



Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg 2007/2008

 Ergebnisse von Schüttel- und Säulenelutionsverfahren



Baden-Württemberg

Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg 2007/2008

 Ergebnisse von Schüttel- und Säulenelutionsverfahren

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, Referat 35 – Abfallwirtschaft, Dr. Carsten Schäfer und Alfred Gamm
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 35 - Abfallwirtschaft
LAYOUT	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe
BEZUG	Die Broschüre ist für 8,- € bei der Verlagsauslieferung der LUBW erhältlich: JVA Mannheim – Druckerei Herzogenriedstraße 111, 68169 Mannheim Telefax 06 21/3 98-3 70 bibliothek@lubw.bwl.de bei PDF-Dokumenten: Download unter: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
ISBN	978-3-88251-336-3
STAND	September 2008
DRUCK	Agentur & Druckerei Murr, Karlsruhe
BILDNACHWEIS	Referat 35, LUBW

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	7
1 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	8
2 VERWERTUNG VON RECYCLINGBAUSTOFFEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG – AKTUELLER STAND	
2.1 Mengenstatistik	10
2.2 Umweltpolitische Ziele	10
2.3 Rechtliche Grundlagen	11
2.4 Güteüberwachungssystem QRB	12
2.5 Bisherige Untersuchungen von Recyclingbaustoffen durch die LUBW	13
3 DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN	
3.1 Umfang der Untersuchungen	14
3.2 Probenahme	14
3.3 Probenaufbereitung und Analyse	16
4 ERGEBNISSE	
4.1 Ergebnisübersicht	18
4.2 Auswertung der Einzelparameter	20
4.2.1 Schwermetalle und Arsen	20
4.2.2 Sulfat, Chlorid, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert	22
4.2.3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	22
4.2.4 Stoffliche Zusammensetzung	24
5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	
5.1 Vergleich mit den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten	25
5.2 Vergleich mit den Grenzwerten im Entwurf der ErsatzbaustoffV	25
5.3 Vergleich mit Werten aus der Güteüberwachung im QRB	28
6 LITERATUR	29
7 ANHANG	30

Zusammenfassung

Die LUBW hat ihre Untersuchungen von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg aus den Jahren 2003 und 2006 fortgeführt und die rechtlichen Vorgaben überprüft, die in Baden-Württemberg mit dem Erlass „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg (UM) vom 13.04.2004 festgelegt sind. Darüber hinaus wurde abgeschätzt, welche Auswirkungen die neuen Grenzwerte im Entwurf der Ersatzbaustoffverordnung unter Anwendung des neuen Säulenelutionsverfahrens nach DIN 19528 (Entwurf) auf die künftige Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen haben würden. Dazu entnahm die LUBW in den Jahren 2007 und 2008 insgesamt 157 Bauschuttproben auf 115 Bauschuttrecyclinganlagen möglichst flächendeckend in allen Stadt- und Landkreisen in Baden-Württemberg. Die Untersuchung wurde in enger Zusammenarbeit mit den Überwachungsbehörden der Stadt- und Landkreise durchgeführt, deren Vertreter bei der Probenahme mit vor Ort waren. Betriebe, die Mitglied im Güteüberwachungssystem QRB sind, waren von dieser Kampagne ausgeschlossen, da für diese Fremdüberwachungsergebnisse in der QRB-Statistik vorliegen. Zur Bestimmung der Schadstoffgehalte im Eluat der Recyclingbaustoffe wurden verschiedene Elutionsverfahren angewandt und die Ergebnisse verglichen.

Einige Recyclingbaustoffe können die Grenzwerte des UM-Erlasses von 2004 für PAK und Sulfat nicht einhalten. Viele Betriebe stellen qualitativ hochwertige Recyclingbaustoffe her, bei einigen Betrieben besteht jedoch noch dringender Handlungsbedarf, um die Qualität der erzeugten Materialien zu verbessern. Die im QRB güteüberwachten Recyclingbaustoffe halten in aller Regel alle Grenzwerte des UM-Erlasses ein, auch für PAK und Sulfat.

Überschreitungen der Grenzwerte des Entwurfs der Ersatzbaustoffverordnung treten am häufigsten bei Sulfat auf. Neben dem Sulfatgehalt würde mit den Grenzwerten im derzeitigen Verordnungsentwurf der Vanadiumgehalt zum maßgeblichen Entscheidungskriterium für die Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen werden.

Die Ergebnisse aus den vergleichenden Elutionsuntersuchungen zeigen, dass man für ein und dieselbe Probe mit den drei verschiedenen Elutionsverfahren oft völlig unterschiedliche Ergebnisse erhält. Statistisch über alle untersuchten Proben gemittelt ist aber die Tendenz erkennbar, dass für die meisten Parameter mit dem Schüttelverfahren (Wasser-/Feststoffverhältnis = 10:1) die geringsten Schadstoffgehalte im Eluat und mit dem Schüttelverfahren (W/F = 2:1) in der Regel die höchsten Werte auftreten. Die Ergebnisse des Säulenverfahren (W/F = 2:1) liegen im Mittel ungefähr zwischen den beiden Schüttelverfahren.

Die PAK-Gehalte im Feststoff zeigen keinerlei Korrelation mit den PAK-Gehalten im Säuleneluat nach DIN 19528 (Entwurf), d. h. die Feststoffgehalte sagen nichts über das Elutionsverhalten der PAK aus.

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg hat in den Jahren 2007 und 2008 im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg die aktuellen Qualitäten von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg untersucht. Mit diesen Untersuchungen wurden die Kampagnen zur Untersuchung des Schadstoffgehaltes von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg fortgesetzt, die die LUBW bereits im Jahr 2003 [LUBW 2003] und im Jahr 2006 [LUBW 2006] im Rahmen des umweltpolitischen Schwerpunkts der LUBW „Recycling von Bauabfällen – ein Beitrag zur Ressourcenschonung in Baden-Württemberg“ durchgeführt hatte.

Seit dem 13.04.2004 sind in Baden-Württemberg mit dem Erlass des Umweltministeriums „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [UM 2004] verbindliche rechtliche Vorgaben für die Verwertung von Baustoffrecyclingmaterial mit Grenzwerten für die zulässigen Schadstoffgehalte eingeführt. Mit der Untersuchungskampagne 2007/2008 wurden die Schadstoffgehalte in Recyclingbaustoffen ermittelt und überprüft, in wie weit die Zuordnungswerte des UM-Erlasses vom 13.04.2004 eingehalten werden. Dazu wurden die für die Baustoffrecyclingbetriebe zuständigen Überwachungsbehörden – in Baden-Württemberg sind dies die Behörden der Stadt- und Landkreise – mit in die Aktion einbezogen. Geplant wurde, in jedem der 44 Stadt- und Landkreise ca. drei bis vier Bauschuttrecyclinganlagen zu beproben, um möglichst flächendeckend in Baden-Württemberg Aussagen machen zu können. Die Überwachungsbehörden wirkten bei der Auswahl der zu beprobenden Bauschuttrecyclinganlagen mit und begleiteten die Probenahme in den Betrieben vor Ort. Die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen sollen den Überwachungsbehörden zur Verfügung gestellt werden, damit sie, falls erforderlich, Maßnahmen veranlassen können.

Mit der Untersuchungskampagne 2007/2008 sollte festgestellt werden, in wie weit sich die Schadstoffgehalte in Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg seit den Untersuchungen der LUBW von 2003 und 2006 verändert haben. Dadurch sollten Tendenzen und Möglichkeiten zur

Verbesserung der Qualitäten von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg aufgezeigt werden, die möglicherweise durch die Einführung des UM-Erlasses vom 13.04.2004 und durch die aktuelle Diskussion um schärfere Grenzwerte auf Bundesebene ausgelöst wurden.

Seit dem 1. Oktober 2004 besteht in Baden-Württemberg die Güteüberwachungsgemeinschaft für Recyclingbaustoffe QRB („Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg e. V.“; siehe www.qrb-bw.de), in der sich Baustoffrecyclingbetriebe und Fremdüberwachungsfirmen zur Güteüberwachung von Recyclingbaustoffen gemäß den Vorgaben des UM-Erlasses vom 13.04.2004 verpflichtet haben. Aus der Fremdüberwachung im Rahmen des QRB liegen inzwischen eine Vielzahl von Untersuchungen zu Schadstoffgehalten in Recyclingbaustoffen vor. Die Untersuchungskampagne 2007/2008 sollte sich daher vor allem auf Betriebe und Recyclingbaustoffe beschränken, die nicht im QRB organisiert sind und damit nicht der QRB-Fremdüberwachung unterliegen. Dadurch sollte auch ein Vergleich der Qualitäten von Recyclingbaustoffen aus QRB-Betrieben mit denen aus nicht im QRB organisierten Betrieben ermöglicht werden. Darüber hinaus sollten innerhalb der neuen Kampagne keine Betriebe beprobt werden, die bereits an einer der letzten LUBW-Untersuchungskampagnen beteiligt waren.

Ein weiterer wesentlicher Anlass für die Untersuchungskampagne 2007/2008 waren die Pläne des Bundesgesetzgebers, eine „Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV)“ zu erarbeiten. Unsere Untersuchungen sollten hierfür die Datenbasis von Schadstoffgehalten in Recyclingbaustoffen verbreitern und damit die Arbeiten zur künftigen ErsatzbaustoffV unterstützen. Mit unseren Untersuchungen können die umweltrelevanten Schadstoffe in Recyclingbaustoffen ausfindig gemacht und abgeschätzt werden, wie sich neue Grenzwerte auf die künftige Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen auswirken würden.

