

# Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg

 Untersuchungskampagne 2006



Baden-Württemberg

**BEARBEITUNG**

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-  
Württemberg  
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe  
Referat 35 – Abfallwirtschaft  
Dr. Carsten Schäfer  
Alfred Gamm

**STAND**

September 2006

Nachdruck- auch auszugsweise- ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG UND HINTERGRUND</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>9</b>
4.1	Ergebnisübersicht	9
4.2	Einzelergebnisse	9
4.2.1	PAK	10
4.2.2	Sulfat	10
4.2.3	Elektrische Leitfähigkeit	11
4.2.4	PH-Wert	11
4.2.5	Schwermetalle und Arsen im Eluat	12
4.2.6	Stoffliche Zusammensetzung	12
<b>5</b>	<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE</b>	<b>15</b>
5.1	Übersicht über alle untersuchten Parameter	15
5.2	PAK-Gehalte	16
5.3	Sulfat-Gehalte	19
5.4	Vergleich verschiedener Untersuchungsverfahren	20
5.4.1	Probenaufbereitung bei der Sulfatbestimmung	20
5.4.2	Probenaufbereitung bei der PAK-Bestimmung	22
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG</b>	<b>25</b>



# 1 Zusammenfassung

Im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg (UM) untersuchte die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg die aktuellen Qualitäten von 82 einsatzfertigen Recyclingbaustoffen für den offenen Einbau in technischen Bauwerken. 50 Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg wurden von der LUBW beprobt. Die Proben wurden vom Labor GIU, Teningen auf Schwermetalle, Arsen, Sulfat, Chlorid, Leitfähigkeit und pH-Wert im Eluat und auf PAK untersucht.

Die Ergebnisse zeigten, dass die in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerte des UM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ für Sulfat und PAK nicht von allen Proben eingehalten werden. 24 % der Proben beim Sulfat und 29 % der Proben bei PAK liegen über dem Z 1.1-Wert. Die übrigen untersuchten Parameter liegen bis auf wenige Ausnahmen unter Z 1.1, die Schwermetalle bis auf Chrom und Kupfer meistens unter der Nachweisgrenze.

Vergleicht man die Ergebnisse mit den Zuordnungswerten des LAGA-Eckpunktepapiers, das bei der Erarbeitung der Bundesverordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken mit berücksichtigt werden soll, sind weitaus mehr Überschreitungen festzustellen, vor allem bei Sulfat, PAK und Chrom. Die dort vorgeschlagenen Zuordnungswerte für den offenen, uneingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken können nur fünf der 82 untersuchten Proben (= 6 %) einhalten.

Beprobt wurden nur Betriebe, die nicht Mitglied im „Qualitätssicherungssystem Recycling-

Baustoffe Baden-Württemberg e.V.“ (QRB) sind. Die aus der Fremdüberwachung der QRB-Betriebe in den Jahren 2004 - 2006 erfassten Untersuchungsergebnisse für Sulfat und PAK sind im Vergleich zu unseren Ergebnissen im Schnitt etwas niedriger. Vor allem sind bei den QRB-Werten deutlich weniger Ausreißer nach oben vertreten. Hierin kann ein Erfolg der Qualitätssicherung bei QRB-Betrieben gesehen werden.

Separat gebrochene Materialien aus Beton oder aus dem Gebäudeabbruch enthielten tendenziell weniger PAK als die Gemische mit Asphaltmaterial. Die statistische Auswertung zeigte allerdings keinerlei Trend in der Hinsicht, dass der PAK-Gehalt mit zunehmendem Asphaltanteil steigt. Sulfat wurde in separat gebrochenem Material aus Beton oder aus Beton und Asphalt tendenziell weniger gefunden als in den sonstigen Materialien.

Für einen Methodenvergleich wurden die Eluate für die Sulfatbestimmung einerseits nach dem QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“, andererseits nach DIN EN 12457-4 bzw. DIN 38414-4 (DEV S4) hergestellt. Beide Verfahren lieferten, statistisch über alle Werte betrachtet, annähernd das gleiche Ergebnis. Allerdings kann im Einzelfall das gleiche Material sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern, wenn man es nach den zwei verschiedenen Verfahren untersucht.

In einem weiteren Methodenvergleich wurde festgestellt, dass statistisch gesehen die PAK-Bestimmung nach Zerkleinerung des Probenmaterials auf < 2 mm (entsprechend dem QRB-Leitfaden) und auf < 0,1 mm zum gleichen Ergebnis führt.

## 2 Aufgabenstellung und Hintergrund

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg wurde vom Umweltministerium Baden-Württemberg (UM) beauftragt, im Rahmen einer Untersuchungskampagne die aktuellen Qualitäten von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg zu bestimmen. Untersucht werden sollte in Bauschuttzubereitungsanlagen gebrochenes Recyclingmaterial, das zum offenen Einsatz in technischen Bauwerken vorgesehen ist. Mit dieser Untersuchung sollte die Beprobungskampagne der LUBW aus dem Jahr 2003 fortgeführt werden. Damals wurden insgesamt 62 Proben von 27 Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg auf die Parameter Sulfat und PAK untersucht (Bericht „Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial auf Sulfat und PAK“ vom 04.12.2003 [1], siehe [www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/abfaweb](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/abfaweb) oder [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de) → Publikationen → Abfall). Die Erkenntnisse der damaligen Untersuchungen flossen in den Erlass „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ des UM vom 13.04.2004 [2] mit ein.

Mit der Untersuchungskampagne 2006 sollte nun festgestellt werden, inwieweit sich die Gehalte an PAK und Sulfat in Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg seit den Untersuchungen von 2003 verändert haben. Darüber hinaus sollte aufgezeigt werden, welche Gehalte für weitere im UM-Erlass vom 13.04.2006 begrenzte Schadstoffe in Recyclingbaustoffen aus baden-württembergischen Anlagen aktuell zu erwarten sind. Damit sollten zusätzliche Daten als Entscheidungshilfe für die Umsetzung der Dynamisierungsklausel im UM-Erlass zur Verfügung gestellt werden. Laut dieser Dynamisierungsklausel sollen die Zuordnungswerte bis zum 01.01.2007 neu überdacht werden.

Anlass für die Untersuchungskampagne 2006 waren außerdem die Pläne des Bundes, eine „Verordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken“ zu erarbeiten. Unsere Untersuchungen sollten hierfür aktuelle Daten über Qualitäten von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg liefern. Vor allem für die besonders kontrovers diskutierten Parameter PAK und Sulfat stehen auch bundesweit nicht ausreichend Daten zur Verfügung. Dies wurde schon aus den ersten Ergebnissen des UBA-Forschungsprojektes „Aufkommen, Verbleib und Qualität mineralischer Abfälle“ [3] deutlich. Innerhalb dieses Projekts werden aktuell in Deutschland vorhandene Daten über Qualitäten mineralischer Abfälle zusammengestellt.

Seit 1. Oktober 2004 besteht in Baden-Württemberg eine Güteüberwachungsgemeinschaft für Recyclingbaustoffe, das QRB („Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e.V.“, siehe [www.qrb-bw.de](http://www.qrb-bw.de)), in der sich Baustoffrecyclingbetriebe und Fremdüberwachungsfirmen zur Güteüberwachung von Recyclingbaustoffen gemäß den Vorgaben des UM-Erlasses vom 13.04.2006 verpflichtet haben. Die statistische Auswertung der Ergebnisse aus der Fremdüberwachung innerhalb des QRB in den Jahren 2004 bis 2006 zeigt, dass die Zuordnungswerte des UM-Erlasses von den QRB-Betrieben in aller Regel eingehalten werden. Unsere Untersuchungskampagne 2006 zielt daher darauf ab, diejenigen Bauschuttrecyclinganlagen zu beproben, die nicht Mitglied im QRB sind und über die daher keine Fremdüberwachungsergebnisse in der QRB-Statistik vorliegen.

### 3 Durchführung der Untersuchungen

Für die Untersuchungskampagne wurden 50 Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg ausgewählt (Bild 1). Die Auswahl der Anlagen erfolgte aus den Daten des Statistischen Landesamtes und des UIS-Berichtssystems Baden-

Württemberg. Bevorzugt ausgewählt wurden die Anlagen mit den höchsten Durchsatzmengen. Anlagen, die Mitglied im QRB („Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg“) sind, wurden nicht beprobt.

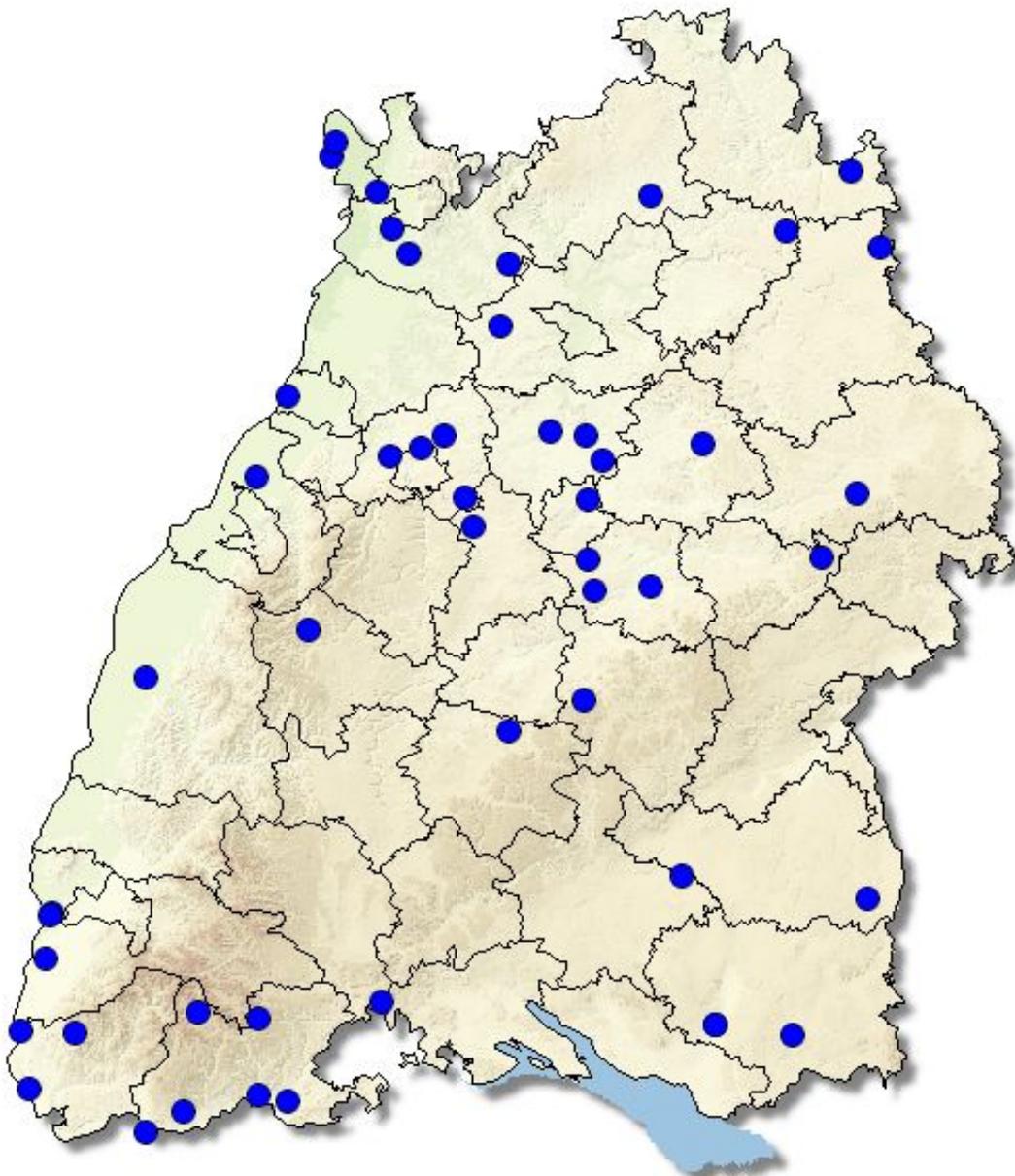


Bild 1: Standorte der beprobten Bauschuttrecyclinganlagen

Die Proben wurden von der LUBW, Referat 35 entnommen. Beprobte wurden insgesamt 82 gebrochene, einsatzfertige Recyclingbaustoffe, die für den offenen Einbau in technischen Bau-

werken vorgesehen waren. Aus unterschiedlichen Inputmaterialien hergestellte Recyclingbaustoffe wurden separat beprobt. Teilweise wurde nur ein einziges Material angetroffen, in dem alle Ein-

gangsmaterialien beim Brechen vermischt worden waren. Öfters wurden die Fraktionen Beton oder Beton + Asphalt separat gebrochen, um hochwertigeres Material, z. B. für den Einsatz als Trag- und Frostschutzschichten im Straßenbau, zu erhalten. Waren verschiedene Körnungen vorhanden, wurde von jedem Recyclingbaustoff nur die Körnung mit dem größten Korngrößenspektrum beprobt.

Probenahme und Probenaufbereitung wurden nach dem QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“ [4] durchgeführt, der vom QRB-Arbeitskreis „Fremdüberwachung“ erarbeitet und vom QRB im April 2006 beschlossen worden war. Der QRB-Leitfaden konkretisiert die Regelungen des UM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ vom 13.04.2004. Er gibt eine einheitliche Vorgehensweise für die Probennahme und -aufbereitung im Rahmen der Fremdüberwachung innerhalb des QRB vor. Nach QRB-Leitfaden erfolgt die Probenahme im Wesentlichen gemäß DIN EN 932-1 („Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen“) in Anlehnung an die LAGA PN 98 [5]. Je nach Volumen der zu beprobenden Materialmenge wurde eine bestimmte Anzahl von Einzel-

proben entnommen und zur Sammelprobe vereinigt. Die Menge von Einzel- und Sammelproben richtete sich nach dem Durchmesser des Größtkorns. Die Sammelprobe wurde vor Ort auf eine Laborprobe von ca. 10 kg reduziert, in dem sie kegelförmig aufgeschüttet und mit Teilerkreuz geteilt wurde.

