Lieferbedingungen für aufbereiteten Straßenaufbruch und Bauschutt zur Verwendung im Straßenbau Baden-Württemberg“ (VwV Straßenbau) bestimmt. Hierbei wird das Eluat abweichend von der DIN 38414-4 wie folgt hergestellt:

Das Material wird mit einem Laborbackenbrecher auf 10 mm zerkleinert, aus dem gebrochenen Material die Kornfraktionen 0,063 bis 2 mm und 2 bis 10 mm ausgesiebt und anschließend 60 g der Fraktion 0,063/2 mm und 140 g der Fraktion 2/10 mm mit 2 l Wasser eluiert. Das Eluat wird dann ebenfalls gemäß DIN EN ISO 10304-1 auf Sulfat untersucht. Die Vorgaben der Verwaltungsvorschrift gelten im Rahmen der Güteüberwachung von Materialien, die für eine Verwendung in Tragschichten für Straßen geeignet sind.

Ferner wurde die Korngrößenverteilung und die stoffliche Zusammensetzung der Materialien nach den Vorgaben der VwV Straßenbau untersucht.

4 Ergebnisse

In der Regel waren bei den Bauschuttrecycling-Anlagen verschiedene versandfertige Materialien gelagert. Im Wesentlichen konnten folgende Materialien unterschieden werden:

- Güteüberwachtes Recyclingmaterial der Körnungen 0/32, 0/45, 0/56, oder 0/100 mm, geeignet für Tragschichten im Straßenbau gemäß VwV Straßenbau, z. T. höherwertiges Material aus getrennt gebrochenem betonhaltigen Bauschutt.
- Weniger hochwertiges, nur für Auffüllung geeignetes Material der Körnungen 0/32, 0/45, 0/56 oder 0/100 mm.
- Vorsiebmaterial, Körnungen bis ca. 20 mm.

Die in den Bauschuttrecycling-Anlagen angelieferten mineralischen Abfälle werden meist nach den Materialien Betonbruch, Schwarzmaterial (Straßenbruch), Rotmaterial (Ziegel, Mauerwerk) und gemischtem Bruchmaterial getrennt gelagert. Diese getrennten Materialien werden in der Regel beim Brechen im je nach Qualität des Produkts gewünschten Verhältnis vermischt. Schwarzmaterial wird meistens nicht separat gebrochen, sondern bis zu dem gemäß VwV Straßenbau zulässigen Anteil von maximal 30 % den übrigen Materialien zugemischt. Offenbar ist die Verwertung von separat gebrochenem Schwarzmaterial, z. B. in Asphaltmischanlagen, derzeit nicht wirtschaftlich darstellbar.

4.1 PAK

Die Zusammenstellung aller Einzelergebnisse der untersuchten Proben enthält Tabelle 3 im Anhang.

Zur Zusammenfassung der Ergebnisse wurden die PAK-Gehalte in Klassen unterteilt und die Häufigkeiten der einzelnen Klassen in Prozent (Abbildung 1) sowie die Summenhäufigkeiten der Klassen in Prozent (Abbildung 2) dargestellt. In Tabelle 4 im Anhang sind die zugehörigen Werte tabellarisch aufgeführt.

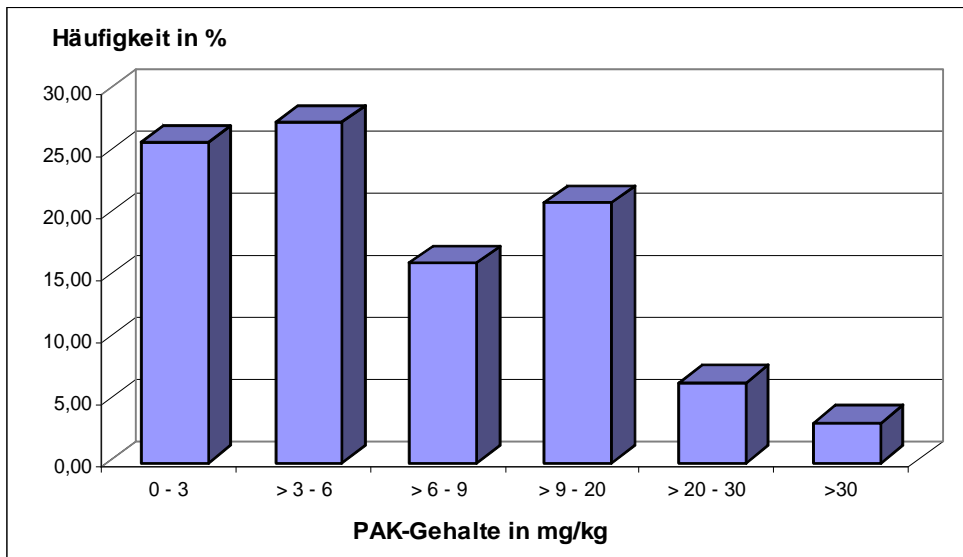


Abbildung 1 Prozentuale Verteilung der PAK-Gehalte in den 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien auf verschiedene Größenklassen