Vor allem sollten auch die für die ErsatzbaustoffV neu diskutierten Verfahren zur Herstellung von wässrigen Elu-

aten aus Recyclingbaustoffen untersucht und die Ergebnisse verglichen und bewertet werden. Gemäß dem Entwurf der ErsatzbaustoffV sollen zukünftig die Eluate zur Schadstoffbestimmung in Recyclingbaustoffen mit dem Säulenverfahren mit Wasser-/Feststoffverhältnis (W/F) von 2:1 nach der neuen DIN 19528 (Entwurf) hergestellt werden. Für die Praxis stellt dies ein völlig neues Verfahren dar. Eluate von Recyclingbaustoffen zur Untersuchung der Schadstoffgehalte wurden bislang traditionell nach dem Schüttelverfahren mit $W/F = 10:1$ gemäß DIN 38414 (S4) bzw. nach der neueren Norm DIN EN 12457-4 hergestellt. Als weiteres neues Elutionsverfahren steht das Schüttelverfahren mit einem $W/F = 2:1$ nach der neuen DIN 19529 (Entwurf) zur Diskussion. Die neuen Normen DIN 19528 und DIN 19529 befinden sich beide

noch im Entwurfsstadium, daher liegen bislang noch sehr wenige aussagekräftige Untersuchungsergebnisse mit diesen Verfahren vor. Ziel unserer Untersuchungskampagne war daher, aktuelle Qualitäten von Recyclingbaustoffen unter Anwendung des etablierten Schüttelverfahrens mit $W/F = 10:1$ zu ermitteln und die gleichen Proben mit dem neuen Säulenverfahren ($W/F = 2:1$) und dem neuen Schüttelverfahren ($W/F = 2:1$) zu untersuchen und die Ergebnisse der verschiedenen Elutionsverfahren miteinander zu vergleichen. Diese Ergebnisse sind von großer Wichtigkeit, um abschätzen zu können, welche Auswirkungen Grenzwerte in einer ErsatzbaustoffV unter Anwendung der neuen Elutionsverfahren auf die künftige Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen haben würden.

2 Verwertung von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg – aktueller Stand

2.1 Mengestatistik

In Baden-Württemberg fallen jährlich ca. 10 Mio. Tonnen Bauschutt und Straßenaufbruch als Abfall an. Aus Abb. 1 ist ersichtlich, dass diese jährliche Menge seit Jahren annähernd konstant ist. In ganz Deutschland fiel laut Monitoring-Bericht des KWTB [KWTB 2007] im Jahr 2004 eine Gesamtmenge von 70,2 Mio. Tonnen Bauschutt und Straßenaufbruch an. Im gleichen Jahr wurden für Baden-Württemberg 8,1 Mio. Tonnen Bauschutt und Straßenaufbruch vom Statistischen Landesamt ermittelt, das entspricht 11,5 % der Gesamtmenge in Deutschland.

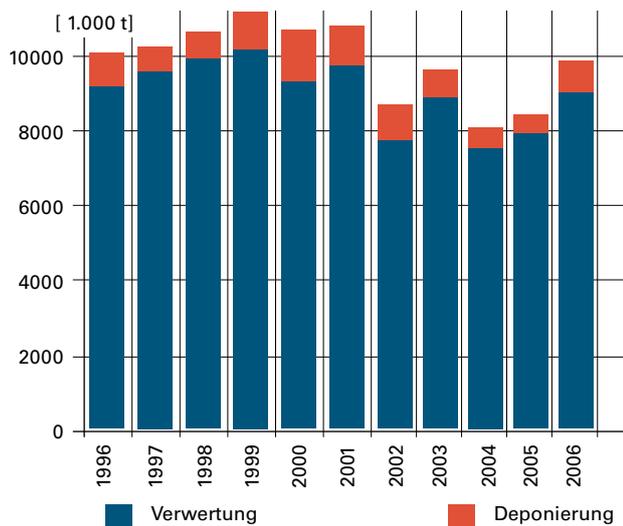


Abb. 1: Gesamtaufkommen an Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg seit 1996 und Anteil der verwerteten und deponierten Mengen (Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2008)

Laut Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg wurden im Jahr 2006 in Baden-Württemberg rund 70 % der Bauschutt- und Straßenaufbruchmengen einer hochwertigen Verwertung in Bauschuttrecyclinganlagen zugeführt (Abb. 2). Etwa 20 % der Abfälle wurden in übermäßigen Abbaustätten (Steinbrüche, Kiesgruben), für Baumaßnahmen auf Deponien (Befestigung von Straßen, Böschungen) und in sonstigen Abfallentsorgungsanlagen (z. B. Sortieranlagen) verwertet.

Knapp 10 % der Abfälle, das sind fast 1 Mio. Tonnen, wurden nicht verwertet und auf Deponien abgelagert.

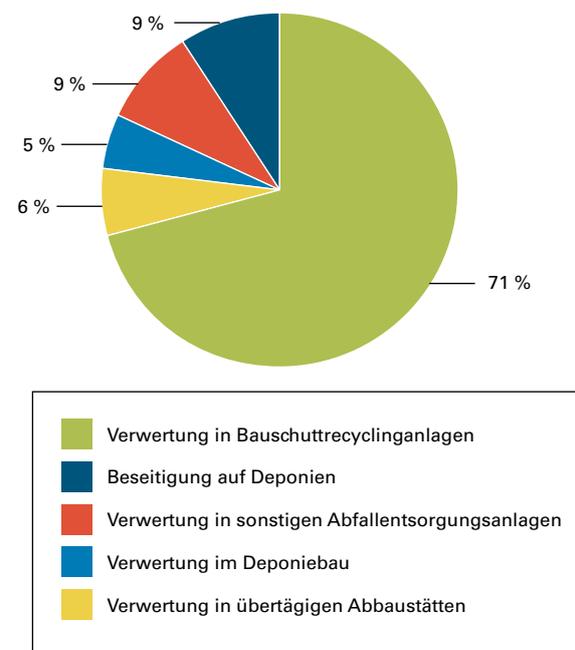


Abb. 2: Verwertungs- und Beseitigungswege von Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg im Jahr 2006 (Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2008)

2.2 Umweltpolitische Ziele

Das Land Baden-Württemberg hat in seinem Umweltplan 2007 [UM 2007] konkrete umweltpolitische Ziele für die Verwertung mineralischer Abfälle festgelegt. Danach setzt sich das Land „für eine nachhaltige Weiterentwicklung der Abfallwirtschaft“ hin zu einer effizienten, stoffstromorientierten und Ressourcen schonenden Kreislaufwirtschaft ein. Darüber hinaus soll der „Ausbau des Recyclings von Abfällen über die klassischen Gebiete der Schrott- und Altpapierverwertung hinaus, z. B. beim Baustoffrecycling, verbessert werden“ (Zitat Umweltplan). Das Baustoffrecycling ist also explizit als besonders wichtiger Verwertungsweg im Umweltplan hervorgehoben. Das zeigt die große umweltpolitische Bedeutung, die diesem Thema in Baden-Württemberg beigemessen wird.

Durch die Verwertung mineralischer Abfälle soll der Rohstoffabbau in Kiesgruben, Baggerseen oder Steinbrüchen reduziert und dadurch Rohstoffvorkommen geschont werden. Der Bedarf an Deponieflächen soll deutlich verringert werden, um weniger in die Landschaft einzugreifen und Deponien als Risikofaktor für die Umwelt zu vermeiden.

Aus diesen Gründen ist eine möglichst weitgehende Verwertung anzustreben, wie es auch im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vorgeschrieben ist. Die Verwertung muss aber schadlos für die Umwelt erfolgen. Um diese Schadlosigkeit zu erreichen, müssen mineralische Abfälle qualitätsgesichert und güteüberwacht aufbereitet werden. Fehlfractionen und schadstoffhaltige Fractionen müssen abgetrennt und vom Wertstoffkreislauf ferngehalten werden. Ziel ist es, mit qualitätssichernden Maßnahmen vom Abfall zu einem gütegesicherten Produkt zu gelangen.

2.3 Rechtliche Grundlagen

Anforderungen an die Verwertung von mineralischen Abfällen hat die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) in ihrer Mitteilung M20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln“ vom 06.11.1997 [LAGA 1997] konkretisiert. Die LAGA M20 wurde in Baden-Württemberg nicht offiziell

eingeführt. Sie wurde allerdings von den Vollzugsbehörden als Handlungshilfe genutzt, an der sie sich orientieren konnten. Da man sowohl von Behörden- als auch von Industrie- und Verbandsseite rechtsverbindliche Regelungen verlangte, erarbeitete das Land Baden-Württemberg auf der Grundlage der LAGA M20 eine eigene länderspezifische Regelung. Diese wurde mit dem Erlass des Umweltministeriums Baden-Württemberg „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ vom 13.04.2004 [UM 2004] offiziell eingeführt.