Aufbereitet und analysiert wurden die Proben im Labor GIU, 79331 Teningen. Gemäß QRB-Leitfaden wurden die Proben mit 10 mm-Sieb gesiebt, das Überkorn schonend auf < 10 mm gebrochen und mit der Fraktion 0-10 mm vereinigt und homogenisiert. Eine Teilprobe davon wurde auf < 2 mm gebrochen und in dieser Form auf PAK untersucht (Analysevorschrift siehe Tab. 1). Die andere Teilprobe wurde zur Eluat-Herstellung mit 0,063 mm- und 2 mm-Sieb gesiebt und 140 g der Fraktion 2-10 mm mit 60 g der Fraktion 0,063-2 mm gemischt. Diese Mischung wurde 24 Stunden lang mit 1 Umdrehung pro Minute über Kopf gedreht. Das Eluat wurde auf die Parameter der Tabelle 1 nach den dort genannten Analysevorschriften untersucht. Zusätzlich wurde die stoffliche Zusammensetzung der Proben, d. h. die Anteile an Beton, Asphalt, Ziegel etc. bestimmt.

Tabelle 1: Untersuchte Parameter und angewandte Analysevorschriften

Parameter	Analysevorschrift
<b>Im Eluat:</b>	
Sulfat, Chlorid	DIN EN ISO 10304-2
Elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888
pH-Wert	DIN 38404-C5
Arsen, Blei, Cadmium, Chrom(ges), Kupfer, Nickel, Zink Quecksilber	DIN EN ISO 11885
	DIN EN 1483
<b>Im Feststoff:</b>	
PAK	DIN ISO 13877
Stoffliche Zusammensetzung	TP Min-StB

# 4 Ergebnisse

## 4.1 ERGEBNISÜBERSICHT

Die Einzelergebnisse und statistischen Auswertungen (Mediane, 80-Perzentile, 90-Perzentile, Min/Max-Werte, Mittelwerte) aller 82 untersuchten Proben von Bauschuttrecyclingmaterial sind der Tabelle im Anhang zu entnehmen.

In Tabelle 2 sind die Mediane (50-Perzentile), die 80-Perzentile und die Mittelwerte aller 82 untersuchten Proben zusammengefasst. Zum Vergleich sind die in Baden-Württemberg gültigen Zuord-

nungswerte des Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Bauschuttrecyclingmaterial“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13.04.2004 daneben gestellt. Zudem sind die Zuordnungswerte des LAGA-Eckpunktepapiers [6] angegeben. Das LAGA-Eckpunktepapier soll bei der Ausarbeitung der Bundesverordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken mit berücksichtigt werden.

Tabelle 2: Statistische Auswertung aller Analysen und Vergleich mit Z-Werten und RC-Werten

Parameter	Dimension	Analyseergebnisse			in Baden-Württemberg geltende Zuordnungswerte			Zuordnungswerte nach LAGA-Eckpunktepapier		
		Median	80-Perzentil	Mittelwert	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	RC-1	RC-2	RC-3
<b>PAK</b>	mg/kg TS	5,08	12,25	11,22	10	15	35	3	9	30
<b>Sulfat</b>	mg/l	66,4	291	182	250	400	600	100	300	600
<b>Chlorid</b>	mg/l	6,23	12,86	7,93	100	200	300	30	40	100
<b>elektrische Leitfähigkeit</b>	µS/cm	718	1158	775	2500	3000	5000	1500	2500	3000
<b>pH</b>		10,81	11,29	10,67	6,5–12,5	6–12,5	5,5–12,5	7–12,5	7–12,5	7–12,5
<b>Arsen</b>	µg/l	< 5	< 5	< 5	15	30	60			
<b>Blei</b>	µg/l	< 5	< 5	< 5	40	100	200			
<b>Cadmium</b>	µg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2	5	6			
<b>Chrom (ges)</b>	µg/l	12,6	20,6	14,05	30	75	100	12,5	25	60
<b>Kupfer</b>	µg/l	5,1	11,26	7,66	50	150	200	20	60	100
<b>Nickel</b>	µg/l	< 5	< 5	< 5	50	100	100	15	20	70
<b>Quecksilber</b>	µg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	1	2	< 0,5	1	2
<b>Zink</b>	µg/l	< 5	< 5	< 5	150	300	400	100	150	200
<b>Anteil Beton</b>	%	89	95	83						
<b>Anteil Asphalt</b>	%	3	6	5						
<b>Anteil Ziegel</b>	%	2	9	7						

## 4.2 EINZELERGEBNISSE

In den nachfolgenden Abbildungen (Bilder 2 bis 6) sind für einzelne Parameter die Ergebnisse aller 82 untersuchten Proben in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Zur Orientierung sind die Zuordnungswerte Z 1.1, Z 1.2 und Z 2 eingezeichnet,

die in Baden-Württemberg im UM-Erlass „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Bauschuttrecyclingmaterial“ vom 13.04.2004 [2] festgelegt sind.

#### 4.2.1 PAK

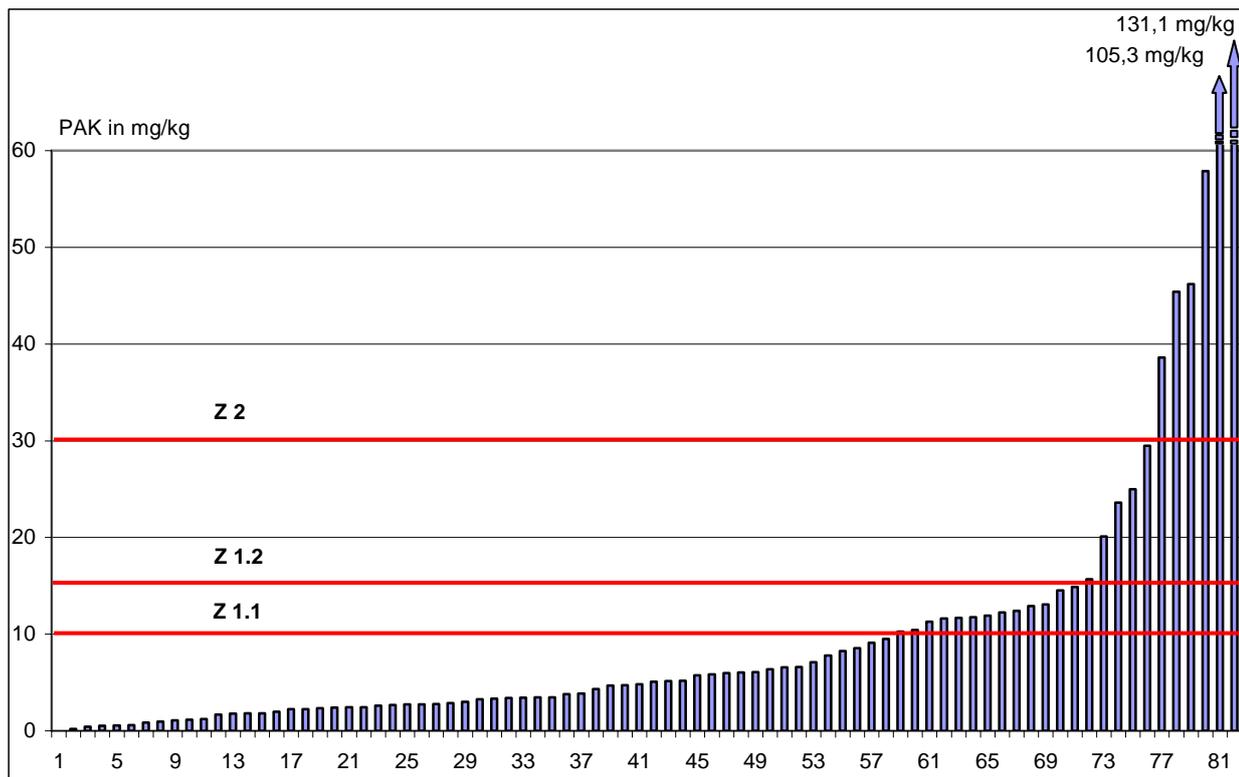


Bild 2: PAK-Gehalte aller 82 untersuchten Proben in aufsteigender Reihenfolge in Relation zu den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten.

#### 4.2.2 SULFAT

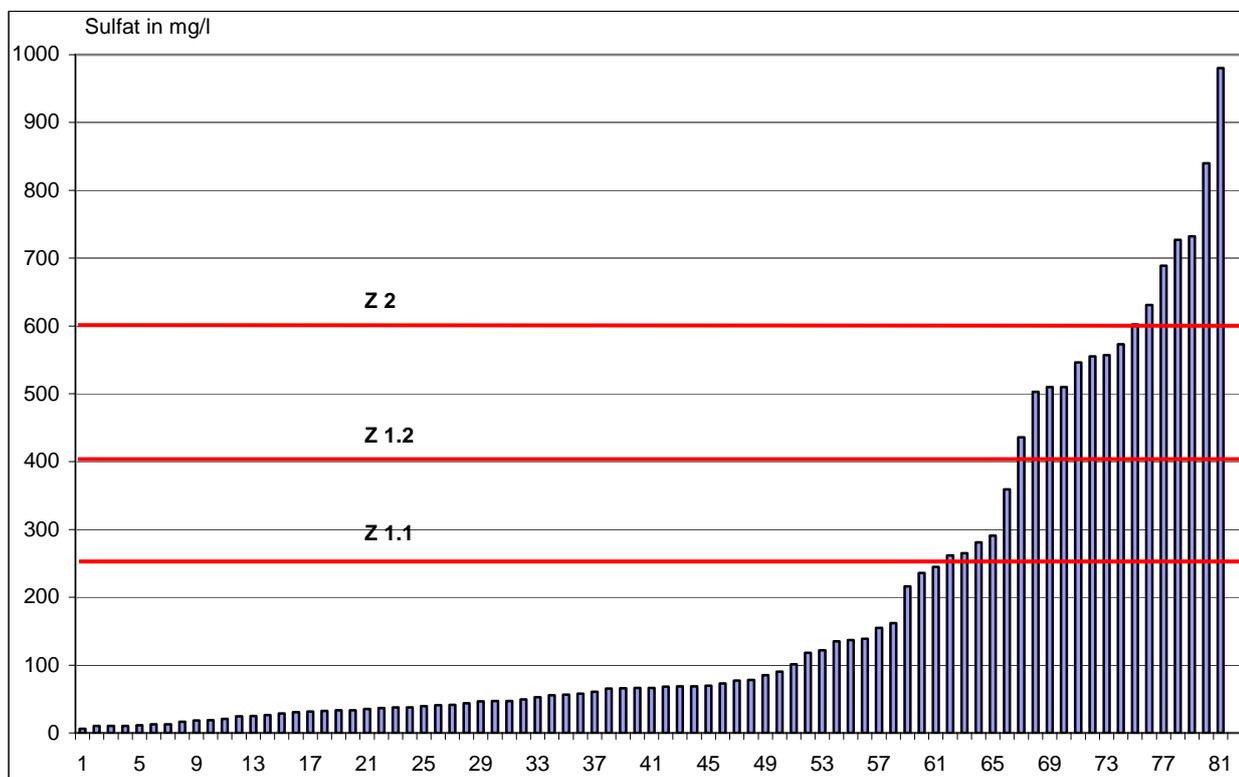


Bild 3: Sulfat-Gehalte der untersuchten Proben in aufsteigender Reihenfolge in Relation zu den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten.

#### 4.2.3 ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT

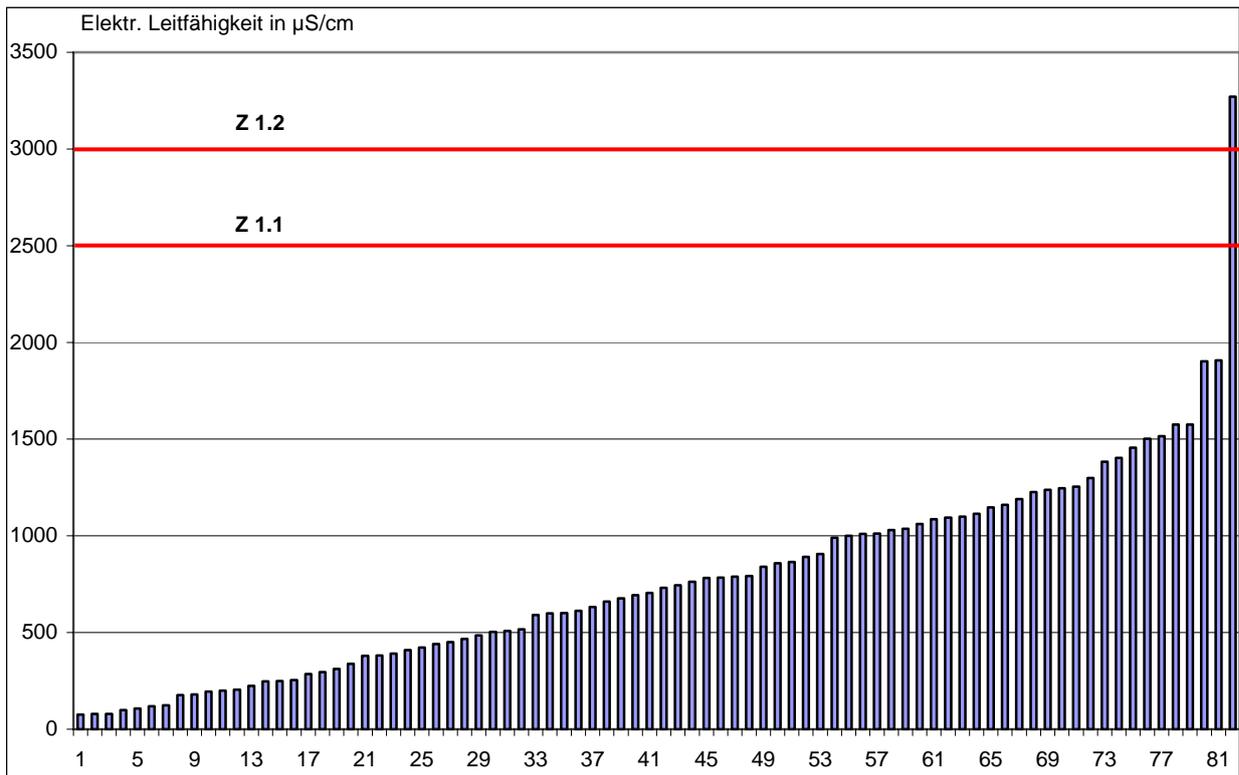


Bild 4: Elektrische Leitfähigkeit aller 82 untersuchten Proben in aufsteigender Reihenfolge in Relation zu den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten.