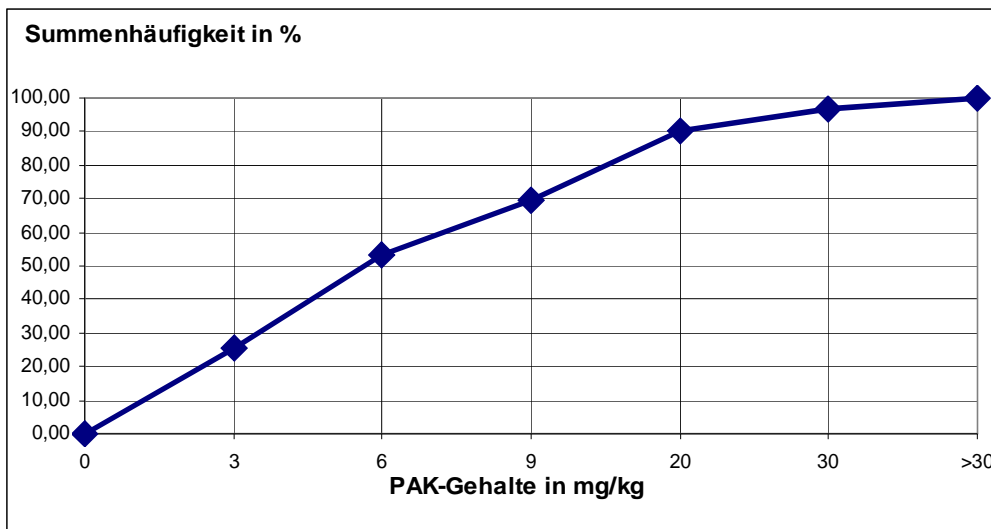


Abbildung 2 Summenkurve der prozentualen Verteilung der PAK-Gehalte in den 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien auf die verschiedenen Größenklassen

Die Mittel-, Median- und 80-Perzentilwerte der PAK-Gehalte sind in Tabelle 1 für alle 62 untersuchten Recyclingmaterialien aufgeführt. Zusätzlich sind die entsprechen-

den Werte separat für die 16 Vorsiebmaterialien und die übrigen 46 Recyclingmaterialien angegeben.

		Vorsiebmaterial bis ca. 20 mm	Recyclingmaterial 0/32 - 0/100	Gesamt
PAK in mg/kg	Mittel	9,91	8,56	8,91
	Median	7,82	5,37	5,60
	80-Perzentil	17,31	10,90	12,36

Tabelle 1 Mittel-, Median- und 80-Perzentilwert der PAK-Gehalte in den untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien (62 Proben insgesamt, davon 16 Vorsiebmaterialien und 46 sonstige Recyclingmaterialien)

4.2 Sulfat

Die Zusammenstellung aller Einzelergebnisse enthält Tabelle 3 im Anhang.

Zur Zusammenfassung wurden die Ergebnisse in Größenklassen unterteilt. In Abbildung 3 sind die Häufigkeiten der einzelnen Klassen in Prozent dargestellt, sowohl für die Bestimmung nach LAGA M 20 aus der unzerkleinerten Probe als auch für die Bestimmung nach VwV Straßenbau. In Abbildung 4 sind die Anteile der Größenklassen (in Prozent) aufsummiert. In Tabelle 5 im Anhang sind die zugehörigen Werte tabellarisch aufgeführt.

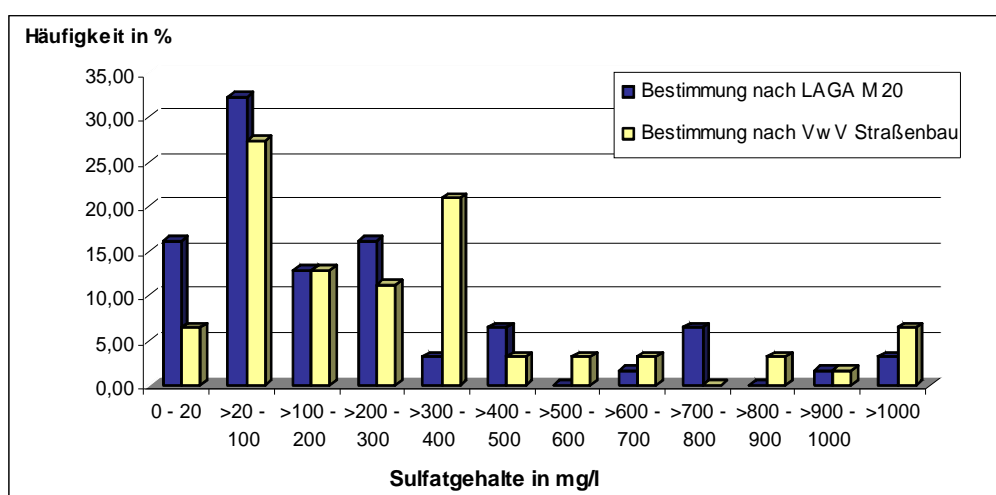


Abbildung 3 Prozentuale Verteilung der Sulfatgehalte in den 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien auf verschiedene Größenklassen