In diesem UM-Erlass vom 13.04.2004 werden Schadstoffgrenzwerte für Baustoffrecyclingmaterialien festgelegt, die beim offenen Einbau (Z 1.1), beim offenen Einbau unter günstigen hydrogeologischen Voraussetzungen (Z 1.2) und beim eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen (Z 2) nicht überschritten werden dürfen. Diese Zuordnungswerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Um bundeseinheitlich verbindliche rechtliche Vorgaben zu erhalten, erarbeitet der Bundesgesetzgeber zurzeit eine Verordnung über die Verwertung mineralischer Abfälle. Ein erster Arbeitsentwurf der „Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV)“

Tab. 1: In Baden-Württemberg geltende Zuordnungswerte für Baustoffrecyclingmaterial nach UM-Erlass vom 13.04.2004

Parameter	Dimension	Z1.1	Z1.2	Z2
Kohlenwasserstoffe C ₁₀ -C ₂₂ (C ₁₀ -C ₄₀)	mg/kg	300 (600)	300 (600)	1000 (2000)
PAK nach EPA	mg/kg	10	15	35
EOX	mg/kg	3	5	10
PCB ₆	mg/kg	0,15	0,5	1
Arsen	µg/l	15	30	60
Blei	µg/l	40	100	200
Cadmium	µg/l	2	5	6
Chrom Gesamt	µg/l	30	75	100
Kupfer	µg/l	50	150	200
Nickel	µg/l	50	100	100
Quecksilber	µg/l	0,5	1	2
Zink	µg/l	150	300	400
Phenole	µg/l	20	50	100
Chlorid	mg/l	100	200	300
Sulfat	mg/l	250	400	600
pH-Wert	-----	6,5-12,5	6-12,5	5,5-12,5
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	2500	3000	5000

mit Stand vom 13.11.2007 [BMU 2007] liegt vor, eine Verabschiedung ist frühestens im Jahr 2009 zu erwarten. Die Grenzwerte RC-1, RC-2 und RC-3 für Recyclingbaustoffe in dieser Verordnung wurden auf Grundlage eines völlig neuen Sickerwasserprognosemodells abgeleitet. Die wissenschaftlichen Grundlagen für die Ableitung der Grenzwerte stammen im Wesentlichen aus dem BMBF-Forschungsprojekt „Sickerwasserprognose“. Dabei wurden Methoden zur Auslaugung von Schadstoffen aus Feststoffen untersucht und bewertet sowie einfache, praxistaugliche Labormethoden neu entwickelt, mit denen die Auswirkungen beim Einsatz von mineralischen Abfällen auf Boden und Grundwasser abgeschätzt werden sollen. Auf Grundlage dieser neuen Modelle wurden bestimmte Schadstoffparameter als nicht relevant für Baustoffrecyclingmaterial eingestuft und stehen nicht in der Grenzwertliste des Entwurfs der ErsatzbaustoffV, dagegen wurden bislang in den Regelwerken LAGA M 20 und UM-Erlass 2004 nicht berücksichtigte Parameter wie z. B. Vanadium neu in die Liste der Schadstoffgrenzwerte aufgenommen (s. Tabelle 2).

Im Verordnungsentwurf wird ein völlig neues Elutionsverfahren zur Auslaugung der Schadstoffe aus mineralischen Abfällen vorgeschrieben. Das bisher in der Praxis übliche Schüttelverfahren mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis (W/F) von 10:1 nach DIN 38414 (S4) bzw. nach DIN EN 12457-4 wurde abgelöst, stattdessen ist ein Säulenverfahren mit W/F 2:1 nach DIN 19528 (Entwurf) zu verwenden. Würde der Verordnungsentwurf so umgesetzt, würden durch die neuen Schadstoffgrenzwerte, durch neu hinzu-

gekommene Schadstoffparameter und durch eine neue Elutionsmethode völlig neue Maßstäbe an die Verwertung von Recyclingbaustoffen gesetzt. Um die daraus entstehenden Folgen für das Baustoffrecycling abschätzen zu können, müssen erst noch Erfahrungswerte, vor allem mit dem neuen Elutionsverfahren und mit den bislang nicht untersuchten Parametern, gesammelt werden.

2.4 Güteüberwachungssystem QRB

Mit dem Erlass des Umweltministeriums Baden-Württemberg „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ vom 13.04.2004 [UM 2004] wurden rechtliche Vorgaben für die Einrichtung eines Güteüberwachungssystems für Recyclingbaustoffe geschaffen. Im UM-Erlass wurden Abgrenzungskriterien zwischen Abfall und Produkt festgelegt. Für die Zulassung als Produkt ist u. a. Grundvoraussetzung, dass der Recyclingbaustoff in einem Betrieb hergestellt wird, der einer Gütegemeinschaft angehört. Diese Regelung war der Initiator dafür, dass im Oktober 2004 das „Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e. V. (QRB)“ als Güteüberwachungssystem für Recyclingbaustoffe gegründet wurde. Im QRB erfolgt eine Qualitätssicherung der Recyclingbaustoffe durch eine Erstprüfung der Betriebseinrichtungen auf der Bauschuttrecyclinganlage, durch die Eigenüberwachung/Eingangskontrolle der Materialien und durch Fremdüberwachung durch externe Untersuchungsinstitute. Um eine einheitliche Probenahme und Probenaufbereitung bei der Fremdüberwachung von Recyclingbaustoffen zu gewährleisten, wurde im

Tab. 2: Grenzwerte ErsatzbaustoffV

Parameter	Dimension	Materialwerte			Bemerkungen
		RC-1	RC-2	RC-3	
pH-Wert		7-12,5	7-12,5	7-12,5	kein Grenzwert, sondern nur Orientierungswert
elektr. Leitf.	µS/cm	2.000	2.500	10.000	kein Grenzwert, sondern nur Orientierungswert
Sulfat	mg/l	350	700	1400	gilt bis 31.12.2019; beim RC-2-Wert sind in bestimmten Einbauweisen Überschreitungen zulässig
		200	350	1.400	gilt ab 01.01.2020; beim RC-2-Wert sind in bestimmten Einbauweisen Überschreitungen zulässig
PAK ₁₅	µg/l	3	4,5	15	beim RC-2-Wert sind in bestimmten Einbauweisen Überschreitungen zulässig
	mg/kg	5	15	30	kann bis 31.12.2019 alternativ zu den obigen Werten angewandt werden; beim RC-2-Wert sind in bestimmten Einbauweisen Überschreitungen zulässig
Chrom, ges.	µg/l	50	60	100	
Kupfer	µg/l	40	70	100	
Vanadium	µg/l	30	50	100	

QRB der QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“ erarbeitet. Durch standardisierte Vorgehensweisen bei Probenahme und Probenaufbereitung sollen vergleichbare Untersuchungsergebnisse bei verschiedenen Fremdüberwachern erreicht werden.

2.5 Bisherige Untersuchungen von Recyclingbaustoffen durch die LUBW

Im Jahr 2003 untersuchte die LUBW 62 Proben von insgesamt 27 Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg auf die Parameter Sulfat und PAK (siehe Bericht „Analytische Untersuchungen von Bauschuttrecyclingmaterial auf Sulfat und PAK“ vom 04.12.2003 [LUBW 2003]). Die Erkenntnisse der damaligen Untersuchungen flossen in den Erlass „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 13.04.2004 [UM 2004] mit ein.

Im Jahr 2006 wurden in einer weiteren Untersuchungskampagne Recyclingbaustoffe aus Baustoffrecyclinganlagen in Baden-Württemberg untersucht. Die Ergebnisse sind im Bericht „Analytische Untersuchung von Baustoffrecyclingmaterial in Baden-Württemberg, Untersuchungskampagne 2006“ [LUBW 2006] veröffentlicht. In dieser Kampagne wurde eine deutlich größere Schadstoffpalette, u. a. mit vielen Schwermetallen, analysiert. 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 wurden. 24 % der insgesamt 82 Proben von Recyclingbaustoffen lagen bei Sulfat über dem Z 1.1-Wert, bei PAK waren es 29 % der Proben. Die übrigen untersuchten Parameter lagen bis auf wenige Ausnahmen unter Z 1.1. Die Sulfat- und PAK-Gehalte sind nach diesen Ergebnissen also entscheidend für die Frage, ob Recyclingbaustoffe uneingeschränkt für den offenen Einbau zugelassen sind.

3 Durchführung der Untersuchungen

3.1 Umfang der Untersuchungen

In zwei Untersuchungskampagnen in den Jahren 2007 und 2008 wurden insgesamt 157 Proben von Baustoffrecyclingmaterial auf Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg entnommen. In der Zeit von April bis Juli 2007 wurden 90 Recyclingbaustoffe in 61 Betrieben beprobt. In der zweiten Untersuchungskampagne in der Zeit von April bis Juli 2008 waren es insgesamt 67 Proben in 54 Betrieben. Die Beprobung wurde möglichst flächendeckend in ganz Baden-Württemberg durchgeführt, wenn möglich wurden etwa drei bis vier Betriebe pro Stadt- und Landkreis beprobt. Die Standorte der 2007 und 2008 beprobten Bauschuttrecyclinganlagen zeigt Abbildung 3.

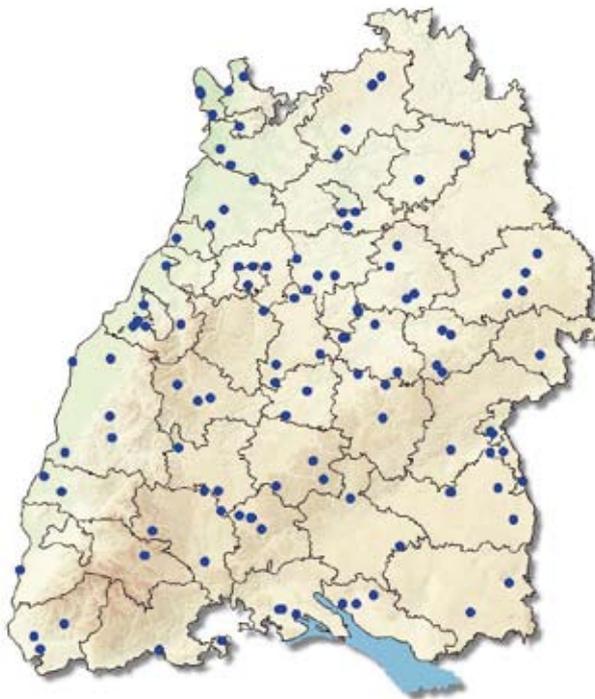


Abb. 3: Die Standorte der 2007 und 2008 beprobten Bauschuttrecyclinganlagen

Nach eigenen Erhebungen in Zusammenarbeit mit den Überwachungsbehörden der Stadt- und Landkreise gibt es derzeit rund 360 Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg. Die meisten Anlagen haben mobile Brecher, die an verschiedenen Standorten betrieben werden können, der geringere Teil sind stationäre Anla-

gen. Die Auswahl der zu beprobenden Anlagen erfolgte mit den für die Anlagen zuständigen Überwachungsbehörden. Dazu wurde eine Bestandsliste der Anlagen aus unseren Erhebungen mit den Überwachungsbehörden abgestimmt. Die Überwachungsbehörden haben die Liste nach ihren Kenntnissen ergänzt und Anlagen, die nach ihren Erkenntnissen nicht mehr betrieben werden, aus der Liste gestrichen. Maßgebliche Kriterien für die Auswahl, welche Anlagen beprobt werden sollen, waren die Größe und der Durchsatz der Anlagen. Außerdem sollten in der Regel keine Betriebe beprobt werden, die Mitglied im „Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg“ (QRB) sind und deren Recyclingbaustoffe einer regelmäßigen Fremdüberwachung unterliegen, da für diese Materialien Überwachungswerte von Schadstoffgehalten in der QRB-Statistik vorliegen.