#### 4.2.4 PH-WERT

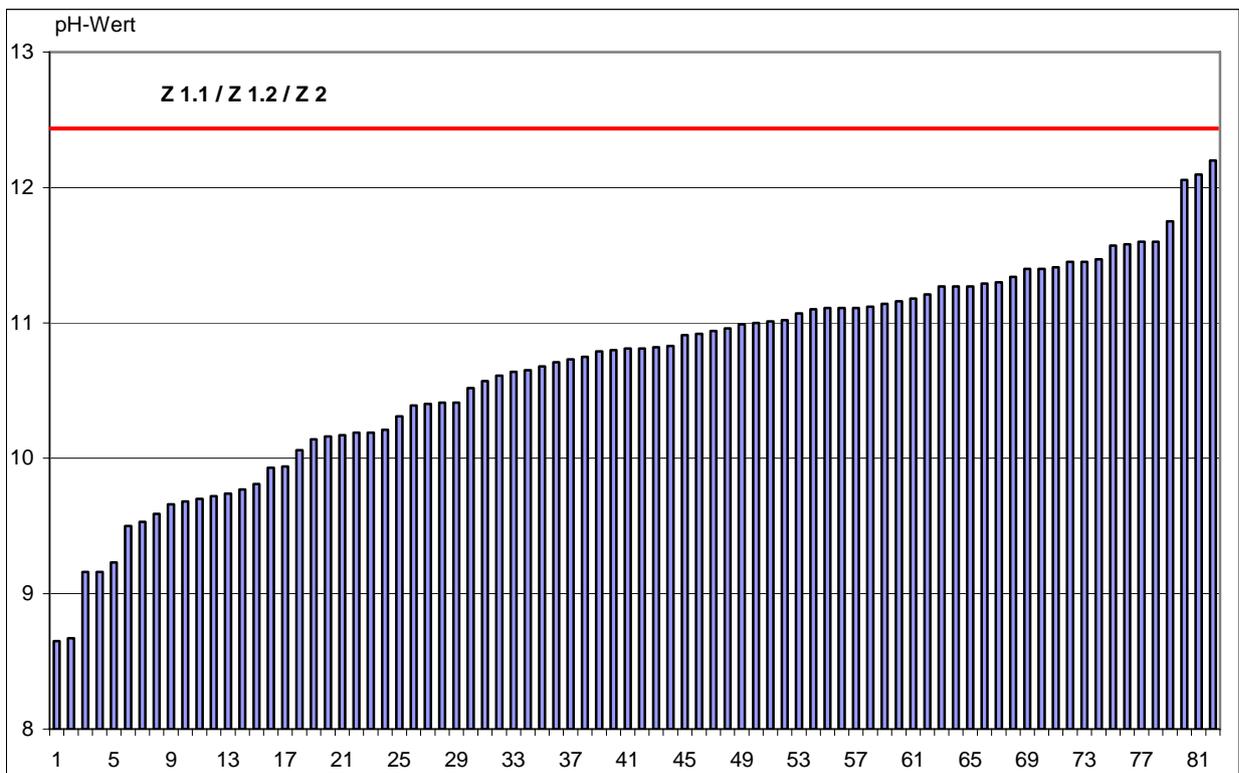


Bild 5: pH-Werte aller 82 untersuchten Proben in aufsteigender Reihenfolge in Relation zu den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten.

#### 4.2.5 SCHWERMETALLE UND ARSEN IM ELUAT

Der Chromgehalt lag bei zwei der 82 untersuchten Proben leicht oberhalb des Z 1.1-Wertes (Bild 6). Die Gehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink und der

Arsengehalt lagen bei allen Proben unterhalb des Z 1.1-Wertes und sind deshalb hier nicht im Einzelnen grafisch aufgeführt (Einzelergbnisse siehe Anhang).

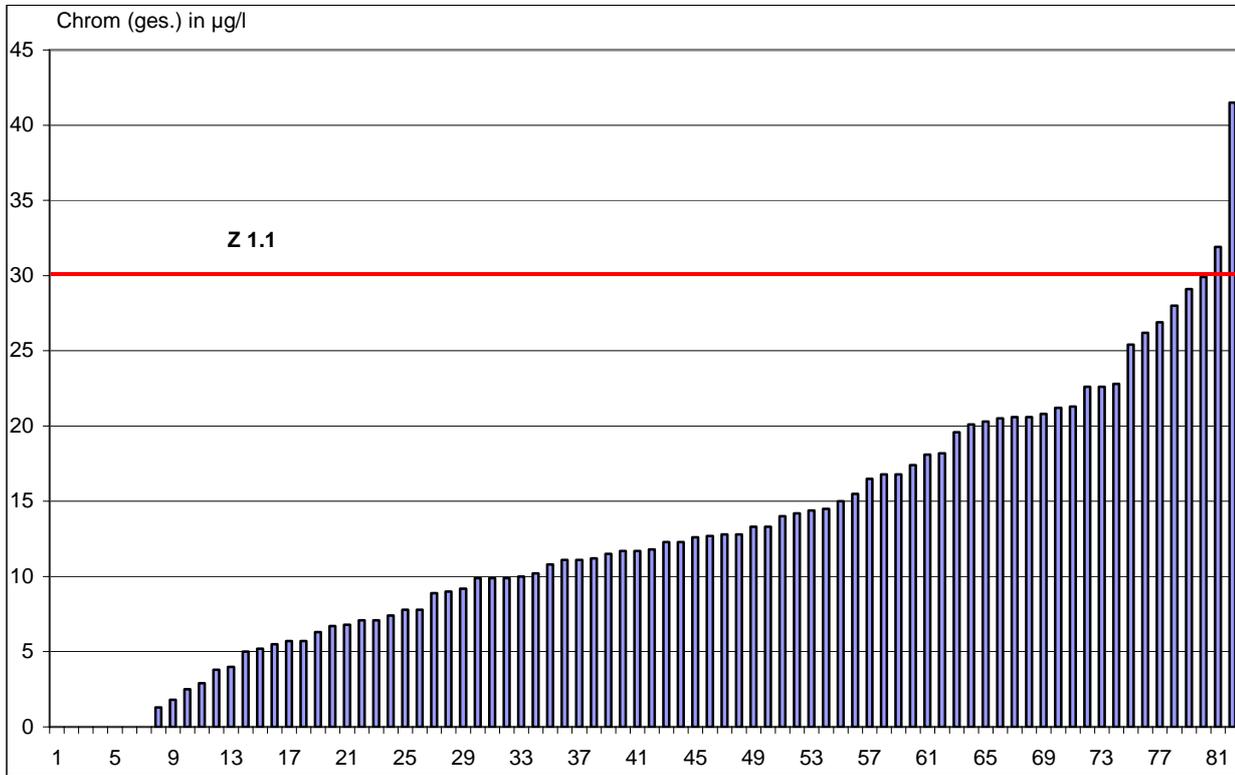


Bild 6: Chromgehalte aller 82 untersuchten Proben in aufsteigender Reihenfolge in Relation zu den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten

#### 4.2.6 STOFFLICHE ZUSAMMENSETZUNG

In den folgenden Abbildungen (Bilder 7 bis 10) ist die per Handauslese ermittelte stoffliche Zusammensetzung der Probenfraktion > 4 mm dargestellt.

Die Proben wurden nach den Ermittlungen und Betreiberangaben vor Ort einer der vier Katego-

rien von Ausgangsmaterialien „Beton“, „Beton und Asphalt“, „Material aus Gebäudeabbruch“ und „Gemische aller Fraktionen“ zugeordnet. Für jede dieser vier Ausgangsmaterialien sind die Stoffgehalte der Proben in einer separaten Grafik abgebildet.

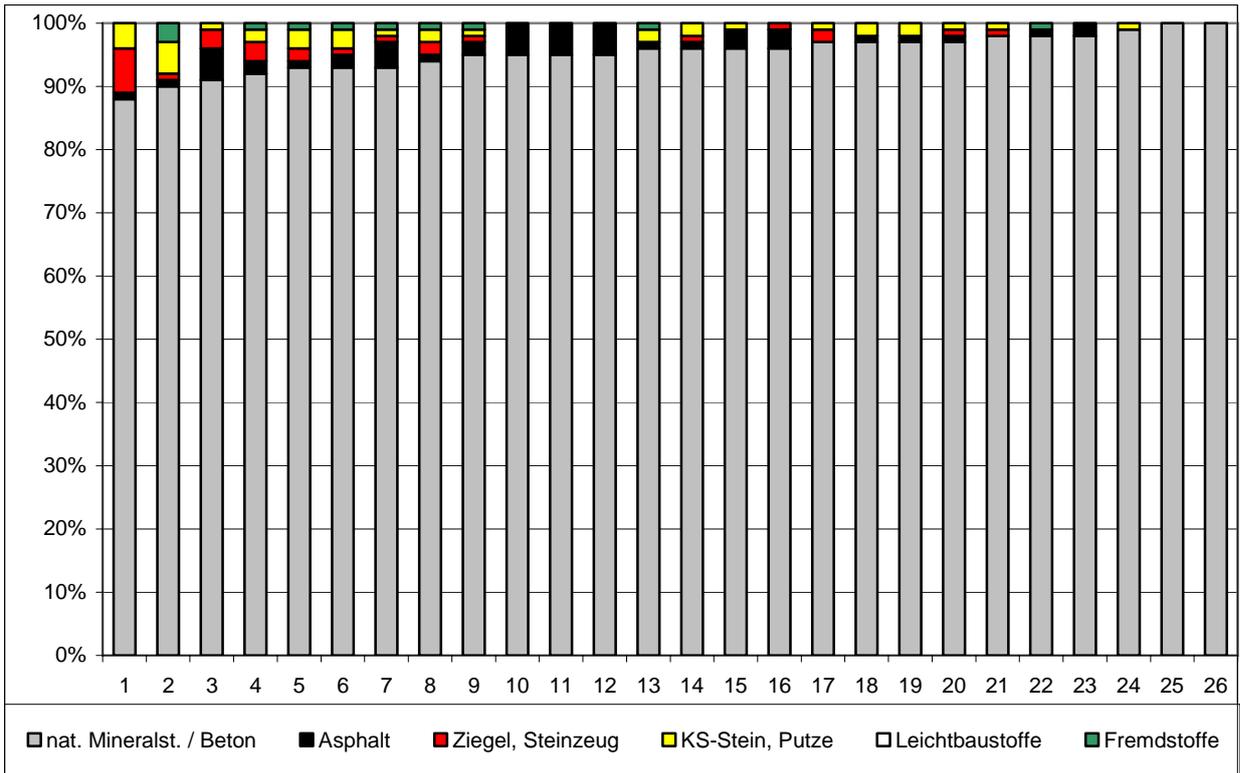


Bild 7: Stoffliche Zusammensetzung der Proben, die aus dem Ausgangsmaterial Beton hergestellt wurden.

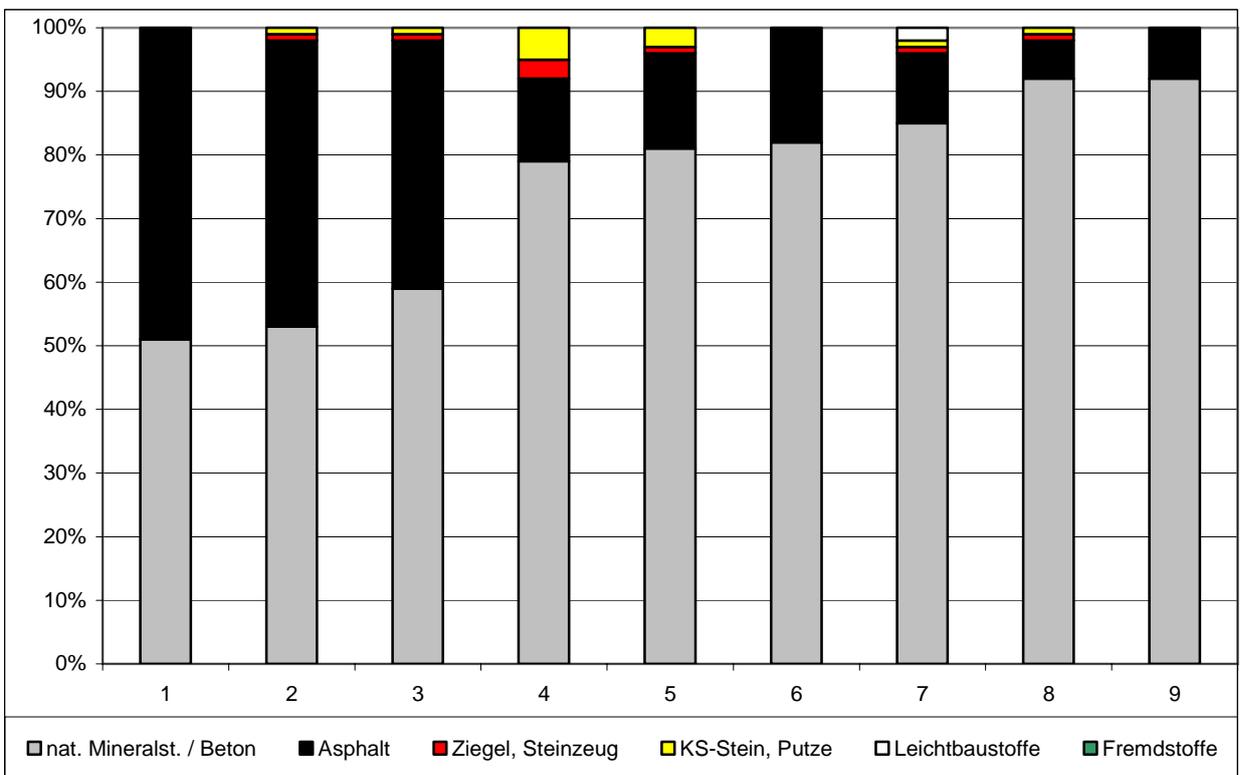


Bild 8: Stoffliche Zusammensetzung der Proben, die aus den Ausgangsmaterialien Beton und Asphalt hergestellt wurden.