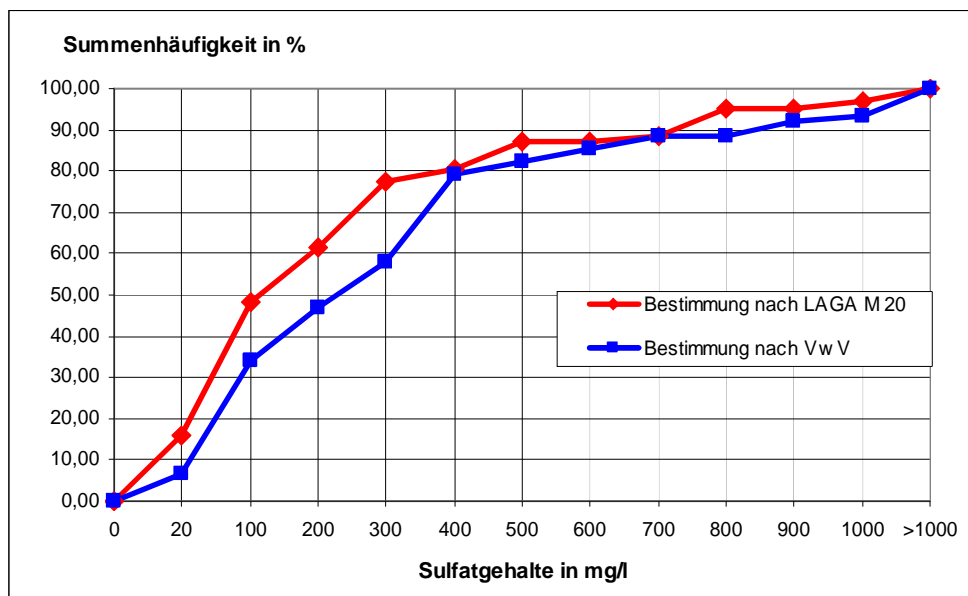


Abbildung 4 Summenkurve der prozentualen Verteilung der Sulfatgehalte in den 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien auf die verschiedenen Größenklassen

Die Mittel-, Median- und 80-Perzentilwerte der Sulfatgehalte - sowohl für die Bestimmung nach LAGA M 20 als auch nach VwV Straßenbau - sind in Tabelle 2 für alle 62 untersuchten Recyclingmaterialien aufgeführt. Zusätzlich sind die entsprechenden Werte separat für die 16 Vorsiebmaterialien und die übrigen 46 Recyclingmaterialien angegeben.

Sulfatgehalt in mg/l		Vorsiebmaterial bis ca. 20 mm	Recyclingmaterial 0/32 - 0/100	Gesamt
nach LAGA M 20	Mittel	350,88	191,85	232,89
	Median	222,00	69,00	103,00
	80-Perzentil	484,00	296,00	336,20
nach VwV Straßenbau	Mittel	439,81	259,80	306,26
	Median	337,00	153,50	249,50
	80-Perzentil	540,00	338,00	405,20

Tabelle 2 Mittelwert, Median und 80-Perzentilwert der Sulfatgehalte in den untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien (62 Proben insgesamt, davon 16 Vorsiebmaterialien und 46 sonstige Recyclingmaterialien)

4.3 Stoffliche Zusammensetzung

In Tabelle 6 im Anhang sind die Gehalte der einzelnen Proben an den Materialfraktionen Beton, Asphalt, Ziegel, Kies, Kalkstein und Hartgestein splitt sowie der Feinkornanteil $< 0,063$ mm und der Überkornanteil aufgeführt.

In den Abbildungen 5 bis 7 sind die prozentualen Anteile jeweils von Beton, Asphalt (Schwarzmaterial) und Ziegel (Rotmaterial) in den 62 Proben aufsteigend dargestellt.