3.2 Probenahme

Die Bauschuttrecyclinganlagen wurden zusammen mit den zuständigen Überwachungsbehörden in der Regel unangekündigt aufgesucht. Die Proben wurden von der LUBW entnommen. Beprobte wurden insgesamt 157 gebrochene, einsatzfertige Recyclingbaustoffe, die für den offenen Einbau in technischen Bauwerken vorgesehen waren. Als Inputmaterialien, die in den Bauschuttrecyclinganlagen aufbereitet wurden, wurden von den Betreibern die in Tabelle 3 angegebenen Materialien und Herkunftsbereiche genannt.

Tab. 3: Inputmaterialien der Bauschuttrecyclinganlagen

Material/Herkunft	Prozentualer Anteil der Proben mit diesem Inputmaterial
Gebäudeabbruch	70,1
Fundamente	76,4
Mauerwerk	55,4
Beton	88,5
Ziegel	49,0
Straßenaufbruch	52,2
Pflastersteine	71,3
Asphalt	46,5
Naturstein	69,4
Kalkstein	33,8

Die Korngrößen der beprobten Recyclingbaustoffe sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tab. 4: Korngröße der beprobten Materialien

Korngröße [mm]	Prozentualer Anteil der Proben mit dieser Korngröße
0 - 8	0,6
0 - 10	0,6
0 - 16	0,6
0 - 20	2,6
0 - 22	1,9
0 - 25	0,6
0 - 32	9,6
0 - 40	0,6
0 - 45	30,1
0 - 50	0,6
0 - 56	18,6
0 - 60	2,6
0 - 63	10,3
0 - 70	0,6
0 - 80	7,1
0 - 100	8,3
0 - 120	1,9
0 - 200	0,6
k.A.	1,9

Die aufbereiteten Recyclingbaustoffe waren in erster Linie als Material für Auffüllungen vorgesehen (Tabelle 5).

Tab. 5: Vorgesehene Verwendung der beprobten Materialien

Verwendung	Prozentualer Anteil der Proben
Recyclingmaterial für Auffüllungen	78
Recyclingmaterial für Frostschutz- und Tragschichten im Straßenbau (qualitätsgeprüft)	22

Nur ca. 20 % der beprobten Materialien waren für den Einsatz als Frostschutz- und Tragschichten im Straßenbau vorgesehen, d. h. sie waren qualitätsgeprüft bezüglich der technischen Eigenschaften wie Tragfähigkeit und Frostbeständigkeit. Der Grund für den geringen Anteil an hochwertigerem Recyclingmaterial lag wohl darin, dass in dieser Untersuchungskampagne nur Betriebe beprobt wurden, die nicht im Güteüberwachungssystem QRB organisiert sind. Bei den QRB-Betrieben ist der Anteil an Recyclingmaterial, das für Frostschutz und Tragschichten im Straßenbau geeignet ist, sicherlich höher. Die stoffliche Zusammensetzung des Recyclingmaterials, d. h. die Anteile an Beton, Ziegel, Asphalt, Naturstein etc., die in der Grobfraction ≥ 4 mm bestimmt wurde, sind im Anhang, Tabelle 14 aufgelistet.

Die Probenahme und Probenaufbereitung wurden nach dem QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“ [QRB 2006] 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 [UM 2004]. Er gibt eine einheitliche Vorgehensweise für die Probenahme und Probenaufbereitung 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 [LAGA 2003]. Je nach Volumen der zu beprobenden Materialmenge wurde eine bestimmte Anzahl von Einzelproben entnommen und zur Mischprobe vereinigt. Die Menge von Einzel- und Mischproben richtete sich nach dem Durchmesser des Größtkorns. Die Mischprobe wurde vor Ort auf eine Laborprobe von ca. 10 kg reduziert, indem sie kegelförmig aufgeschüttet und mit einem Teilerkreuz geteilt wurde.

3.3 Probenaufbereitung und Analyse

Die von der LUBW entnommenen Proben wurden von der Firma Dr. Ing. Hansjörg Fader, Ingenieurbüro und Umweltlabor, 76227 Karlsruhe, aufbereitet und analysiert. Die Proben wurden mit den folgenden drei verschiedenen Elutionsverfahren eluiert, deren charakteristische Merkmale in Tabelle 6 zusammengestellt sind:

- Beim Schüttelverfahren nach DIN EN 12457-4 wurden die Proben mit einem 10 mm-Sieb gesiebt, das Überkorn schonend auf < 10 mm gebrochen, mit der Fraktion 0 – 10 mm vereinigt und homogenisiert. Anschließend 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. Dies entspricht der Vorgehensweise nach dem UM-Erlass „Vorläufige Hinweise zum Baustoffrecyclingmaterial“ [UM 2004] bzw. dem QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“ [QRB 2006]. Das so aufbereitete Material wurde mit Wasser im Verhältnis 1:10 gemischt und im Überkopfschüttler 24 Stunden eluiert.
- Beim Säulenverfahren nach DIN 19528 (Entwurf) „Elution von Feststoffen – Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen“ wurde das Material in einer Säule (Innendurchmesser 5,3 cm, Füllhöhe der Probe 25 cm) mit Wasser im Aufwärtstrom mit einer Kontaktzeit von fünf Stunden perkoliert und das gesamte Eluat bis zu einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2:1 aufgefangen. Die Elution dauerte je nach Material etwa 1–2 Tage. Materialien bis zu einer Korngröße von 32 mm wurden unzerkleinert eingesetzt. Feststoffe mit einer Korngröße > 32 mm wurden abgetrennt und gebrochen. Daraus wurde die Körnung 16 - 32 mm abgetrennt und dem Gemisch 0 - 32 mm in dem Mengenanteil zugefügt, in dem der Anteil > 32 mm im Ausgangsmaterial vorlag.
- Beim Elutionsverfahren nach DIN 19529 (Entwurf) „Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg“ wurde das Material mit Wasser bei einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2:1 für 24 Stunden im Überkopfschüttler eluiert. Materialien bis zu einer Korngröße von 32 mm wurden unzerkleinert eingesetzt. Feststoffe mit einer Korngröße > 32 mm wurden abgetrennt und gebrochen. Daraus wurde die Körnung 16 - 32 mm abgetrennt und dem Gemisch 0 - 32 mm in dem Mengenanteil zugefügt, in dem der Anteil > 32 mm im Ausgangsmaterial vorlag.

Tab. 6: Tabelle 6 - Elutionsverfahren

	Schüttelverfahren DIN EN 12457-4	Säulenverfahren DIN 19 528 (Entwurf)	Schüttelverfahren DIN 19 529 (Entwurf)
Zerkleinerung	auf < 10 mm (gemäß [UM 2004])	Keine, nur Fraktion > 32 mm brechen, daraus Körnung 16/32 wieder zugeben	Keine, nur Fraktion > 32 mm brechen, daraus Körnung 16/32 wieder zugeben
Wasser/Feststoff- Verhältnis (W/F)	10 : 1	2 : 1	2 : 1
Elution	Schütteln über Kopf, 24 h	Durchströmen einer Säule → Auffangen des Eluats bis zu W/F= 2:1	Schütteln über Kopf, 24 h

Die Eluate wurden auf die Parameter der Tabelle 7 nach den dort genannten Analysenvorschriften untersucht. Für die PAK-Analyse im Feststoff wurde das Material entsprechend dem QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“ auf < 2 mm zerkleinert und in dieser Form nach der in Tabelle 7 genannten Vorschrift auf PAK untersucht.

In der Kornfraktion ≥ 4 mm wurde die stoffliche Zusammensetzung der Recyclingmaterialien bestimmt, d. h. die Anteile an Beton, Asphalt, Ziegel etc.

Tab. 7: Untersuchte Parameter und angewandte Analysevorschriften

	Parameter	Analysenvorschrift	
Im Eluat:	Sulfat, Chlorid	EN 10304-1-D19	
	Elektr. Leitfähigkeit bei 25°C	DIN EN 27888-C8	
	pH-Wert bei 20°C	DIN 38404-C5	
	Arsen	DIN EN ISO 11969-D18	
	Blei	DIN 38406-E6	
	Cadmium	DIN EN ISO 5961-E19-3	
	Chrom gesamt	DIN EN 1233-E10-4	
	Kupfer	DIN 38406-E7	
	Nickel	DIN 38406-E11	
	Zink	DIN 38406-E8-1	
	Molybdän	DIN EN ISO 15586-E4	
	Vanadium	DIN EN ISO 15586-E4	
	PAK	Hausmethode PAKW	
	Im Feststoff:	PAK	Merkblatt 1, LUA NRW 1994
		Stoffliche Zusammensetzung	In Anlehnung an Merkblatt M RC / TL Gestein (M RC = Merkblatt über die Wiederverwertung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau, Ausgabe 2002, FGSV Verlag GmbH, Köln, TL Gestein-StB 04 = Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004)

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisübersicht

Die Einzelergebnisse aller untersuchten Proben von Recyclingbaustoffen sind in den Tabellen 11 bis 14 im Anhang aufgeführt. Am Ende jeder Tabelle im Anhang stehen die Ergebnisse der statistischen Auswertung (Perzentile, Mediane, Minimum-, Maximumwerte und Mittelwerte).