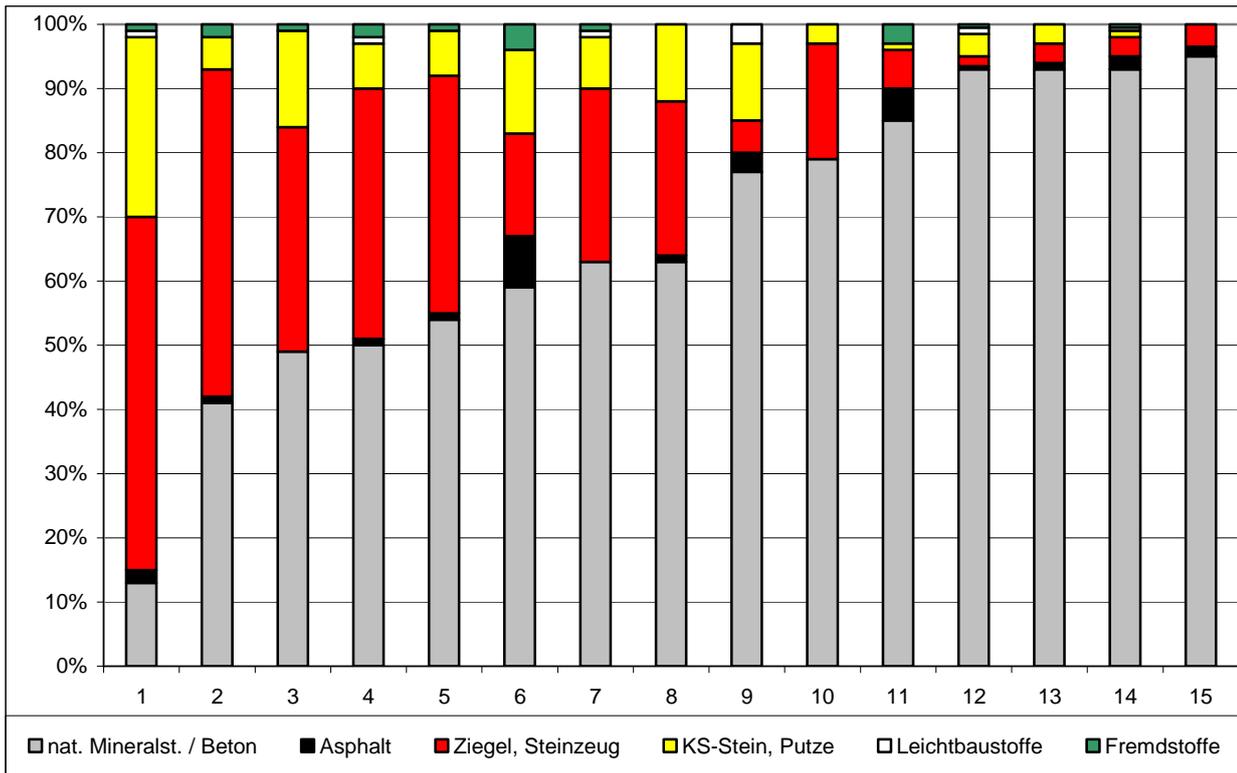


Bild 9: Stoffliche Zusammensetzung der Proben, die aus Ausgangsmaterialien aus dem Gebäudeabbruch hergestellt wurden.

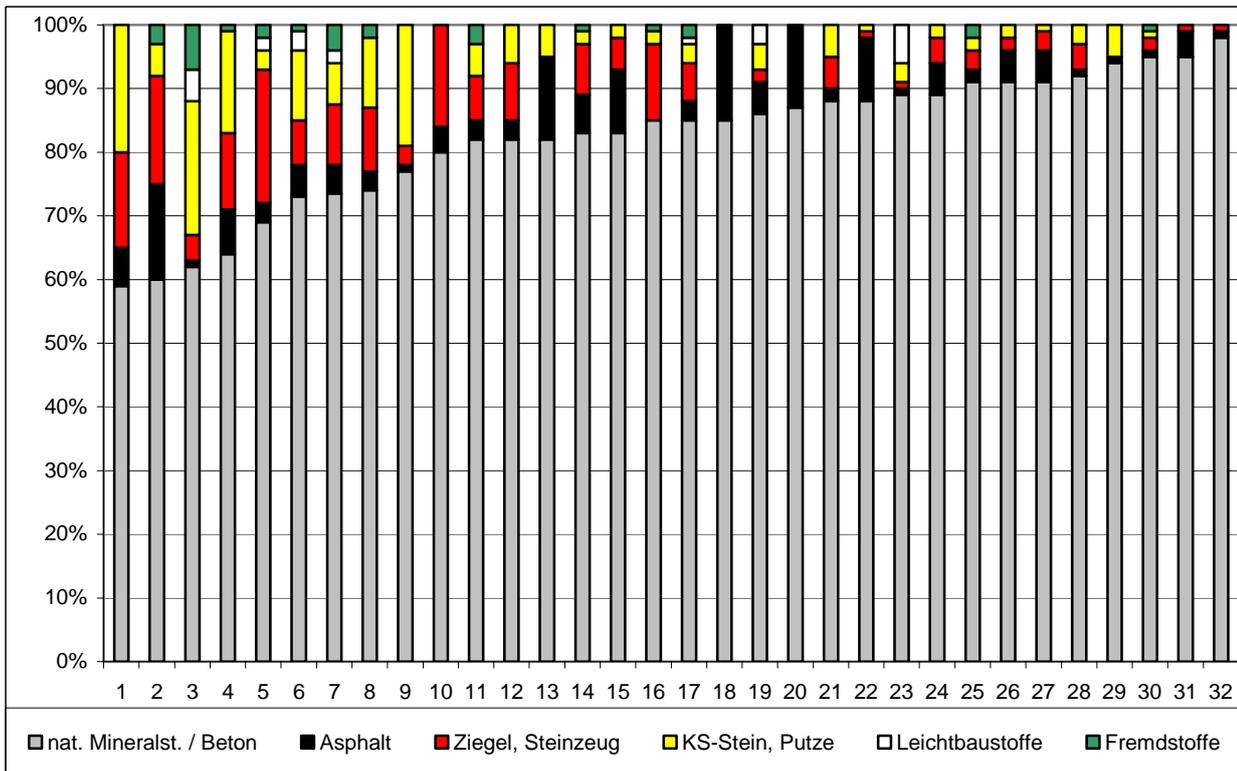


Bild 10: Stoffliche Zusammensetzung der Proben, die aus einem Gemisch aller Ausgangsmaterialien hergestellt wurden.

# 5 Diskussion der Ergebnisse

## 5.1 ÜBERSICHT ÜBER ALLE UNTERSUCHTEN PARAMETER

Bild 11 zeigt, wie häufig die Analysenwerte der 82 untersuchten Proben über den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten der

„Vorläufigen Hinweise zum Einsatz von Bauschuttrecyclingmaterial“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13.04.2004 [2] lagen.

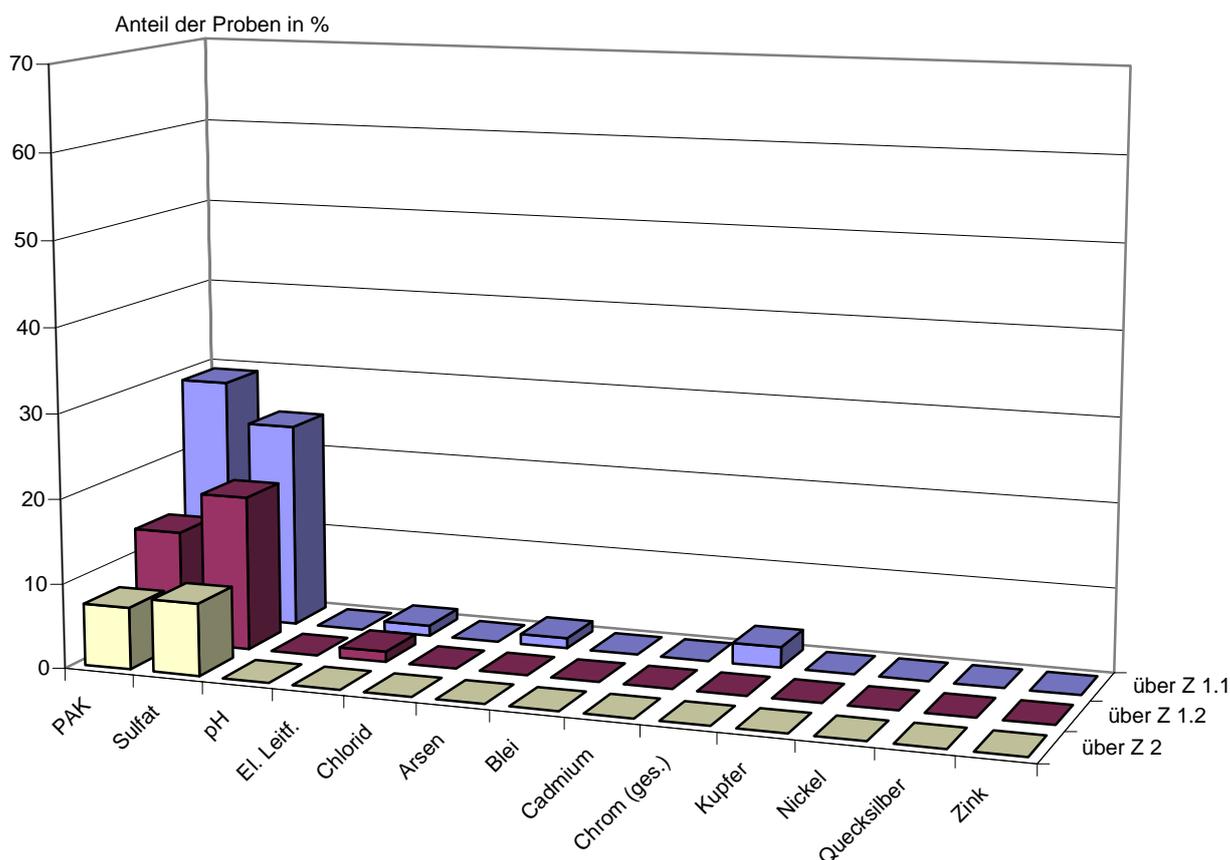


Bild 11: Prozentualer Anteil der Proben mit Werten über Z 1.1 / Z 1.2 / Z 2

Häufigere Überschreitungen gibt es bei den Parametern PAK (29 % der Proben über Z 1.1, 13 % über Z 1.2 und 7 % über Z 2) und Sulfat (24 % über Z 1.1, 18 % über Z 1.2 und 9 % über Z 2). Dagegen werden die Zuordnungswerte für pH, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Arsen und Schwermetalle im Eluat in aller Regel deutlich unterschritten. Ausnahme bei den Schwermetallen sind die Gehalte an Chrom(ges), die häufiger im Bereich des Z 1.1-Wertes und in zwei Fällen auch darüber lagen.

Im LAGA-Eckpunktepapier [6], das bei der Erarbeitung der Bundesverordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken mit berücksichtigt werden soll, sind die Zuordnungswerte RC-1, RC-2 und RC-3 festgelegt, deren Einbaukonfigurationen den Zuordnungswerten Z 1.1, Z 1.2 und Z 2 entsprechen. In Bild 12 wird deutlich, dass die dort vorgeschlagenen Zuordnungswerte RC-1, RC-2 und RC-3 für PAK und Sulfat noch weitaus häufiger überschritten werden als die Werte für Z 1.1, Z 1.2 und Z 2 (PAK: 66 % über RC-1, 32 % über RC-2, 7 % über RC-3; Sulfat: 38 % über RC-1, 20 % über

RC-2, 9 % über RC-3). Zudem liegt der Chrom-Gehalt vieler Proben über RC-1 (46 % der Proben) und teilweise über RC-2 (10 %) und auch die RC-1-Werte für Kupfer (5 % der Proben) und elektrische Leitfähigkeit (9 %) werden von eini-

gen Proben überschritten. Die Parameter Arsen, Blei und Cadmium sind nicht abgebildet, da das LAGA-Eckpunktepapier für diese Parameter die Zuordnungswerte offen gelassen hat.