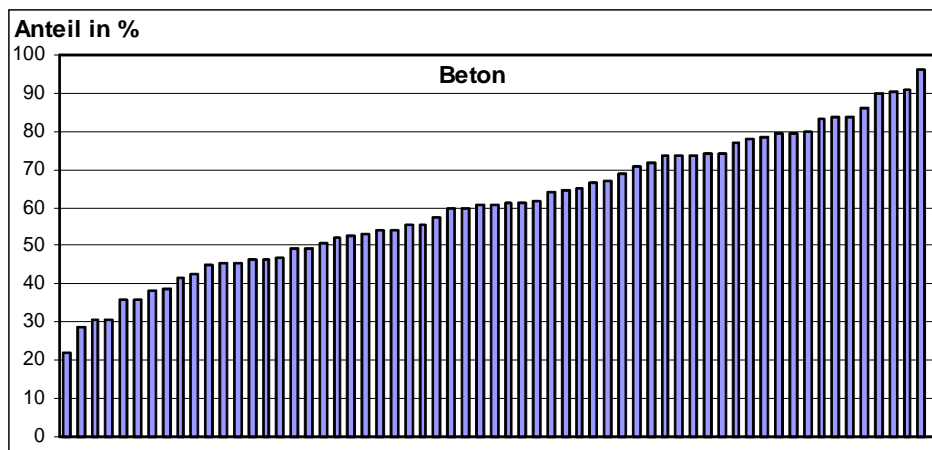


Abbildung 5: Betonanteile der Recyclingmaterialien

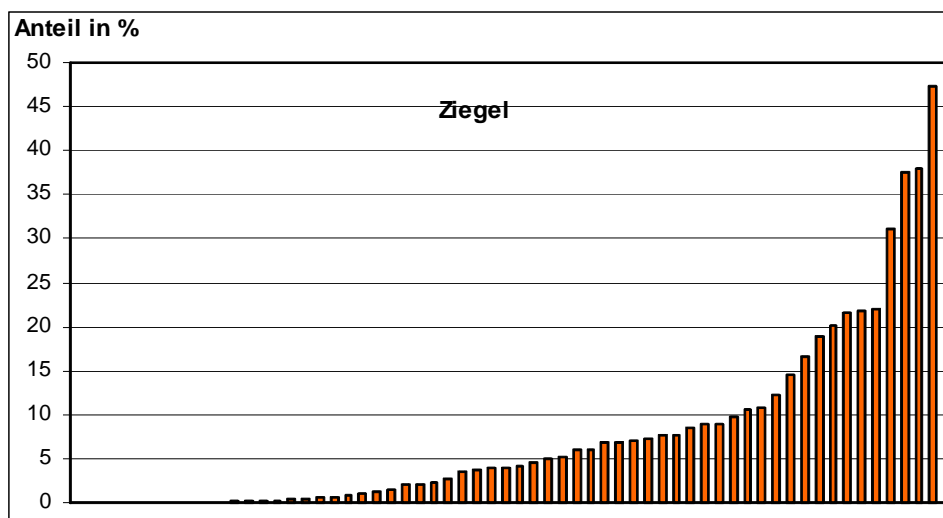


Abbildung 6: Ziegelanteil (Rotmaterial) der Recyclingmaterialien

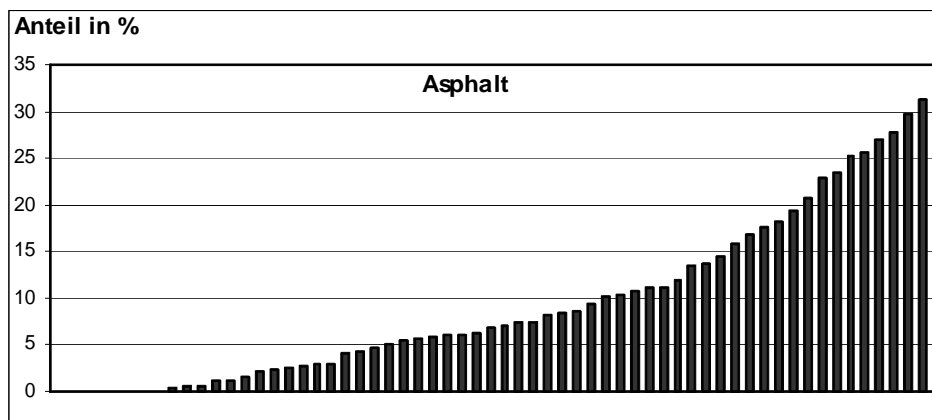


Abbildung 7: Asphaltanteil (Schwarzmaterial) der Recyclingmaterialien

Gemäß VwV Straßenbau dürfen die Asphaltanteile im Recyclingmaterial maximal 30 Gew.-% betragen. Diese Grenze wurde von einer Probe überschritten, allerdings nur geringfügig.

5 Bewertung

5.1 PAK

Die Verteilung der ermittelten PAK-Gehalte auf die einzelnen Größenklassen weicht deutlich ab von den Ergebnissen der UVM-Erhebung nach Aktenlage bei den Vollzugsbehörden vom September 2003 (UVM, 2003):

Größenklasse PAK in mg/kg	Häufigkeit der Größenklassen in %	
	Untersuchungsergebnisse	UVM-Erhebung
0 - 3	25,8	49,7
> 3 - 6	27,4	19,2
> 6 - 10	17,7	11,5
> 10 - 20	19,4	7,5
> 20 - 30	6,5	4,0
> 30	3,2	8,1

Vor allem ist der Anteil der Proben in der untersten Größenklasse (0 - 3 mg/kg) deutlich niedriger als bei der UVM-Erhebung.

Der mittlere PAK-Gehalt der von uns untersuchten Proben liegt bei 9,0 mg/kg. Der Median liegt mit 5,6 mg/kg aufgrund der Ausreißer nach oben deutlich niedriger.

5.2 Sulfat

Die Verteilung der ermittelten Sulfatwerte weicht nicht erheblich von den Ergebnissen der UVM-Erhebung ab:

Größenklasse Sulfat in mg/l	Häufigkeit der Größenklassen in %		
	Untersuchungsergebnisse		UVM-Erhebung
	Bestimmung nach LAGA M20	Bestimm. nach VwV Straßenbau	
0 - 100	48,4	33,9	47,1
> 100 - 200	12,9	12,9	19,6
> 200 - 300	16,1	11,3	7,8
> 300 - 400	3,2	21,0	6,9
> 400	19,4	20,9	18,1

Zu beachten ist, dass bei den von uns ermittelten Werten aufgrund der kleineren Datenbasis (62 Werte gegenüber 549 bei der UVM-Erhebung) eher ungleichmäßigere Verteilungen auftreten als bei der UVM-Erhebung.

Je nach Bestimmungsmethode für Sulfat, entweder nach LAGA M 20 aus dem unzerkleinerten Probenmaterial und oder nach VwV Straßenbau nach Zerkleinerung auf max. 10 mm, ergaben sich teilweise erheblich unterschiedliche Sulfatgehalte im gleichen Probenmaterial. Der Mittelwert aller Sulfatbestimmungen nach LAGA M 20 liegt bei rund 200 mg/l, der Wert der Bestimmungen nach VwV Straßenbau mit rund 280 mg/l deutlich höher. Es gibt jedoch auch einzelne Proben, bei denen die Bestimmung nach LAGA M 20 zu höheren Sulfatgehalten führte. Ursache hierfür ist, dass bei der VwV-Methode zwei gegenläufige Effekte zum Tragen kommen. Einerseits kann durch das Zerkleinern der Probe mehr Sulfat freigesetzt werden, andererseits wird bei dieser Methode der Feinanteil < 0,063 mm, der in der Regel mehr Sulfat enthält, abgetrennt.

5.3 Unterschiede zwischen Vorsiebmaterial und sonstigem Material

Die untersuchten Vorsiebmaterialien haben mit Mittelwerten von 351 mg/l (nach LAGA M 20) und 440 mg/l (nach VwV Straßenbau) wesentlich höhere Sulfatgehalte als die übrigen Recyclingmaterialien (Körnungen 0/32, 0/45, 0/56, 0/100) mit 192 mg/l (nach LAGA) und 260 mg/l (nach VwV). Die jeweiligen Mediane und 80-Perzentilwerte weichen noch mehr voneinander ab.