In Tabelle 8 sind die wichtigsten statistischen Werte der Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und werden mit verschiedenen Grenzwerten verglichen. Die Ergebnisse aus den Schüttelversuchen mit Wasser-/Feststoff-Verhältnis 10:1 (nach DIN EN 12457-4) sind den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten des

Tab. 8-1: Statistische Auswertung aller Analysen und Vergleich mit den Zuordnungswerten des baden-württembergischen UM-Erlasses [UM 2004] und mit den RC-Werten des Entwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007]

Parameter	Dimension	Analyseergebnisse				in Baden-Württemberg geltende Zuordnungswerte		
		50 P. ¹ Median	75 P. ¹	90 P. ¹	Mittelwert	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
PAK ₁₆ im Feststoff	mg/kg	3,1	7,9	24,4	9,9	10	15	35
Im Schüttel-Eluat nach DIN EN 12457-4 (W/F 10:1) (Probenanzahl n = 157)								
pH-Wert		11,4	11,8	11,9	11,1	6,5 - 12,5	6 - 12,5	5,5 - 12,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1073	1549	1966	1134	2500	3000	5000
Chlorid	mg/l	3,7	6,4	10,3	5,9	100	200	300
Sulfat	mg/l	50,7	179	649	208	250	400	600
Arsen	µg/l	<1,0	1,2	1,8	<1,0	15	30	60
Blei	µg/l	<1,0	1,0	2,2	<1,0	40	100	200
Cadmium	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	2	5	6
Chrom	µg/l	10,0	15,0	21,0	11,2	30	75	100
Kupfer	µg/l	6,2	9,1	14,0	8,4	50	150	200
Molybdän	µg/l	<3,0	<3,0	4,0	<3,0			
Nickel	µg/l	<2,0	<2,0	3,2	<2,0	50	100	100
Quecksilber (n = 90)	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	1	2
Vanadium	µg/l	10,0	16,0	25,0	10,6			
Zink	µg/l	<50	<50	<50	<50	150	300	400
PAK ₁₆ (n=30)	µg/l	2,0	3,4	5,4	3,0			
1 Perzentil								
						Grenzwerte nach dem Entwurf der Ersatzbaustoffverordnung		
Im Säuleneluat nach DIN 19528 (W/F 2:1) (n = 97)						RC-1	RC-2	RC-3
PAK ₁₅ im Säuleneluat (n=157)	µg/l	0,9	1,7	3,0	1,3	3	4,5	15
pH-Wert		11,1	11,7	12,0	10,7	7 - 12,5	7 - 12,5	7 - 12,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1255	1813	2592	1371	2000	2500	10000
Chlorid	mg/l	10,1	20,7	34,7	20,5			
Sulfat	mg/l	63,3	399	1403	383	200 (350)	350 (700)	1400
Arsen	µg/l	<1,0	2,2	3,6	1,7			
Blei	µg/l	<1,0	1,5	2,5	<1,0			
Cadmium	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			
Chrom	µg/l	14,0	24,0	36,0	18,6	50	60	100
Kupfer	µg/l	10,0	20,0	41,2	16,0	40	70	100
Molybdän	µg/l	<3,0	6,4	13,8	5,6			
Nickel	µg/l	2,2	4,0	6,4	2,7			
Vanadium	µg/l	11,0	19,0	35,0	13,6	30	50	100
Zink	µg/l	<50	<50	74,0	<50			

Tab. 8-2: Statistische Auswertung aller Analysen und Vergleich mit den Zuordnungswerten des baden-württembergischen UM-Erlasses [UM 2004] und mit den RC-Werten des Entwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007]

Parameter	Dimension	Analyseergebnisse			
		50 P. ¹ Median	75 P. ¹	90 P. ¹	Mittelwert
Im Schüttel-Eluat nach DIN 19529 (W/F 2:1) (n = 67)					
pH-Wert		11,3	11,8	12,1	11,0
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1744	2556	3194	1872
Chlorid	mg/l	15,4	23,7	46,2	32,6
Sulfat	mg/l	79,5	555	2006	507
Arsen	µg/l	<1,0	<1,0	2,2	<1,0
Blei	µg/l	<1,0	<1,0	1,8	<1,0
Cadmium	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chrom	µg/l	18,5	31,3	37,0	22,5
Kupfer	µg/l	10,0	16,0	33,7	14,6
Molybdän	µg/l	8,3	12,0	17,0	9,3
Nickel	µg/l	<2,0	3,6	5,0	<2,0
Vanadium	µg/l	14,0	31,5	50,7	20,3
Zink	µg/l	<50	<50	<50	<50

UM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [UM 2004] gegenüber gestellt. Laut UM-Erlass ist diese Norm bzw. die ältere DIN 38414-4 (S 4) als Elutionsverfahren für die Ermittlung der Schadstoffgehalte im Eluat anzuwenden. Bei den Ergebnissen der Säulenversuche nach DIN 19528 (Entwurf) sind zum Vergleich die im Entwurf der ErsatzbaustoffV („Verordnung

über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken“) [BMU 2007] genannten Grenzwerte aufgeführt, da im Verordnungsentwurf das Säulenverfahren vorgeschrieben ist. Werte, die die gegenüber gestellten Grenzwerte Z 1.1 oder RC-1 überschreiten, sind entsprechend hervorgehoben.

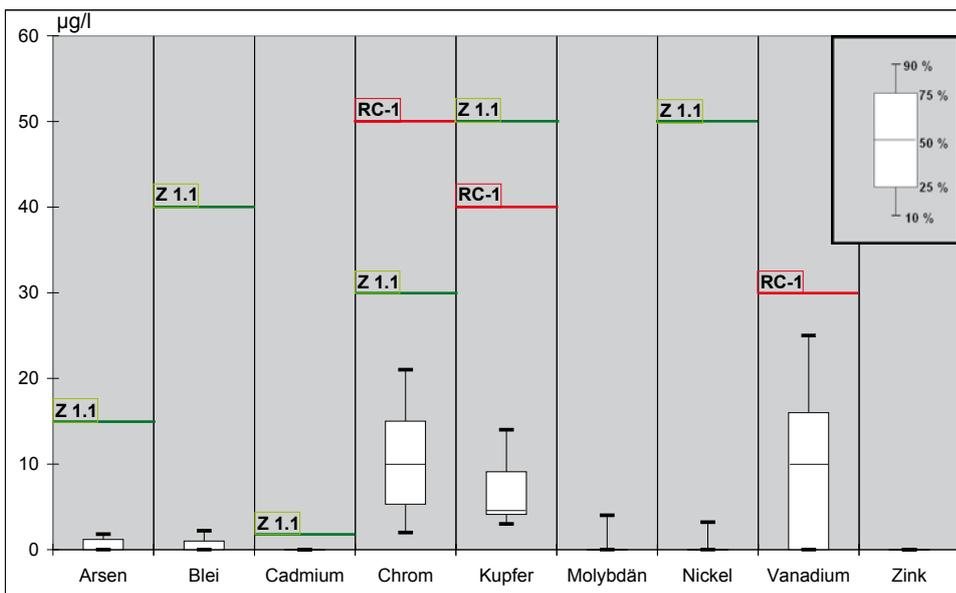


Abb. 4: Schwermetall- und Arsengehalte in Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75- und 90-Perzentilen nach Elution mit dem Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 (n = 157 Proben).

4.2 Auswertung der Einzelparameter

4.2.1 Schwermetalle und Arsen

In Abbildung 4 ist die statistische Auswertung der Gehalte von Schwermetallen und Arsen in 157 untersuchten Proben nach Elution mit dem Schüttelverfahren mit Wasser-/ Feststoff-Verhältnis (W/F) = 10:1 nach DIN EN 12457-4 dargestellt. In der Box-Plot-Darstellung sieht man die Perzentile für 10 %, 25 %, 50 %, 75 % und 90 %, d. h. diejenige Schadstoffkonzentration, die von dem jeweiligen Prozentsatz der 157 untersuchten Proben nicht überschritten wird.

In Abbildung 5 sind die Schwermetall- und Arsengehalte in gleicher Weise für die Bestimmung nach Elution mit dem Säulenverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19528 (Entwurf) dargestellt.

In Abbildung 6 ist die analoge Auswertung für die Bestimmung mit dem Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19529 (Entwurf) dargestellt.