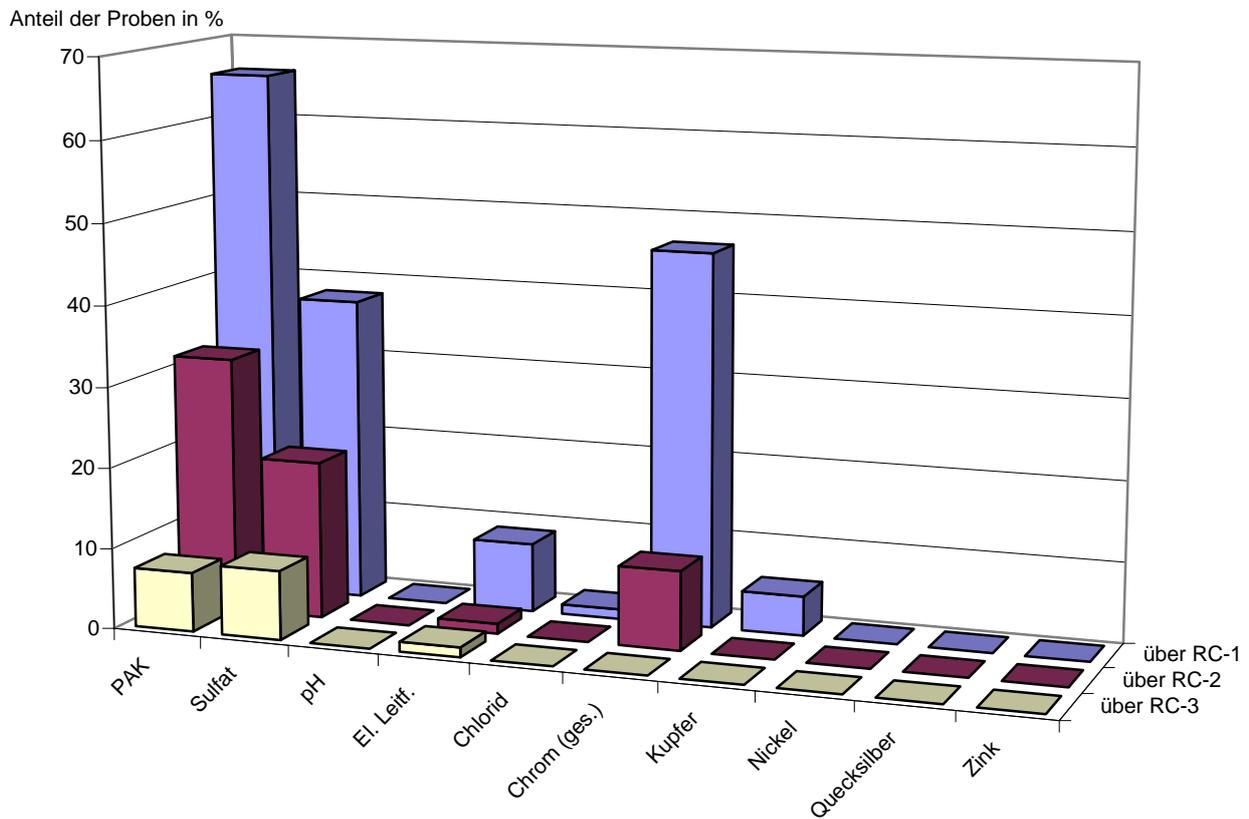


Bild 12: Prozentualer Anteil der Proben mit Werten über RC-1 / RC-2 / RC-3

Die über RC-1 hinausgehenden Werte für PAK, Sulfat und Chrom treten nicht immer kumuliert auf, sondern sind auf mehrere Proben verteilt. Würden die Zuordnungswerte der LAGA-Eckpunktepapiers zur Einstufung der Bauschuttrecyclingmaterialien heranzuziehen sein, könnten letztendlich nur fünf der 82 untersuchten Materia-

lien (= 6 %) die Kriterien für RC-1-Material erfüllen. Mit diesen Zuordnungswerten könnten also fast alle Recyclingbaustoffe in Baden-Württemberg die Anforderungen für den uneingeschränkten offenen Einbau in technischen Bauwerken nicht erfüllen.

## 5.2 PAK-GEHALTE

In Bild 13 sind die Summenhäufigkeiten der PAK-Gehalte der untersuchten Recyclingbaustoffe dargestellt. Zum Vergleich sind neben den aktuellen LUBW-Untersuchungsergebnissen (Jahr 2006) die Ergebnisse der Untersuchungskampagne der LUBW aus dem Jahr 2003 („Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial auf

Sulfat und PAK“ [1]) mit 62 untersuchten Proben und die Ergebnisse aus der Fremdüberwachung im Rahmen des „Qualitätssicherungssystems Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg“ (QRB) von 2004 bis 2006 (Anzahl der Werte n = 222) aufgeführt.

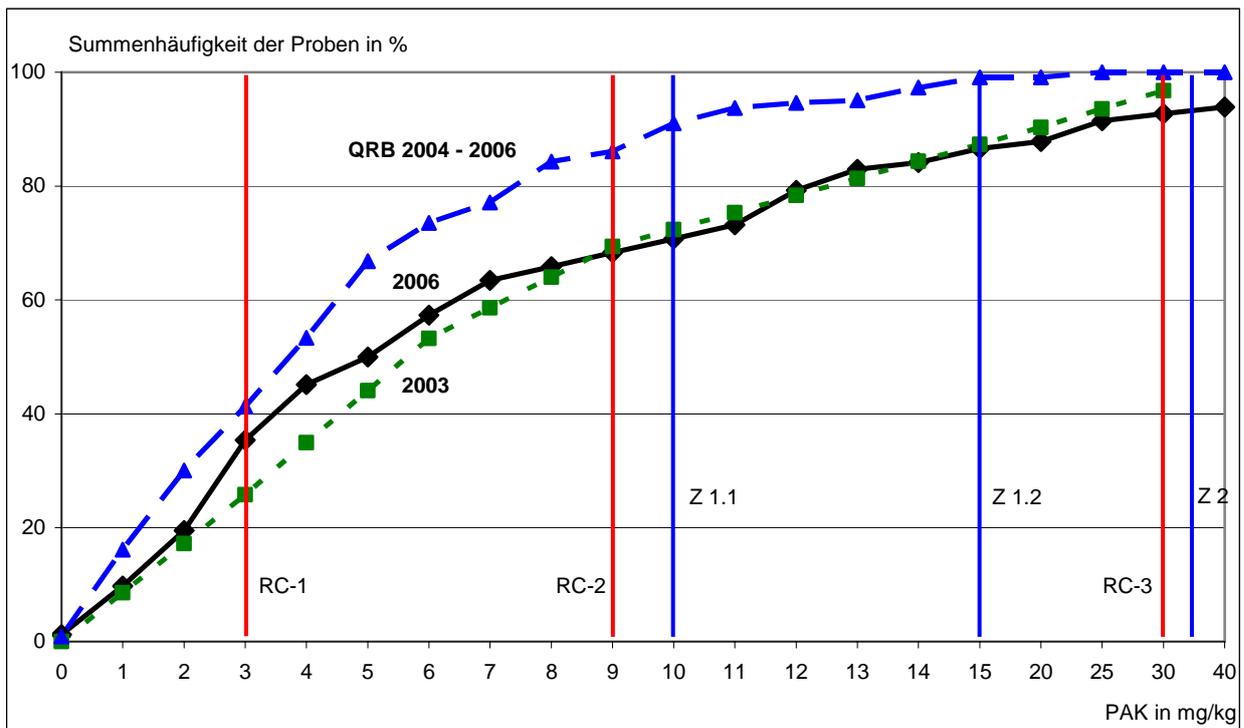


Bild 13: Summenhäufigkeiten der PAK-Gehalte der aktuellen Untersuchung (2006) im Vergleich zur Untersuchungskampagne 2003 und zu den Ergebnissen aus der QRB-Fremdüberwachung 2004 bis 2006.

Die Ergebnisse der LUBW-Untersuchungen von 2006 und 2003 sind nahezu gleich, was man z. B. an den Medianen von 4,8 mg/kg für 2006 und 5,6 mg/kg für 2003 sieht. Im Vergleich dazu sind die statistischen Ergebnisse der QRB-Fremdüberwachung niedriger (Median 3,6 mg/kg), vor allem gibt es nicht so viele Ausreißer nach oben.

Da die aktuellen LUBW-Untersuchungen ausschließlich bei Nicht-QRB-Betrieben durchgeführt wurden, kann man die statistisch gesehen geringere PAK-Belastung bei Recyclingbaustoffen von QRB-Betrieben als Erfolg der Qualitätssicherungsmaßnahmen des QRB interpretieren. Insbesondere gewährleistet die Qualitätssicherung im QRB, dass keine Materialien mit höheren

PAK-Gehalten (über ca. 15 mg/kg) als Recyclingbaustoffe für den offenen Einbau zum Einsatz gelangen.

In Bild 14 ist ausgewertet, welche PAK-Gehalte in Abhängigkeit von den Ausgangsmaterialien, aus denen der beprobte Recyclingbaustoff hergestellt wurde, gefunden wurden. An den Medianen erkennt man, dass separat gebrochene Materialien aus Beton oder aus dem Gebäudeabbruch tendenziell weniger PAK enthalten als die Gemische aus Beton und Asphalt und die Gemische aller Materialien. Dennoch können in jedem der vier Ausgangsmaterialien einzelne erhöhte PAK-Gehalte vorkommen.

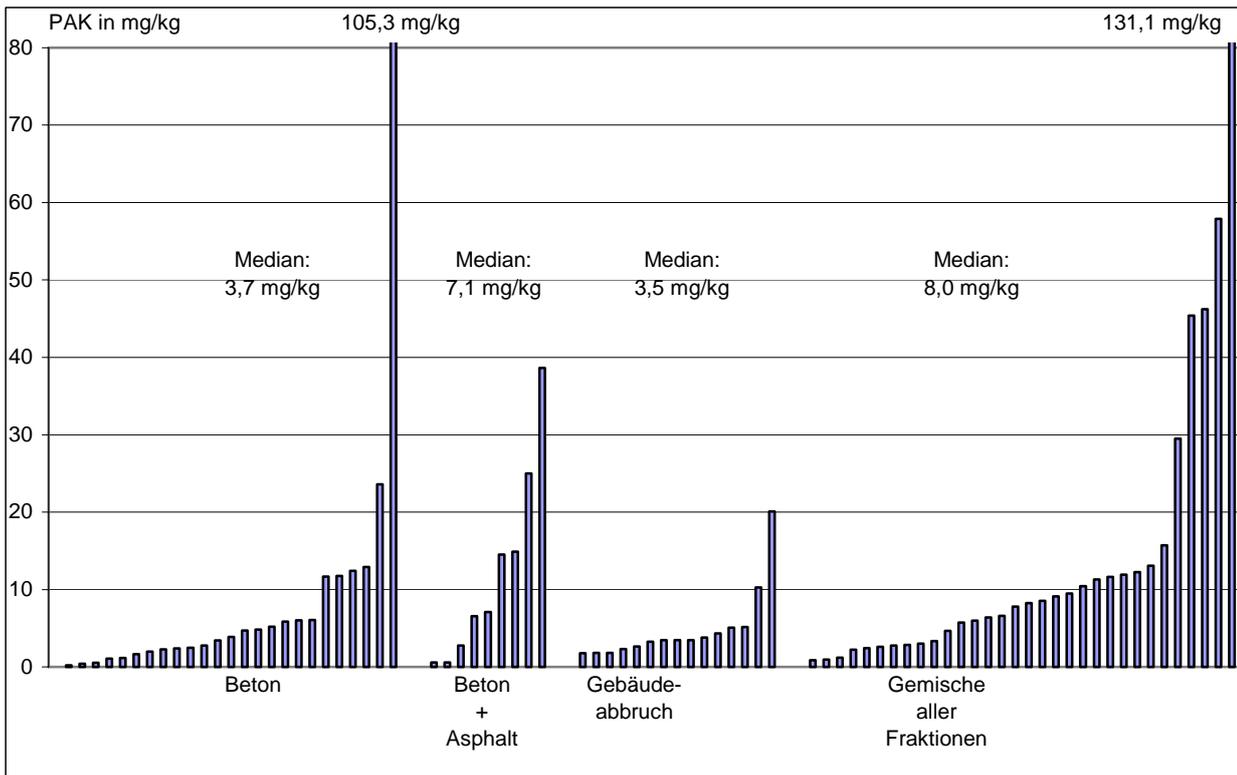


Bild 14: PAK-Gehalte in Abhängigkeit von verschiedenen Ausgangsmaterialien

Eine Korrelation zwischen dem Asphaltanteil der 82 Proben und deren PAK-Gehalt ist nicht erkennbar. Bild 15 zeigt keinerlei Trend. Auch bei niederen Asphaltanteilen können hohe PAK-

Gehalte (z. B. 57,9 mg/kg PAK bei 1 % Asphalt) und bei hohen Asphaltanteilen sehr geringe PAK-Gehalte (z. B. 0,5 mg/kg PAK bei 49 % Asphalt) auftreten.