Die Mittelwerte der PAK-Gehalte sind in den untersuchten Vorsiebmaterialien (Mittelwert 9,9 mg/kg) nur geringfügig höher als in den übrigen Recyclingmaterialien (Mittelwert 8,6 mg/kg). Deutlicher sind die Unterschiede der Mediane (7,8 mg/kg zu 5,4 mg/kg) und der 80-Perzentilwerte (17,3 mg/kg zu 10,9 mg/kg), was auf höhere Ausreißer bei den Vorsiebmaterialien hindeutet.

5.4 Zusammenhang zwischen stofflicher Zusammensetzung und PAK- und Sulfatgehalt

5.4.1 PAK und Asphalt

Eine Korrelation zwischen dem Asphaltanteil der Materialien (bestimmt nach VwV Straßenbau) und dem PAK-Gehalt ist nicht erkennbar. Die Trendlinie in Abbildung 8 hat ein sehr schlechtes Bestimmtheitsmaß (R^2). Selbst wenn man die große Streubreite außer Acht lässt und die Trendlinie bewertet, erkennt man an deren Steigung eine nur sehr geringe Erhöhung des PAK-Gehaltes mit dem Asphaltanteil.

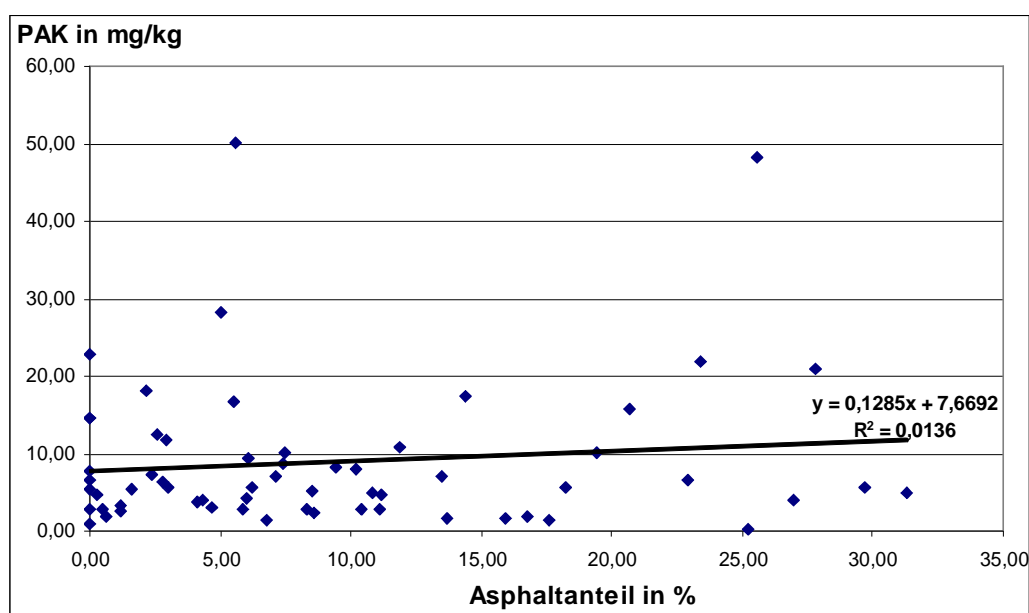


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen PAK-Gehalt und Asphaltanteil (Schwarzmaterial) der 62 Recyclingmaterialien
 R^2 : Bestimmtheitsmaß (R = Korrelationskoeffizient)
 y : Geradengleichung der Trendlinie

5.4.2 Sulfat und Beton

Ein Zusammenhang zwischen dem Betonanteil der Materialien und dem Sulfatgehalt ist aufgrund der starken Streuung der Werte ebenfalls nicht erkennbar (Abb. 9). Wertet man dennoch die Trendlinien aus, erkennt man eine geringe Abnahme des Sulfatgehaltes mit steigendem Betonanteil. Bei einer Verdopplung des Betona-

teils von 40 auf 80 % sinkt der Sulfatgehalt um knapp ein Drittel (von rund 270 auf 200 mg/l bei der Bestimmung nach LAGA M 20 (S4) und von 360 mg/l auf 260 mg/l bei der Bestimmung nach VwV Straßenbau).