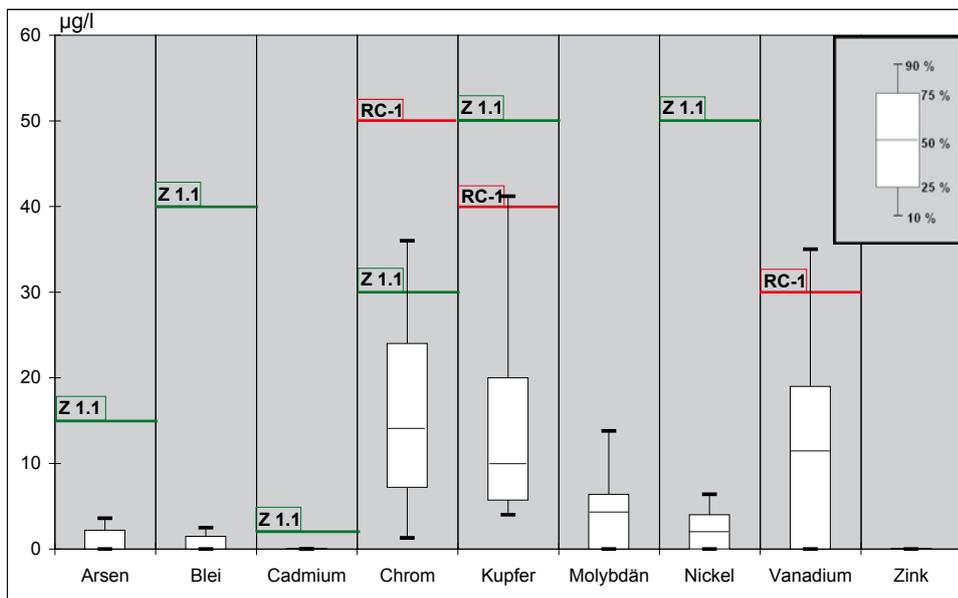


Abb. 5: Schwermetall- und Arsengehalte in Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75- und 90-Perzentilen nach Elution mit dem Säulenverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19528 (n = 97 Proben)

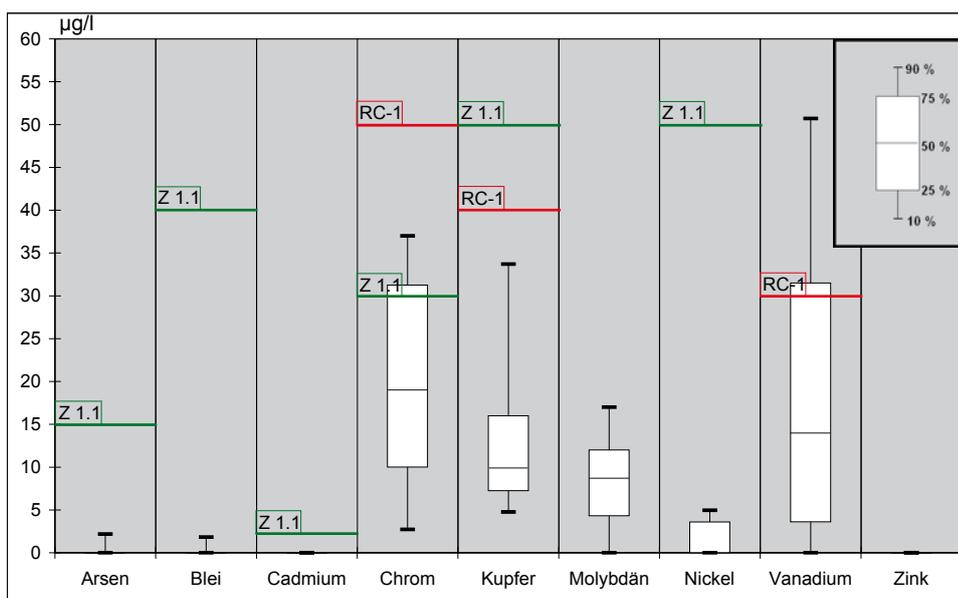


Abb. 6: Schwermetall- und Arsengehalte in Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75- und 90-Perzentilen nach Elution mit dem Schüttelverfahren W/F = 2:1 nach DIN 19529 (n = 67 Proben)

Zur Abschätzung der Grenzwertüberschreitungen sind in den Abbildungen 4 bis 6 die Zuordnungswerte Z 1.1 des UM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zur Verwertung von Baustoffrecyclingmaterial“ [UM 2004] und die Grenzwerte RC-1 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007] eingezeichnet.

In den Abbildungen 4 bis 6 ist erkennbar, dass Vanadium, Chrom, Kupfer und Molybdän unter den Schwermetallen die höchsten Konzentrationen in den Recyclingbaustoffen aufweisen. Für diese vier Schwermetalle ist in der

Abbildung 7 die statistische Auswertung der mit den drei verschiedenen Elutionsverfahren erhaltenen Ergebnisse im direkten Vergleich dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Bestimmung mit dem Schüttelelutionsverfahren mit W/F = 10:1 im statistischen Mittel die geringsten Schadstoffgehalte im Eluat aufweist. Das Schüttelelutionsverfahren mit W/F = 2:1 liefert im statistischen Mittel die höchsten Werte, die Ergebnisse des Säulenelutionsverfahren mit W/F = 2:1 liegen im Mittel in etwa zwischen den beiden Schüttelverfahren.

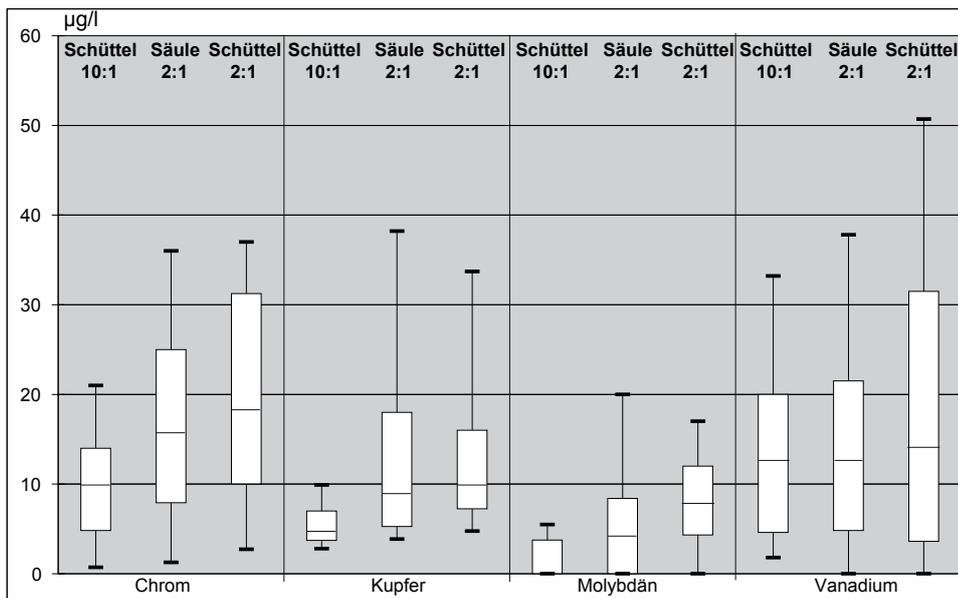


Abb. 7: Perzentile der Schwermetallgehalte im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren (Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75-, und 90- Perzentilen)

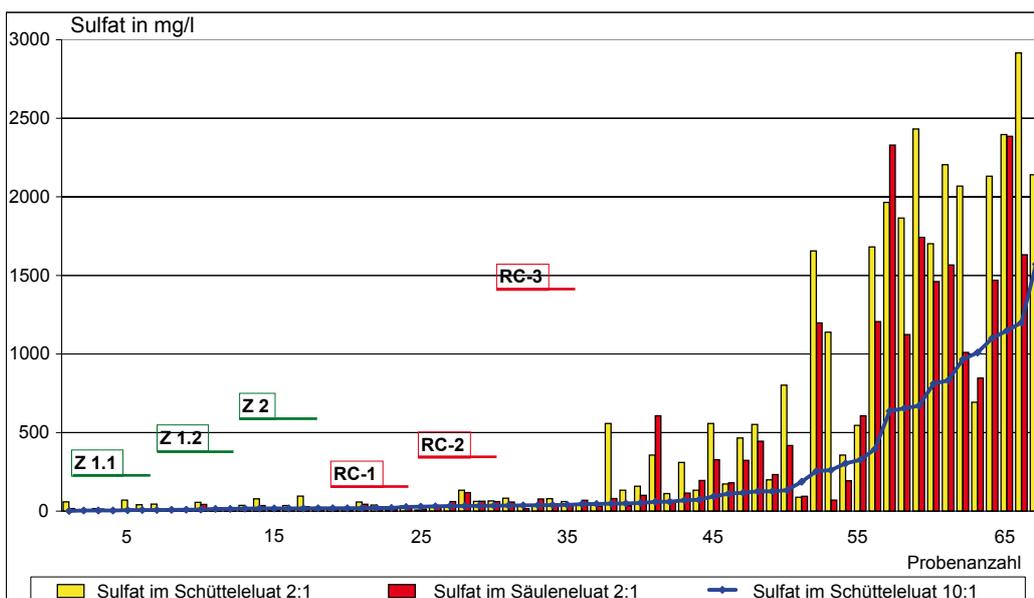


Abb. 8: Sulfatgehalte im Eluat von 67 Recyclingbaustoffen, ermittelt mit drei verschiedenen Elutionsverfahren

4.2.2 Sulfat, Chlorid, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert

Abbildung 8 zeigt die Sulfatgehalte im Eluat von insgesamt 67 Proben von Recyclingbaustoffen, die mit drei verschiedenen Elutionsverfahren (Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 nach DIN EN 12457-4, Säulenverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19528 und Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19529) ermittelt wurden.

Man sieht, dass die Sulfatgehalte im Eluat der einzelnen Proben je nach Elutionsverfahren in einzelnen Fällen deutlich voneinander abweichen. Tendenziell sind im statistischen Mittel über alle Werte die Gehalte im Schüttel-eluat mit W/F = 10:1 am niedrigsten und die Gehalte im Schüttel-eluat mit W/F = 2:1 am höchsten. Die mittleren Gehalte im Säuleneluat liegen in etwa dazwischen. Dies zeigen auch die in der Abbildung 9 dargestellten Perzentile aus der statistischen Auswertung der Sulfatgehalte nach Elution mit den drei Elutionsverfahren.