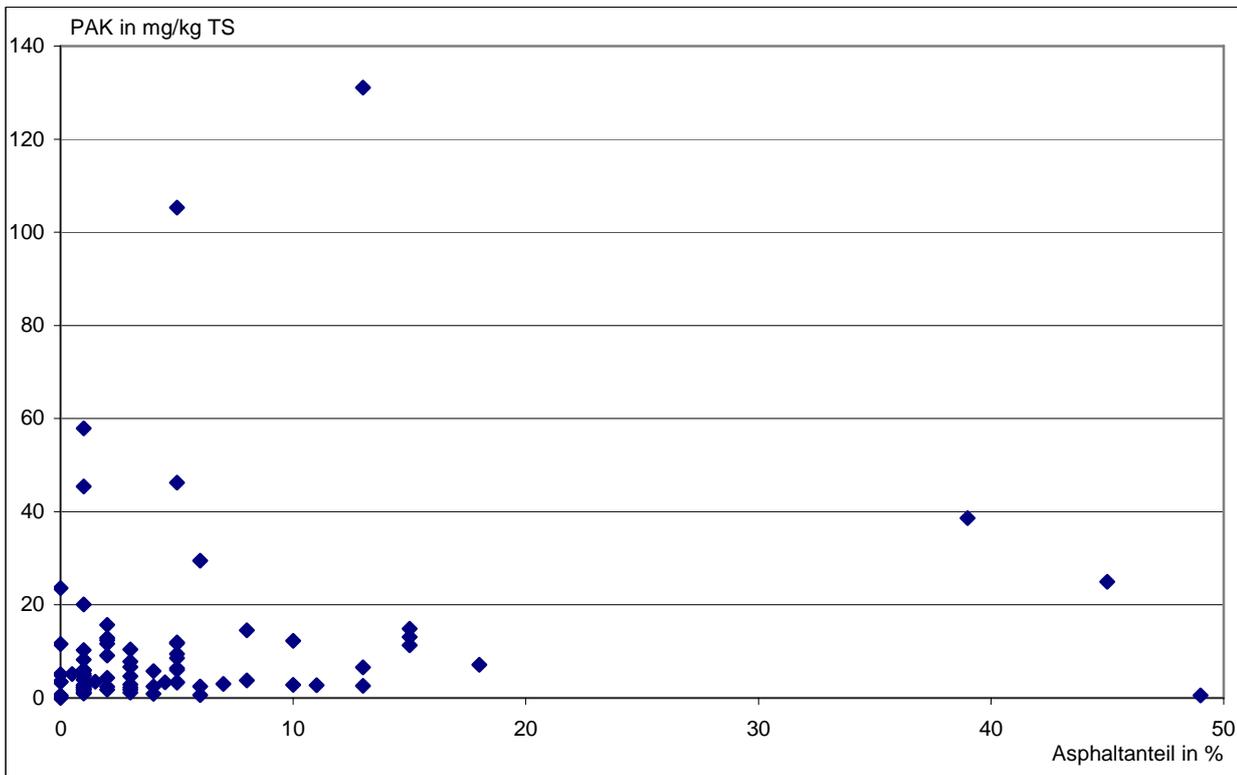


Bild 15: PAK-Gehalte der 82 Proben in Abhängigkeit vom Asphaltanteil

### 5.3 SULFAT-GEHALTE

In Abbildung 16 sind die Summenhäufigkeiten der Sulfatgehalte in den untersuchten Recyclingbaustoffen dargestellt. Zum Vergleich sind neben den aktuellen Untersuchungsergebnissen die Ergebnisse der Untersuchungskampagne der LUBW

aus dem Jahr 2003 [1] mit 62 untersuchten Proben und die Ergebnisse der QRB-Fremdüberwachung von 2004 bis 2006 (Anzahl der Werte n = 222) dargestellt.

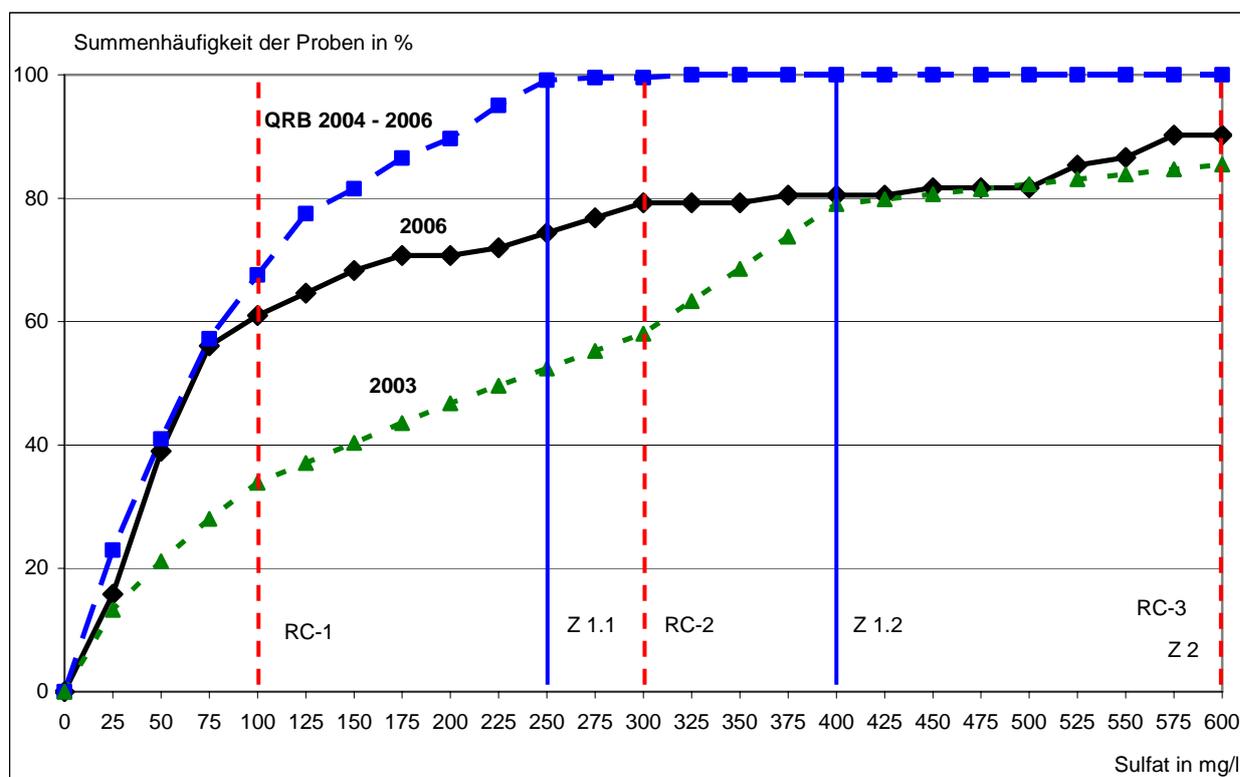


Bild 16: Summenhäufigkeiten der Sulfatgehalte der aktuellen Untersuchung (2006) im Vergleich zur Untersuchungskampagne 2003 und den Ergebnissen der QRB-Fremdüberwachung.

Die Sulfatgehalte der LUBW-Untersuchung von 2003 sind entsprechend dieser statistischen Auswertung deutlich höher als die Ergebnisse der aktuellen Untersuchungskampagne (Median 69 mg/l für 2006 und 250 mg/l für 2003). Offensichtlich konnte in den letzten drei Jahren durch die ab 13.04.2004 verbindlichen Regelungen der „Vorläufigen Hinweise zur Verwertung von Bauschuttrecyclingmaterial“ [2] erreicht werden, dass die Betriebe die Qualitätskontrollen bezüglich der Inputmaterialien verbessern und mehr sulfatreiche Materialien wie Gips aussondern.

Im Vergleich zu den Werten aus der QRB-Fremdüberwachung in den Jahren 2004 bis 2006 liegen die Werte aus der aktuellen Untersu-

chungskampagne bei Sulfatgehalten bis 75 mg/l annähernd gleich. Dies zeigen die fast gleichen Mediane (50-Perzentile) von 65,2 mg/l aus der QRB-Statistik und 66,4 mg/l aus der LUBW-Untersuchung 2006. Der Anteil von Ausreißern nach oben ist dann aber bei den QRB-Betrieben deutlich geringer. Wie schon für die PAK-Gehalte festgestellt (Kap. 5.2) kann hierin ein Erfolg der Qualitätssicherung bei QRB-Betrieben gesehen werden.

In Abbildung 17 ist ausgewertet, welche Sulfatgehalte in Abhängigkeit von den Ausgangsmaterialien, aus denen der beprobte Recyclingbaustoff hergestellt wurde, auftraten.

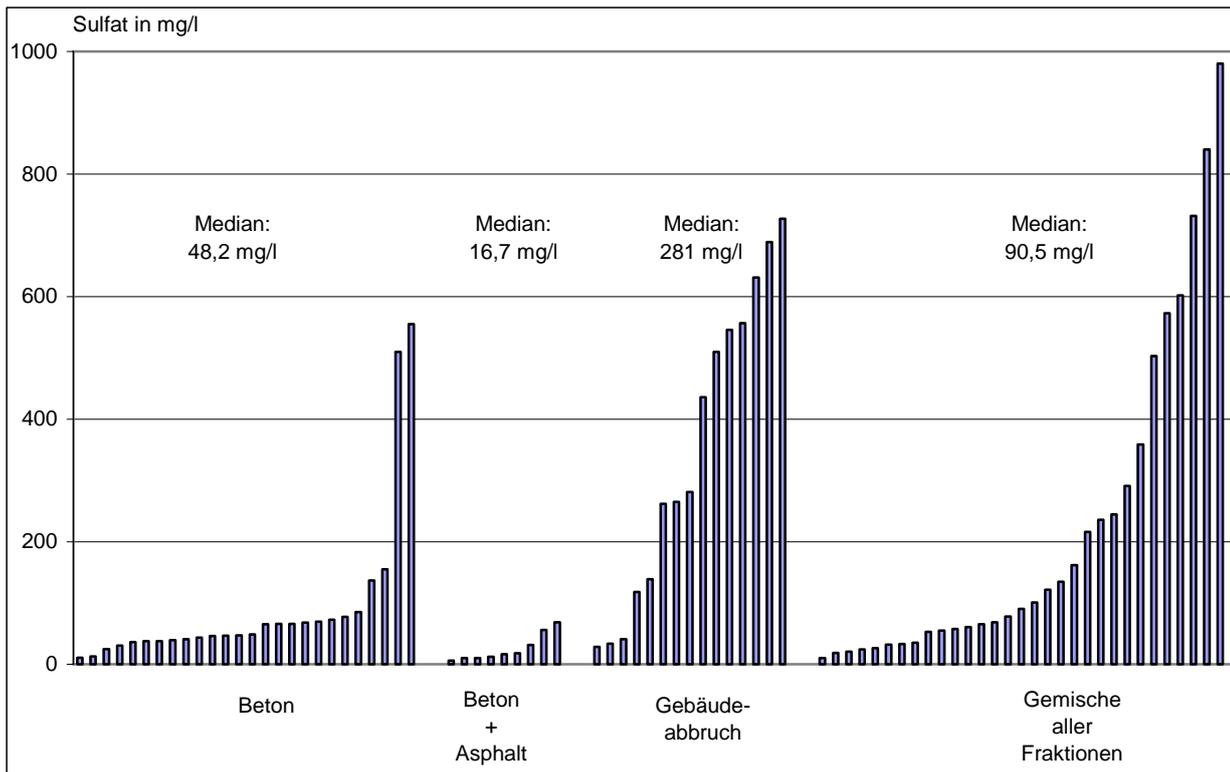


Bild 17: Sulfat-Gehalte in Abhängigkeit von den Ausgangsmaterialien

An den Medianen erkennt man, dass separat gebrochene Materialien aus dem Gebäudeabbruch tendenziell deutlich mehr Sulfat enthalten als separat gebrochene Materialien aus Beton oder

aus Beton und Asphalt. Dennoch können auch in Recyclingbaustoffen aus Beton vereinzelt erhöhte Sulfatgehalte vorkommen.

## 5.4 VERGLEICH VERSCHIEDENER UNTERSUCHUNGSVERFAHREN

### 5.4.1 PROBENAUFBEREITUNG BEI DER SULFATBESTIMMUNG

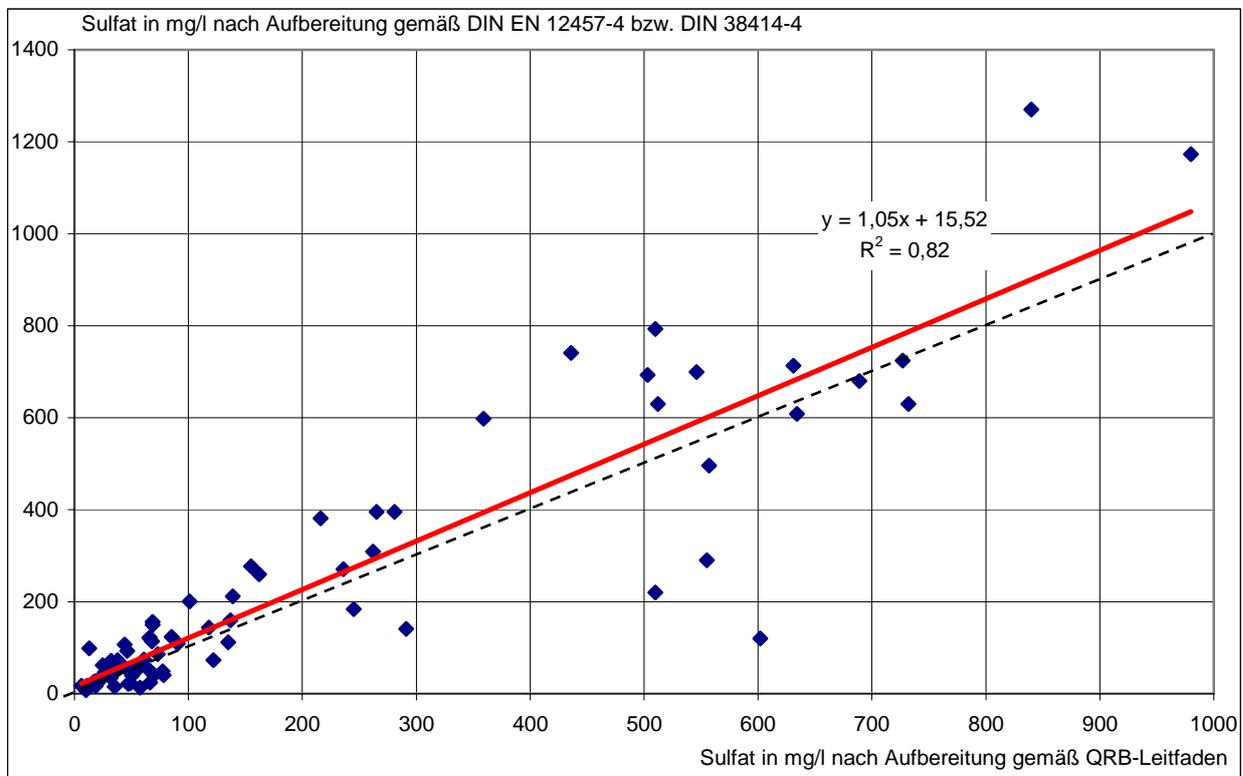
Die Eluate für die Sulfatbestimmung wurden einerseits gemäß dem QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“ [4] hergestellt. Hierzu wurden die Proben entsprechend den Vorgaben des UM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [2] mit 10 mm-Sieb gesiebt, das Überkorn schonend auf < 10 mm gebrochen und mit der Fraktion 0-10 mm vereinigt und homogenisiert. Eine Teilprobe davon wurde mit 0,063 mm- und 2 mm-Sieb gesiebt und 140 g der Fraktion 2-10 mm mit 60 g der Fraktion 0,063-2 mm gemischt. Aus dieser Mischung wurde das Eluat hergestellt, das heißt der Feinstanteil < 0,063 mm wurde verworfen.