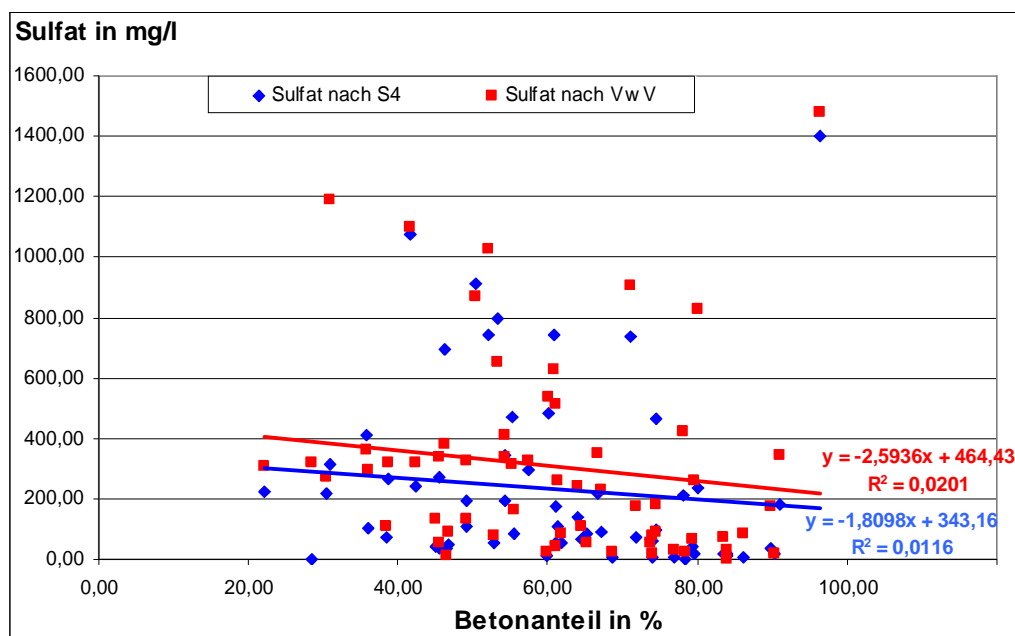


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Sulfatgehalt (bestimmt nach LAGA M 20 und nach VwV Straßenbau) und Betonanteil der 62 Recyclingmaterialien
 R^2 : Bestimmtheitsmaß (R = Korrelationskoeffizient)
 y : Geradengleichung der Trendlinie

5.4.3 Sulfat und Ziegel

Das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Trendlinie in Abbildung 10 für den Zusammenhang zwischen dem Ziegelanteil (Rotmaterial) und dem Sulfatgehalt ist deutlich höher als bei den Korrelationen Sulfat/Beton und PAK/Asphalt (Abb. 9 und 8). Dennoch ist die Streuung zu hoch, um von einer deutlichen Korrelation zu sprechen. Wertet man unbeachtet dessen die Trendlinie aus, erkennt man einen deutlichen Anstieg des Sulfatgehaltes mit zunehmendem Ziegelanteil: Erhöht sich der Ziegelanteil um 10 %, steigt der Sulfatgehalt um etwas mehr als das Doppelte.

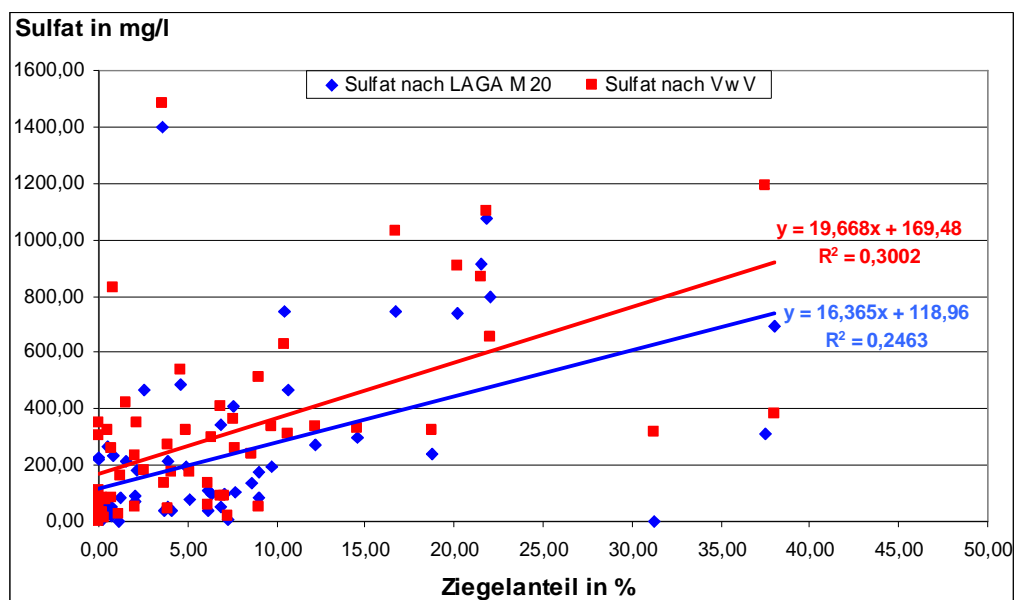


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Sulfatgehalt (bestimmt nach LAGA M 20 und nach VwV Straßenbau) und Ziegelanteil der 62 Recyclingmaterialien
 R^2 : Bestimmtheitsmaß (R = Korrelationskoeffizient)
 y : Geradengleichung der Trendlinie

6 Abkürzungs- und Quellenverzeichnis

LAGA M 20	Technische Regel M 20 der LAGA „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ (November 1998)
VwV Straßenbau	Verwaltungsvorschrift über vorläufige Lieferbedingungen für aufbereiteten Straßenaufbruch und Bauschutt zur Verwendung im Straßenbau Baden-Württemberg vom 15.11.1991 (GABl. 1991, S. 1182)
UVM, 2003	Sulfat- und PAK-Qualitäten einsatzfertiger mineralische Recyclingbaustoffe in Baden-Württemberg, Schreiben des UVM vom 25.09.2003, Az. 25-8982.31/37
LAGA PN 98	LAGA-Richtlinie PN 98 „Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen“ (Dezember 2001)