Für die Parameter Chlorid, elektrische Leitfähigkeit und

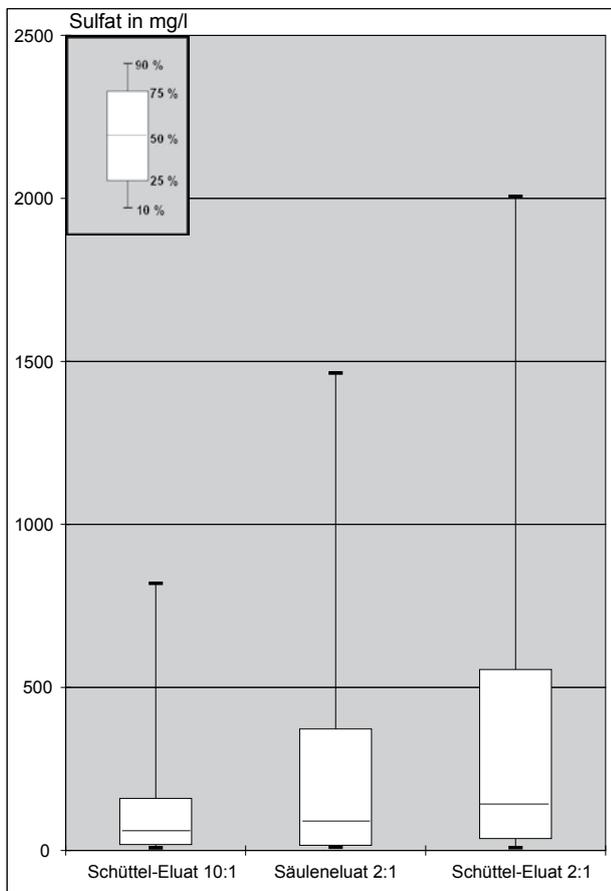


Abb. 9: Perzentile der Sulfatgehalte im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren

pH-Wert sind in den Abbildungen 10, 11 und 12 die Perzentile der Eluatgehalte in Abhängigkeit von den drei Elutionsverfahren dargestellt. Bei den Parametern Chlorid und elektrische Leitfähigkeit erhält man - wie beim Sulfat - die niedrigsten Werte im Schüttel-eluat mit W/F = 10:1, die höchsten Werte im Schüttel-eluat mit W/F = 2:1 und die Gehalte im Säuleneluat liegen in etwa dazwischen.

4.2.3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

PAK wurden im Feststoff und im Säuleneluat mit W/F = 2:1 bestimmt. Die Ergebnisse der 67 Proben, die mit beiden Verfahren parallel bestimmt wurden, sind in Abbildung 13 dargestellt.

Man sieht, dass die PAK-Gehalte der einzelnen Proben je nach Bestimmungsmethode in der Regel sehr stark voneinander abweichen. Werte mit hohen PAK-Gehalten im Feststoff können sehr geringe Gehalte im Eluat ergeben und umgekehrt. Die statistische Auswertung der Perzen-

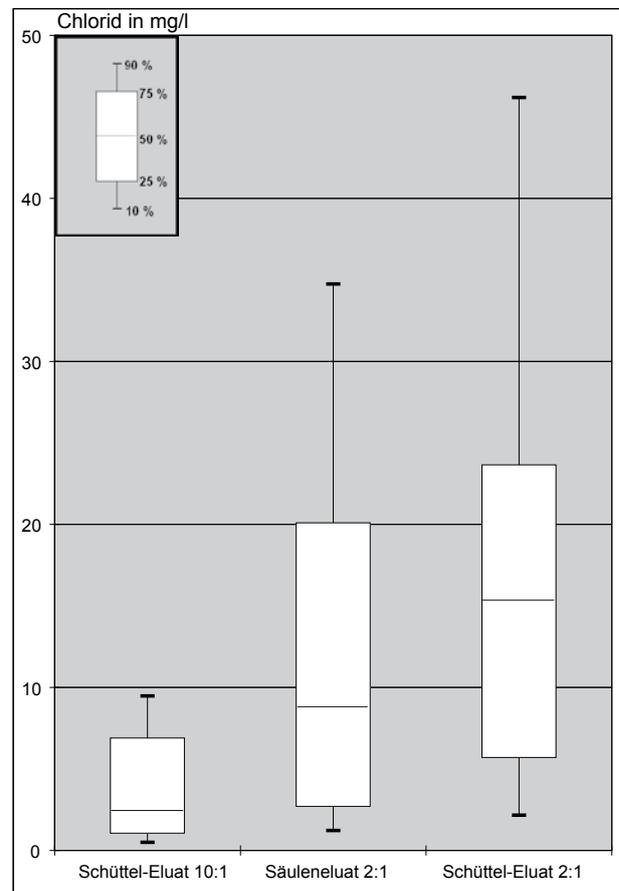


Abb. 10: Perzentile der Chloridgehalte im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren

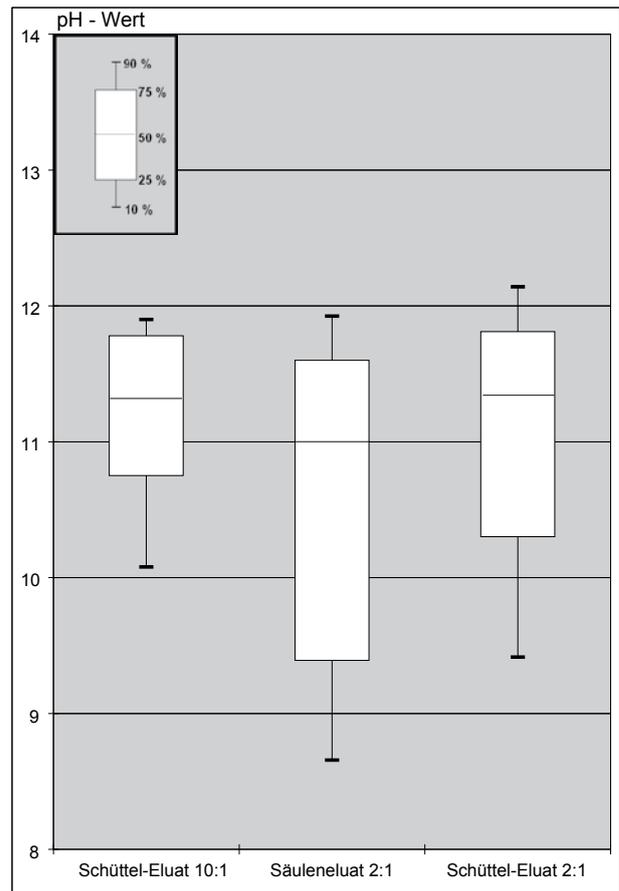
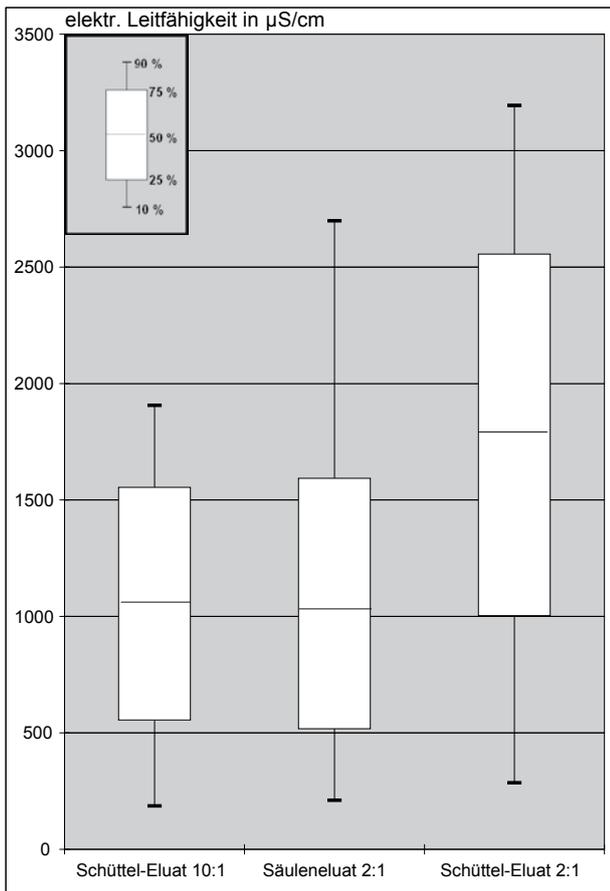


Abb. 11: Perzentile der elektrischen Leitfähigkeit im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren

Abb. 12: Perzentile des pH-Wertes im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren

tile in den Abbildungen 14 und 15 zeigt den Bereich, in dem die PAK-Gehalte der untersuchten Recyclingbaustoffe lagen.

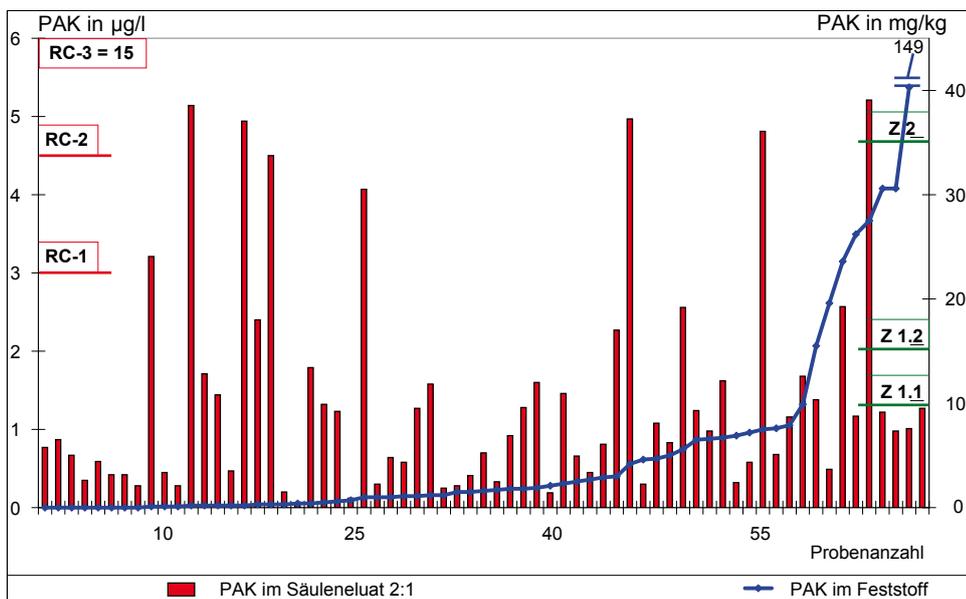


Abb. 13: PAK-Gehalt von 67 Proben, ermittelt im Feststoff und im Säuleneluat mit W/F = 2:1