Für einen Methodenvergleich wurden 83 Proben zusätzlich nach der Methode aufbereitet, die in der DIN EN 12457-4:2003-01 und in der DIN 38414-4:1984-10 (DEV S4) vorgegeben ist. In diesen Normen wird nur der erste Teil der Aufbereitungsschritte nach QRB-Leitfaden verlangt, das heißt sieben mit 10 mm-Sieb, schonend brechen auf < 10 mm, vereinen mit der Fraktion 0-10 mm und homogenisieren.

In Bild 18 sind die Ergebnisse der Sulfatbestimmungen nach diesen beiden Verfahren jeweils gegeneinander aufgetragen. Anhand der Trendlinie erkennt man, dass statistisch, das heißt an einer größeren Zahl von Untersuchungen betrach-

tet, beide Verfahren annähernd das gleiche Ergebnis liefern. Die Trendlinie ist fast identisch mit der gestrichelten Geraden, auf der alle Punkte liegen müssten, wenn beide Verfahren exakt die

gleichen Ergebnisse liefern würden. Auch die 50-Perzentile (Mediane) und 80-Perzentile der nach den beiden Verfahren bestimmten Sulfatgehalte aller 82 Proben sind nahezu gleich (Tabelle 3).



y: Gleichung der Trendgeraden (rote, durchgezogene Linie);  $R^2$  = Bestimmtheitsmaß

Bild 18: Sulfatgehalte nach Probenaufbereitung gemäß QRB-Leitfaden in Relation zu den Gehalten nach Aufbereitung gemäß DIN EN 12457-4 bzw. DIN 38414-4 (DEV S4)

Tabelle 3: Statistikdaten der Sulfatgehalte (in mg/l) von 83 Proben nach verschiedenen Aufbereitungsverfahren

	Aufbereitung nach QRB-Leitfaden	Aufbereitung nach DEV S4 bzw. DIN EN 12457-4
<b>50-Perzentil (Median)</b>	66,4	86,4
<b>80-Perzentil</b>	331,8	352,2
<b>Mittelwert</b>	185,2	210,6

Allerdings muss betont werden, dass die Werte relativ stark um die Trendlinie streuen, das heißt das gleiche Material kann sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern, wenn man es nach den zwei verschiedenen Verfahren untersucht. Ob dies vorrangig an den verschiedenen Aufbereitungsverfahren liegt, ist damit noch nicht geklärt. Es ist zu berücksichtigen, dass für jede der beiden Paralleluntersuchungen eine andere Teilprobe aus dem auf < 10 mm gebrochenen Material entnommen

werden musste. Trotz ausgiebigen Mischens ist hierbei nicht ausgeschlossen, dass einzelne belastete Körner vermehrt in eine der beiden Teilproben gelangen und so die unterschiedlichen Messwerte verursacht werden.

Da beide Aufbereitungsverfahren statistisch annähernd gleiche Ergebnisse liefern, kann das Verfahren nach QRB-Leitfaden als gleichwertig zu den beiden DIN-Verfahren eingestuft werden.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die vielen bestehenden Regelwerke zur Eluat-herstellung, das sind u. a. noch die LAGA-

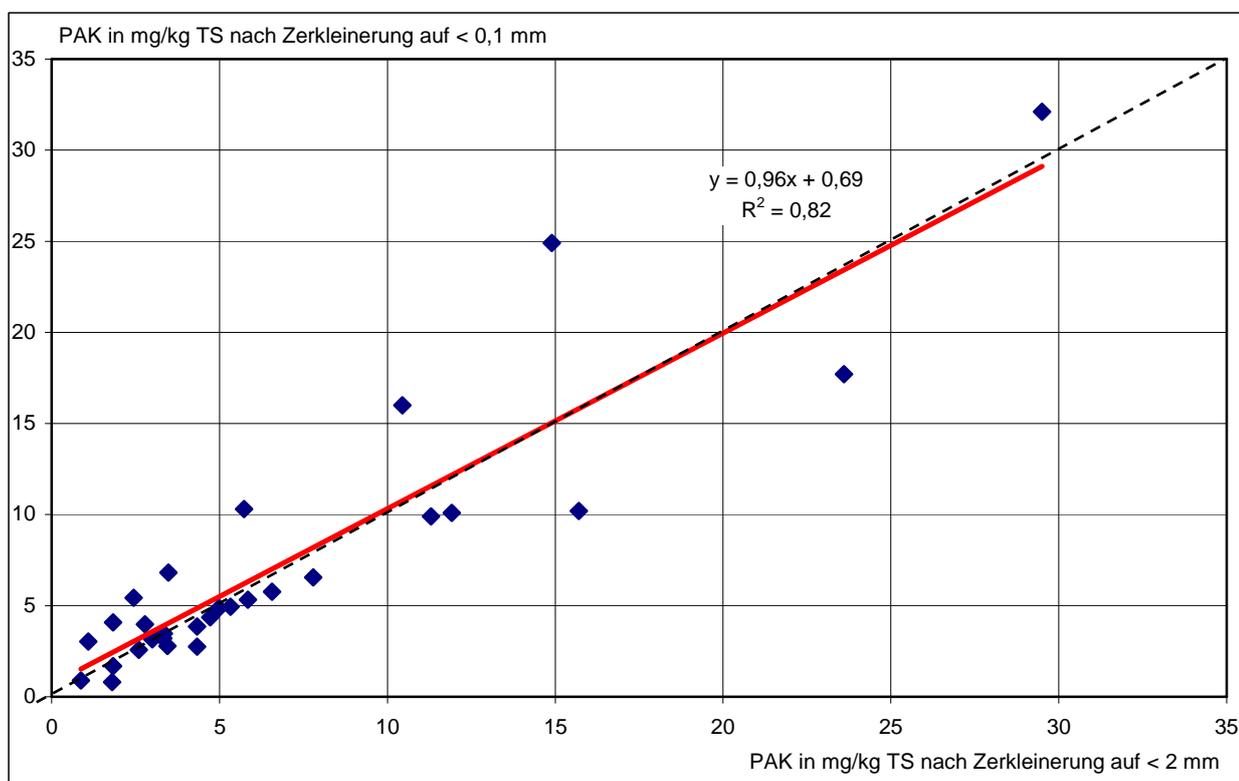
Richtlinie EW 98 [7] und die TP Min-StB [8], unbedingt auf ein einziges verbindliches Verfahren reduziert werden sollten.

#### 5.4.2 PROBENAUFBEREITUNG BEI DER PAK-BESTIMMUNG

Die PAK-Untersuchungen im Rahmen dieser Kampagne wurden mit den Aufbereitungsschritten gemäß QRB-Leitfaden durchgeführt. Hierzu wurden die Proben mit 10 mm-Sieb gesiebt, das Überkorn schonend auf < 10 mm gebrochen und mit der Fraktion 0-10 mm vereinigt und homogenisiert. Eine Teilprobe davon wurde auf < 2 mm

gebrochen und in dieser Form auf PAK untersucht.

Für einen Vergleich der Aufbereitungsmethoden wurden von 29 Proben eine weitere Teilprobe entnommen und fein gemahlen, so dass eine Körnung < 0,1 mm erreicht wurde.



y: Gleichung der Trendgeraden (rote, durchgezogene Linie);  $R^2$  = Bestimmtheitsmaß

Bild 19: Relation der PAK-Gehalte von 29 Proben nach Zerkleinerung auf < 2 mm und auf < 0,1 mm

In Bild 19 sind die jeweiligen Ergebnisse der PAK-Bestimmungen nach Probenaufbereitung auf < 2 mm und < 0,1 mm gegeneinander aufgetragen. Die Trendlinie ist fast identisch mit der gestrichelten Geraden, auf der alle Punkte liegen müssten, wenn beide Verfahren exakt die gleichen Ergebnisse liefern würden. Daran erkennt man, dass statistisch, das heißt an einer größeren Zahl

von Untersuchungen betrachtet, beide Verfahren annähernd das gleiche Ergebnis liefern. Auch die 50-Perzentile (Mediane) und 80-Perzentile der nach den beiden Verfahren bestimmten PAK-Gehalte der 29 Proben sind nahezu gleich (Tabelle 4). Nach feinerem Aufmahlen auf < 0,1 mm werden demnach nicht mehr PAK der aus der Matrix herausgelöst als bei dem auf < 2 mm ge-

brochenen Material, das heißt dieser zusätzliche Aufbereitungsschritt ist entbehrlich und somit die

Aufbereitung nach QRB-Leitfaden ausreichend.

Tabelle 4: Statistikdaten der PAK-Gehalte nach verschiedenen Aufbereitungsverfahren (in mg/kg TS)

	Aufbereitung nach QRB-Leitfaden (Brechen auf < 2 mm)	Aufbereitung nach Mahlen auf < 0,1 mm
<b>50-Perzentil (Median)</b>	4,33	4,87
<b>80-Perzentil</b>	10,78	10,14
<b>Mittelwert</b>	6,86	7,30

Wie schon beim Methodenvergleich für die Sulfatbestimmung ist auch hier die Streuung der Einzelwerte, vor allem bei höheren PAK-Gehalten, recht groß. Dies kann, wie schon in Kap. 5.4.1 beschrieben, daran liegen, dass das Material, aus

dem die Teilproben für die Paralleluntersuchungen entnommen werden, selbst nicht vollkommen homogen sein kann und dadurch die Streuungen hervorgerufen werden.

# 6 Literatur

- [1] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial auf Sulfat und PAK. Karlsruhe, 2003.
- [2] Umweltministerium Baden-Württemberg: Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial. Stuttgart, 13.04.2004.
- [3] Umweltbundesamt: Forschungsprojekt „Aufkommen, Verbleib und Qualität mineralischer Abfälle“. FKZ 2 04 33 325.
- [4] Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e.V. (QRB): QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“. Ostfildern, 2006.
- [5] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Richtlinie PN 98 „Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/ Beseitigung von Abfällen - Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien“. Dezember 2001.
- [6] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Eckpunkte der LAGA für eine Verordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken. Stand: 31.08.2004.
- [7] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Richtlinie EW 98 „Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen von Abfällen, verunreinigten Böden und Materialien aus dem Altlastenbereich - Herstellung und Untersuchung von wässrigen Eluaten“. 2002.
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau: Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau TP Min-StB, Teil 7.1.1 „Modifiziertes DEV-S4-Verfahren“. 1999.

# 7 Anhang

Tabelle 5: Analysenergebnisse der 82 untersuchten Proben von Bauschuttrecyclingmaterial

Proben-Nr.	PAK	pH	El. Leitf.	Sulfat	Chlorid	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink	stoffliche Zusammensetzung der Fraktionen > 4 mm					
	mg/kg TS		µS/cm	mg/l		µg/l								Asphalt	Ziegel, Steinzeug	KS-Stein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe	nat. Mineralst./Beton
1	6,06	10,75	504	69,7	10,5	< 5	< 5	< 0,5	21,3	4,7	< 5	< 0,2	< 5	1	2	2	0	1	94
2	3,79	9,94	785	281	21,2	< 5	< 5	< 0,5	8,9	4,3	< 5	< 0,2	< 5	8	16	13	0	4	59
3	9,12	11,27	1404	122	5,26	< 5	< 5	< 0,5	18,2	8,3	< 5	< 0,2	< 5	2	3	2	0	2	91
4	45,4	10,99	1031	291	15,8	< 5	< 5	< 0,5	16,5	27,1	< 5	< 0,2	< 5	1	2	1	0	1	95
5	7,1	9,72	124	10,2	3,38	< 5	< 5	< 0,5	< 5	< 2	< 5	< 0,2	< 5	18	0	0	0	0	82
6	2,46	10,73	409	47,2	5	< 5	< 5	< 0,5	11,2	4,3	< 5	< 0,2	< 5	4	1	1	0	1	93
7	0,519	11,1	792	49,2	16,6	< 5	< 5	< 0,5	18,1	11,4	< 5	< 0,2	< 5	0	1	1	0	0	98
8	2,66	9,7	1238	557	14,8	< 5	< 5	< 0,5	11,5	4,6	< 5	< 0,2	< 5	1	51	5	0	2	41
9	10,28	9,59	1115	436	8,15	< 5	< 5	< 0,5	15,5	4,4	< 5	< 0,2	< 5	1	39	7	1	2	50
10	1,67	10,52	422	68,1	8,87	< 5	< 5	< 0,5	28	4,8	< 5	< 0,2	< 5	1	0	2	0	1	96
11	14,54	9,53	79	10,2	0,7	< 5	< 5	< 0,5	< 5	< 2	< 5	< 0,2	< 5	8	0	0	0	0	92
12	2,33	10,21	1160	510	5,51	< 5	< 5	< 0,5	31,9	2,6	< 5	< 0,2	< 5	1	24	12	0	0	63
13	1,98	11,14	859	66,4	4,29	< 5	< 5	< 0,5	26,9	4,4	< 5	< 0,2	< 5	1	0	0	0	1	98
14	0,947	11,57	1516	32,3	7,89	< 5	< 5	< 0,5	17,4	11,3	< 5	< 0,2	< 5	1	1	0	0	0	98
15	1,21	10,64	1907	980	8,13	< 5	< 5	< 0,5	22,6	7,1	< 5	< 0,2	< 5	1	4	3	0	0	92
16	5,2	10,4	338	66,2	2,69	< 5	< 5	< 0,5	7,1	10,2	< 5	< 0,2	< 5	1	2	3	0	1	93
17	12,25	10,68	286	33,3	4,18	< 5	< 5	< 0,5	10,8	23	< 5	< 0,2	< 5	10	1	1	0	0	88
18	2,61	10,82	468	57,7	8,6	< 5	< 5	< 0,5	9,9	32,3	< 5	< 0,2	< 5	13	0	0	0	0	87
19	13,07	11,11	633	35,2	7,68	< 5	< 5	< 0,5	12,8	35,9	< 5	< 0,2	< 5	15	0	0	0	0	85
20	0,558	9,23	76	6,12	< 0,5	< 5	< 5	< 0,5	< 5	< 2	< 5	< 0,2	< 5	49	0	0	0	0	51