7 Anhang

Recyclingmaterialien 0/32 - 0/100				Vorsiebmaterialien			
Probe-Nr.	PAK	Sulfat nach LAGA M 20	Sulfat nach VwV Straßenbau	Probe-Nr.	PAK	Sulfat nach LAGA M 20	Sulfat nach VwV Straßenbau
	mg/kg	mg/l	mg/l		mg/kg	mg/l	mg/l
A/01	6,26	4,00	25,00	A/02	9,38	218,00	353,00
B/01	2,50	4,00	19,00	B/02	22,76	1400,00	1482,00
B/03	4,65	21,00	71,00	E/01	17,31	75,00	107,00
C/01	2,93	3,00	319,00	F/01	5,35	737,00	906,00
C/02	0,19	11,00	25,00	G/03	7,72	106,00	257,00
D/01	7,05	3,00	27,00	H/05	1,70	173,00	511,00
D/02	0,95	10,00	3,00	I/01	11,74	226,00	307,00
D/03	12,52	38,00	56,00	J/02	4,01	265,00	321,00
E/02	7,40	6,00	82,00	K/02	5,30	484,00	540,00
E/03	48,30	36,00	13,00	L/02	1,50	82,00	165,00
F/02	3,26	180,00	347,00	L/03	11,44	234,00	299,00
G/01	50,08	96,00	88,00	N/01	3,95	211,00	422,00
G/02	2,46	50,00	90,00	R/03	5,60	411,00	361,00
H/01	4,73	21,00	257,00	U/01	21,81	138,00	242,00
H/02	4,27	86,00	52,00	U/02	21,04	109,00	134,00
H/03	4,99	234,00	826,00	U/03	7,91	745,00	630,00
H/04	1,40	313,00	1190,00				
I/02	16,65	75,00	178,00				
J/01	18,02	69,00	54,00				
J/03	3,82	342,00	411,00				
K/01	10,13	54,00	44,00				
L/01	8,29	42,00	134,00				
M/01	5,16	465,00	180,00				
M/02	28,26	192,00	338,00				
N/02	2,88	54,00	84,00				
O/01	6,69	8,00	31,00				
P/01	14,51	38,00	173,00				
P/02	2,83	19,00	19,00				
Q/01	5,57	799,00	653,00				
Q/02	5,59	92,00	230,00				
R/01	2,91	296,00	328,00				
R/02	2,89	242,00	322,00				
S/01	14,59	695,00	382,00				
S/02	6,57	69,00	109,00				
T/01	5,60	269,00	338,00				
U/04	10,90	215,00	271,00				
V/01	4,93	54,00	77,00				
V/02	15,87	745,00	1029,00				
W/01	2,71	100,00	296,00				
W/02	6,98	196,00	326,00				
X/01	1,86	19,00	31,00				
X/02	8,72	914,00	868,00				
Y/01	10,08	61,00	77,00				
Y/02	1,73	1075,00	1098,00				
Z/01	1,91	42,00	67,00				
Z/02	3,02	468,00	313,00				

Tabelle 3 PAK- und Sulfatgehalte in den 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien

Größenklassen PAK in mg/kg	Anzahl der Proben	Häufigkeit in %	Summen- anzahl	Summen- häufigkeit in %
0 - 3	16	25,81	16	25,81
> 3 - 6	17	27,42	33	53,23
> 6 - 9	10	16,13	43	69,35
> 9 - 20	13	20,97	56	90,32
> 20 - 30	4	6,45	60	96,77
>30	2	3,23	62	100,00
	gesamt 62			

Tabelle 4 Verteilung der PAK-Gehalte der 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien auf die Größenklassen

Größenklassen Sulfat in mg/l	Anzahl der Proben	Häufigkeit in %	Summen- anzahl	Summen- häufigkeit in %
Sulfatbestimmung nach LAGA M 20				
0 - 20	10	16,13	10	16,13
> 20 - 100	20	32,26	30	48,39
> 100 - 200	8	12,90	38	61,29
> 200 - 300	10	16,13	48	77,42
> 300 - 400	2	3,23	50	80,65
> 400 - 500	4	6,45	54	87,10
> 500 - 600	0	0,00	54	87,10
> 600 - 700	1	1,61	55	88,71
> 700 - 800	4	6,45	59	95,16
> 800 - 900	0	0,00	59	95,16
> 900 - 1000	1	1,61	60	96,77
>1000	2	3,23	62	100,00
	gesamt 62			
Sulfatbestimmung nach VwV Straßenbau				
0 - 20	4	6,45	4	6,45
> 20 - 100	17	27,42	21	33,87
> 100 - 200	8	12,90	29	46,77
> 200 - 300	7	11,29	36	58,06
> 300 - 400	13	20,97	49	79,03
> 400 - 500	2	3,23	51	82,26
> 500 - 600	2	3,23	53	85,48
> 600 - 700	2	3,23	55	88,71
> 700 - 800	0	0,00	55	88,71
> 800 - 900	2	3,23	57	91,94
> 900 - 1000	1	1,61	58	93,55
>1000	4	6,45	62	100,00
	gesamt 62			

Tabelle 5 Verteilung der Sulfatgehalte der 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien auf die Größenklassen, jeweils für die Bestimmung nach LAGA M 20 und nach VwV Straßenbau

Probennummer	Beton	Kies	Kalkstein	Asphalt	Hartgesteinsplitt	Ziegel	Überkorn	Kornanteile < 0,063 mm
	Anteile in %							
Recyclingmaterial 0/32 - 0/100								
A/01	68,70	3,10	0,00	2,80	25,40	0,00	0,00	1,90
B/01	73,90	3,10	0,00	1,20	14,50	7,30	0,00	1,80
B/03	83,40	2,20	2,90	0,30	11,20	0,00	0,00	1,20
C/01	28,60	8,40	5,70	11,10	15,10	31,20	0,00	8,50
C/02	59,80	6,00	0,00	25,20	9,00	0,00	0,00	1,20
D/01	78,30	7,10	6,40	7,10	0,00	1,10	0,00	2,20
D/02	83,90	0,00	16,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D/03	45,50	6,70	39,10	2,60	0,00	6,10	0,00	6,30
E/02	86,20	0,00	10,50	2,40	0,70	0,20	0,00	1,20
E/03	46,50	25,10	1,50	25,60	1,00	0,30	0,00	1,60
F/02	91,10	1,60	1,40	1,20	2,50	2,20	0,00	5,30
G/01	74,40	7,40	0,60	5,60	4,90	7,10	0,00	3,90
G/02	46,80	25,00	0,00	8,60	12,60	6,90	0,00	4,20
H/01	79,60	8,50	0,00	11,20	0,00	0,70	0,00	0,80
H/02	65,20	12,10	3,20	6,00	4,50	9,00	0,00	6,70
H/03	80,00	8,40	0,00	10,80	0,00	0,80	0,00	1,20
H/04	30,80	8,10	0,00	6,80	16,80	37,50	0,00	7,90
I/02	71,90	0,00	0,00	5,50	17,50	5,10	0,00	6,50
J/01	73,70	8,10	0,00	2,20	13,90	2,10	0,00	5,20
J/03	54,30	6,70	7,90	4,10	20,10	6,90	0,00	8,80
K/01	61,00	15,40	0,00	7,50	12,20	3,90	0,00	3,90
L/01	45,10	21,10	0,00	9,40	20,70	3,70	0,00	4,70
M/01	74,40	0,00	5,00	8,50	9,50	2,60	0,00	6,00
M/02	54,20	0,00	0,00	5,00	31,10	9,70	0,00	5,90
N/02	61,90	1,80	0,00	0,50	35,10	0,70	0,00	5,30
O/01	76,90	0,00	0,00	22,90	0,00	0,20	0,00	2,10
P/01	89,90	0,00	0,00	0,00	6,00	4,10	0,00	11,70
P/02	90,40	1,20	0,00	0,00	8,40	0,00	3,10	1,80
Q/01	53,30	15,20	0,00	6,20	3,30	22,00	0,00	6,50
Q/02	67,10	6,40	0,00	3,00	21,50	2,00	0,00	5,80
R/01	57,50	8,00	0,00	5,90	14,10	14,50	0,00	4,80
R/02	42,40	10,10	0,00	8,30	20,40	18,80	3,60	6,60
S/01	46,20	0,00	15,80	0,00	0,00	38,00	0,00	12,40
S/02	64,50	0,00	4,20	0,00	31,30	0,00	0,00	5,60
T/01	45,40	24,20	0,00	18,20	0,00	12,20	0,00	5,70
U/04	30,50	15,40	34,20	11,90	4,10	3,90	0,00	4,50
V/01	52,80	0,90	0,00	31,30	14,70	0,30	0,00	3,10
V/02	52,00	0,00	0,00	20,70	10,60	16,70	0,00	8,50
W/01	36,00	0,00	0,00	10,40	47,20	6,40	0,00	6,60
W/02	49,20	6,70	0,00	13,50	25,80	4,90	0,00	5,90
X/01	83,90	13,90	1,60	0,60	0,00	0,00	0,00	1,90
X/02	50,50	14,20	0,00	7,40	6,40	21,50	0,00	10,20
Y/01	73,90	5,50	0,00	19,40	0,80	0,40	0,00	2,30
Y/02	41,70	15,10	0,00	15,90	5,60	21,80	0,00	9,40
Z/01	79,30	3,90	0,00	16,80	0,00	0,00	0,00	2,60
Z/02	55,30	2,40	0,00	4,70	26,90	10,70	0,00	5,90

Probennummer	Beton	Kies	Kalkstein	Asphalt	Hartgesteinsplitt	Ziegel	Überkorn	Kornanteile < 0,063 mm
	Anteile in %							
Vorsiebmaterial								
A/02	66,60	10,50	10,60	6,10	6,20	0,00	0,00	9,40
B/02	96,40	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60	7,30	17,70
E/01	38,40	29,40	17,80	14,40	0,00	0,00	0,00	10,30
F/01	71,00	2,70	4,50	1,60	0,00	20,20	3,00	7,20
G/03	61,40	29,20	1,70	0,00	0,00	7,70	0,00	7,00
H/05	61,20	12,50	0,80	13,70	2,80	9,00	0,00	8,50
I/01	22,20	14,40	0,00	2,90	60,50	0,00	15,50	12,00
J/02	38,70	25,20	0,00	27,00	8,60	0,50	0,00	8,30
K/02	60,00	35,40	0,00	0,00	0,00	4,60	0,00	23,00
L/02	55,40	17,80	0,00	17,60	8,00	1,20	0,90	5,30
L/03	nicht bestimmbar						0,00	19,30
N/01	78,10	0,00	0,00	4,30	16,10	1,50	0,00	14,50
R/03	35,80	10,60	0,00	29,70	16,40	7,60	1,90	12,00
U/01	64,10	3,90	0,00	23,40	0,00	8,60	2,10	2,70
U/02	49,20	0,00	7,20	27,80	9,70	6,10	0,40	3,90
U/03	60,90	11,90	6,50	10,20	0,00	10,50	0,00	19,10

Tabelle 6 Stoffliche Zusammensetzung, Überkorn- und Feinkornanteil der 62 untersuchten Bauschuttrecyclingmaterialien, getrennt nach Vorsiebmaterial und sonstigem Recyclingmaterial (bestimmt nach VwV Straßenbau)