Proben-Nr.	PAK	pH	El. Leitf.	Sulfat	Chlorid	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink	stoffliche Zusammensetzung der Fraktionen > 4 mm					
	mg/kg TS		µS/cm	mg/l		µg/l								Asphalt	Ziegel, Steinzeug	KS-Stein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe	nat. Mineralst./Beton
21	1,77	10,06	1575	727	9,7	< 5	< 5	< 0,5	19,6	4,9	< 5	< 0,2	< 5	3	5	12	3	0	77
22	0,586	11,3	1012	68,6	5,93	< 5	< 5	< 0,5	41,5	12,8	< 5	< 0,2	< 5	6	1	1	0	0	92
23	6,62	9,68	441	162	2,31	< 5	< 5	< 0,5	7,8	4	< 5	< 0,2	< 5	3	7	5	0	3	82
24	9,5	9,66	249	60,9	0,9	< 5	< 5	< 0,5	< 5	2,2	< 5	< 0,2	< 5	5	2	2	0	0	91
25	11,68	8,67	1011	510	5,55	< 5	< 5	< 0,5	6,3	6,1	< 5	< 0,2	< 5	2	1	3	0	1	93
26	12,9	11,01	660	137	8,51	< 5	< 5	< 0,5	11,7	13,2	< 5	< 0,2	< 5	2	3	2	0	1	92
27	4,81	11,6	1456	44	6,45	< 5	< 5	< 0,5	13,3	6,3	< 5	< 0,2	8,2	1	1	1	0	0	97
28	12,42	10,79	1246	555	18,2	< 5	< 5	< 0,5	13,3	18,5	< 5	< 0,2	12,7	2	1	1	0	1	95
29	11,76	11,4	1094	77,4	9,71	< 5	< 5	< 0,5	11,8	15,6	< 5	< 0,2	< 5	5	3	1	0	0	91
30	6,03	11,4	1100	37,9	8,06	< 5	< 5	< 0,5	12,7	4,3	< 5	< 0,2	< 5	5	0	0	0	0	95
31	4,68	10,19	450	135	9,18	< 5	< 5	< 0,5	5	3,8	< 5	< 0,2	< 5	3	6	3	1	2	85
32	8,54	11,27	1036	78,1	18,3	< 5	< 5	< 0,5	11,7	3,3	< 5	< 0,2	< 5	5	4	2	0	0	89
33	2,4	11,16	744	24,8	13,	< 5	< 5	< 0,5	20,3	7,3	< 5	< 0,2	< 5	2	0	0	0	0	98
34	2,25	9,16	99	11,1	2,09	< 5	< 5	< 0,5	< 5	3,8	< 5	< 0,2	< 5	3	0	1	0	0	96
35	2,75	10,61	379	31,7	5,48	< 5	< 5	< 0,5	5,5	3,7	< 5	< 0,2	< 5	11	1	1	2	0	85
36	6,38	10,19	204	18,6	2,93	< 5	< 5	< 0,5	5,7	< 2	< 5	< 0,2	< 5	5	3	1	0	0	91
37	n.n.	11,58	3270	12,9	18,9	< 5	< 5	< 0,5	6,8	2	< 5	< 0,2	< 5	0	0	0	0	0	100
38	0,213	10,91	600	155	3,55	< 5	< 5	< 0,5	7,4	< 2	< 5	< 0,2	< 5	0	0	0	0	0	100
39	25	10,14	119	12,6	3,3	< 5	< 5	< 0,5	< 5	2	< 5	< 0,2	< 5	45	1	1	0	0	53
40	2,75	11,34	841	41,3	2,84	< 5	< 5	< 0,5	16,8	6,4	< 5	< 0,2	< 5	1	1	5	0	3	90

Proben-Nr.	PAK	pH	El. Leitf.	Sulfat	Chlorid	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink	stoffliche Zusammensetzung der Fraktionen > 4 mm					
	mg/kg TS		µS/cm	mg/l		µg/l								Asphalt	Ziegel, Steinzeug	KS-Stein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe	nat. Mineralst./Beton
41	38,6	9,74	108	18,3	1,47	< 5	< 5	< 0,5	2,9	2	< 5	< 0,2	< 5	39	1	1	0	0	59
42	20,1	9,16	381	118	2,62	< 5	< 5	< 0,5	3,8	5,6	< 5	< 0,2	< 5	1	3	3	0	0	93
43	0,424	11,45	906	37,8	4,49	< 5	< 5	< 0,5	20,8	7,4	< 5	< 0,2	< 5	0	0	1	0	0	99
44	5,08	10,81	865	265	13,1	< 5	< 5	< 0,5	20,6	15,1	< 5	< 0,2	< 5	0	18	3	0	0	79
45	11,62	11,07	1190	359	30,7	< 5	< 5	< 0,5	12,3	3,1	< 5	< 0,2	< 5	0	12	2	0	1	85
46	1,14	11,45	762	30,5	5,35	< 5	< 5	< 0,5	29,9	9,5	< 5	< 0,2	< 5	3	1	0	0	0	96
47	3,88	11,41	782	65,8	3,9	< 5	< 5	< 0,5	22,8	15,8	< 5	< 0,2	< 5	1	1	2	0	0	96
48	3,26	10,57	517	139	8,33	< 5	< 5	< 0,5	14,5	3,6	< 5	< 0,2	< 5	5	6	1	0	3	85
49	5,98	10,92	486	68,6	3,61	< 5	< 5	< 0,5	21,2	9,5	< 5	< 0,2	< 5	1	0	5	0	0	94
50	3,41	11,27	789	46,4	8,23	< 5	< 5	< 0,5	29,1	16,6	5,6	< 0,2	< 5	5	0	0	0	0	95
51	105,3	10,17	225	36,6	4,08	< 5	< 5	< 0,5	9,2	5,8	< 5	< 0,2	< 5	5	0	0	0	0	95
52	2,23	11,18	677	101	3,02	< 5	< 5	< 0,5	15	12,6	< 5	< 0,2	< 5	1	3	19	0	0	77
53	131,1	10,39	195	20,7	9,14	< 5	< 5	< 0,5	5,7	3	< 5	< 0,2	< 5	13	0	5	0	0	82
54	2,86	10,81	1575	732	9,8	< 5	< 5	< 0,5	26,2	5,1	< 5	< 0,2	< 5	3	10	11	0	2	74
55	8,24	8,65	1902	840	18,91	< 5	< 5	< 0,5	< 5	6,6	< 5	< 0,2	< 5	1	4	21	5	7	62
56	11,3	11,11	1226	602	5,4	< 5	< 5	< 0,5	14	4,8	< 5	< 0,2	< 5	15	17	5	0	3	60
57	15,7	9,5	200	55,4	1,5	15,2	< 5	< 0,5	1,3	3,5	< 5	< 0,2	< 5	2	5	5	0	0	88
58	14,9	10,16	248	56,5	1,5	< 5	< 5	< 0,5	1,8	2,1	< 5	< 0,2	< 5	15	1	3	0	0	81
59	3,45	10,41	1383	689	15,8	< 5	< 5	< 0,5	10,2	3,6	< 5	< 0,2	< 5	0	27	8	1	1	63
60	23,6	11,29	705	73	10,2	< 5	< 5	< 0,5	9,	11,1	< 5	< 0,2	< 5	0	2	1	0	0	97

Proben-Nr.	PAK	pH	El. Leitf.	Sulfat	Chlorid	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink	stoffliche Zusammensetzung der Fraktionen > 4 mm					
	mg/kg TS		µS/cm	mg/l		µg/l								Asphalt	Ziegel, Steinzeug	KS-Stein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe	nat. Mineralst./Beton
61	2,44	11,75	1503	65,5	8,7	< 5	< 5	< 0,5	12,8	5,2	< 5	< 0,2	< 5	6	8	2	0	1	83
62	2,78	11,6	990	90,5	10,5	< 5	< 5	< 0,5	16,8	7,4	< 5	< 0,2	< 5	10	5	2	0	0	83
63	5,73	10,71	693	245	11,5	< 5	< 5	< 0,5	7,8	7,6	< 5	< 0,2	< 5	4	1		0	0	95
64	4,33	10,41	1299	631	13,7	< 5	< 5	< 0,5	12,3	10,5	< 5	< 0,2	< 5	2	55	28	1	1	13
65	3,48	9,81	601	262	3,3	< 5	< 5	< 0,5	6,7	1,7	< 5	< 0,2	< 5	0	35	15	0	1	49
66	1,09	11,47	731	47	2,1	< 5	< 5	< 0,5	9,9	4,4	< 5	< 0,2	< 5	1	0	2	0	0	97
67	3	10,83	1061	503	6	< 5	< 5	< 0,5	10	4,2	< 5	< 0,2	< 5	7	12	16	0	1	64
68	4,72	11,11	391	39,5	3,8	< 5	< 5	< 0,5	14,4	3,1	< 5	< 0,2	< 5	1	0	2	0	0	97
69	6,56	11,12	296	16,7	0,7	< 5	< 5	< 0,5	11,1	5,4	< 5	< 0,2	< 5	13	3	5	0	0	79
70	5,84	11,21	508	85,4	4,7	< 5	< 5	< 0,5	25,4	9	< 5	< 0,2	< 5	1	7	4	0	0	88
71	1,83	10,31	1148	546	16	< 5	< 5	< 0,5	12,6	2,6	< 5	< 0,2	< 5	1	37	7	0	1	54
72	0,875	10,96	591	236	1,8	< 5	< 5	< 0,5	22,6	2	< 5	< 0,2	< 5	4	16			0	80
73	7,79	10,8	612	216	3,8	< 5	< 5	< 0,5	9,9	4,5	< 5	< 0,2	< 5	3	21	3	2	2	69
74	46,2	9,77	79,2	10,5	< 0,5	< 5	< 5	< 0,5	4	1,9	< 5	< 0,2	< 5	5	7	11	3	1	73
75	29,5	9,93	180	52,9	< 0,5	< 5	< 5	< 0,5	2,5	2,9	< 5	< 0,2	< 5	6	15	20	0	0	59
76	10,44	11	255	n.a.	0,9	< 5	< 5	< 0,5	11,1	2,4	< 5	< 0,2	< 5	3	9	6	0	0	82
77	57,9	10,65	177	26,6	< 0,5	< 5	< 5	< 0,5	5,2	3	< 5	< 0,2	< 5	1	1	3	6	0	89
78	11,92	11,02	312	24,4	1,6	< 5	< 5	< 0,5	14,2	9,2	< 5	< 0,2	< 5	5	2	4	3	0	86
79	3,465	12,055	1001	33,6	14,7	< 5	< 5	< 0,5	20,6	17,75	< 5	< 0,2	< 5	2	4	0	0	0	95
80	5,155	12,095	1086	41,15	12,4	< 5	< 5	< 0,5	20,1	11,7	< 5	< 0,2	< 5	1	2	4	1	1	93

Proben-Nr.	PAK	pH	El. Leitf.	Sulfat	Chlorid	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink	stoffliche Zusammensetzung der Fraktionen > 4 mm					
	mg/kg TS		$\mu\text{S/cm}$	mg/l		$\mu\text{g/l}$								Asphalt	Ziegel, Steinzeug	KS-Stein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe	nat. Mineralst./Beton
81	1,815	12,2	892	28,75	12,65	< 5	< 5	< 0,5	20,5	1,1	< 5	< 0,2	< 5	2	3	1	1	1	93
82	3,33	10,94	1255	573	14,4	< 5	< 5	< 0,5	7,1	5,3	< 5	< 0,2	< 5	5	10	7	2	4	74

<b>50-Percentil</b>	5,08	10,81	718	66,4	6,23	< 5	< 5	< 0,5	12,6	5,1	< 5	< 0,2	< 5	3	2	2	0	0	89
<b>80-Percentil</b>	12,25	11,29	1157,6	291	12,86	< 5	< 5	< 0,5	20,6	11,26	< 5	< 0,2	< 5	6	9	5	0	1	95
<b>90-Percentil</b>	23,6	11,47	1401,9	557	15,86	< 5	< 5	< 0,5	24,36	15,68	< 5	< 0,2	< 5	13	18	12	1	2	97
<b>Min-Wert</b>	0,21	8,65	76	6,12	0,7	< 5	< 5	< 0,5	1,3	1,1	< 5	< 0,2	< 5	0	0	0	0	0	13
<b>Max-Wert</b>	131,1	12,2	3270	980	30,7	15,2	< 5	< 0,5	41,5	35,9	5,6	< 0,2	< 5	49	55	28	6	7	100
<b>Mittelwert</b>	11,22	10,67	774	182	7,93	< 5	< 5	< 0,5	14,05	7,66	< 5	< 0,2	< 5	5	7	4	0	1	83