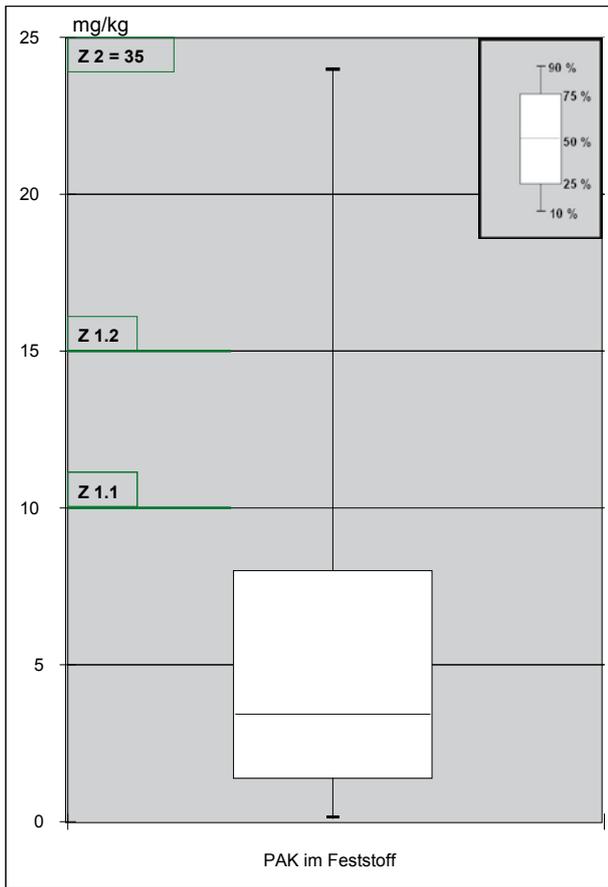


Abb. 14: Perzentile der PAK-Gehalte im Feststoff (n = 157 Proben) und Vergleich mit den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten nach [UM 2004]

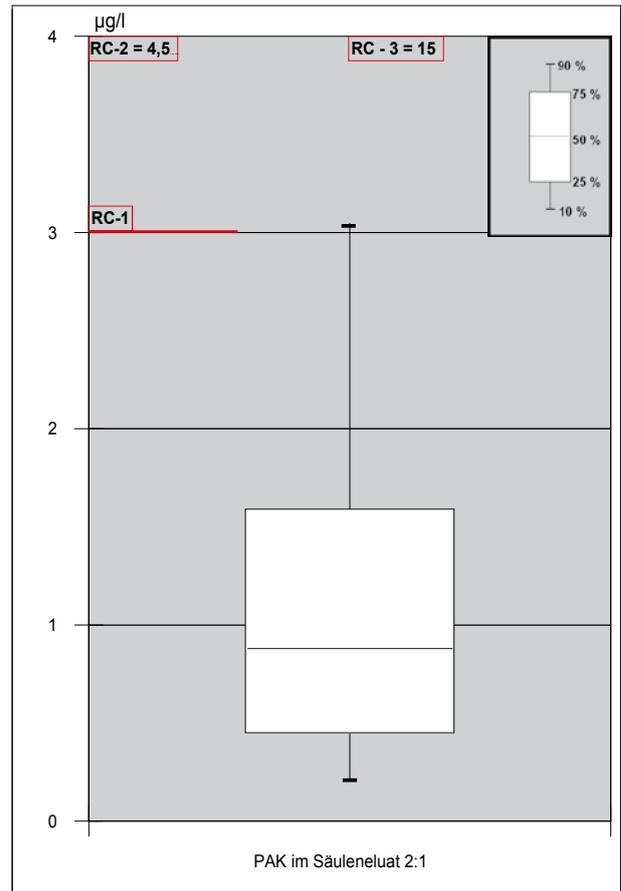


Abb. 15: Perzentile der PAK-Gehalte im Säuleneluat mit W/F = 2:1 (n = 97 Proben) und Vergleich mit den Grenzwerten im Entwurf der ErsatzbaustoffV [BMU 2007]

4.2.4 Stoffliche Zusammensetzung

In Abbildung 16 ist der prozentuale Anteil einzelner

Stoffe in der Kornfraktion ≥ 4 mm der untersuchten Recyclingbaustoffe dargestellt.

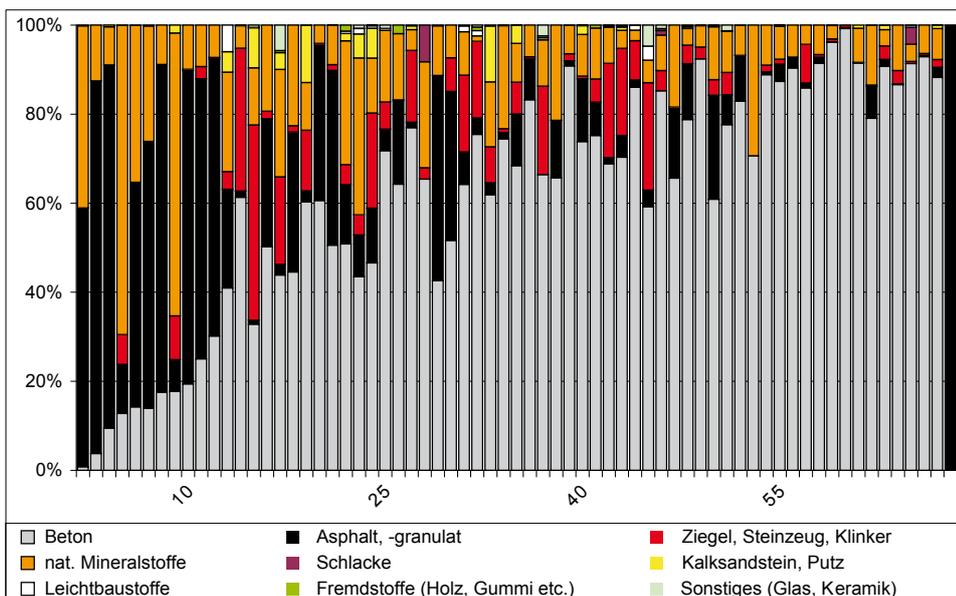


Abb. 16: Prozentualer Anteil einzelner Stoffe in der Korngrößenfraktion ≥ 4 mm der untersuchten Recyclingbaustoffe

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Vergleich mit den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten

Abbildung 17 zeigt, wie häufig die Gehalte einzelner Parameter in den 157 untersuchten Recyclingbaustoffen die jeweiligen Zuordnungswerte Z 1.1, Z 1.2 und Z 2, die in den „Vorläufigen Hinweisen zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg [UM 2004] festgelegt sind, überschritten haben.

Cadmium, Blei, Nickel und Arsen. Diese lagen bei allen Proben deutlich unter dem Z 1.1-Wert.

Die Grenzwertüberschreitungen der einzelnen Parameter treten oft nicht kumuliert auf, sondern sind auf mehrere Proben verteilt. In Tabelle 9 ist zusammengestellt, wie viel Prozent der untersuchten Proben von Recyclingbaustoffen die Zuordnungswerte Z 1.1, Z 1.2 bzw. Z 2 einhalten und wie viel Prozent schlechter als Z 2 einzustufen sind.

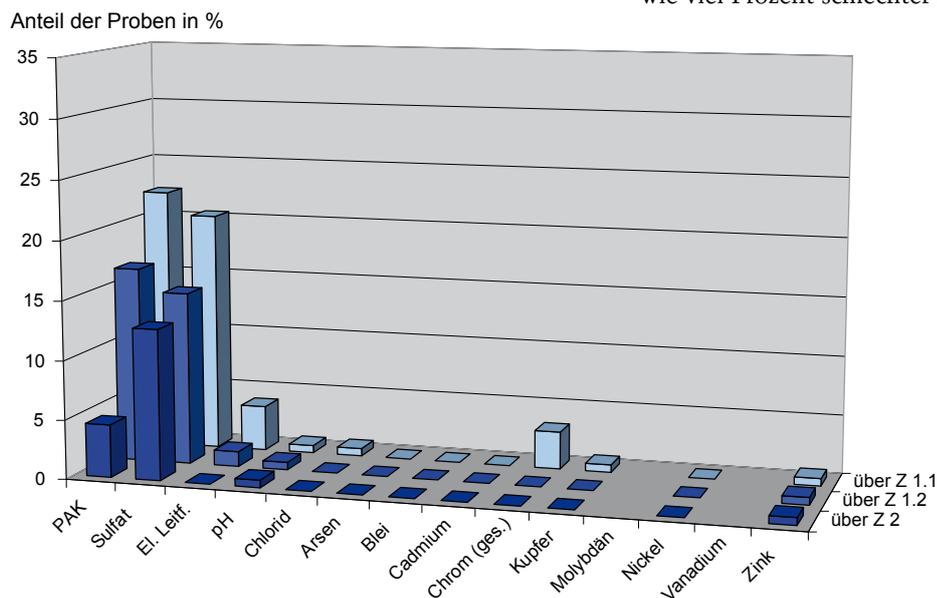


Abb. 17: Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte über den jeweiligen in Baden-Württemberg gültigen Zuordnungswerten liegen (n = 157 Proben)

Häufige Überschreitungen der Zuordnungswerte gibt es für die Parameter PAK und Sulfat. Damit werden die Ergebnisse der LUBW-Untersuchungen aus dem Jahr 2006 [LUBW 2006] (vgl. Kap. 2.5) bestätigt. Insgesamt haben sich die PAK- und Sulfatüberschreitungen gegenüber den Untersuchungen 2006 nur geringfügig verringert. Die Gehalte aller anderen untersuchten Parameter, d. h. der Schwermetalle, Arsen, Chlorid, Leitfähigkeit und pH-Wert, liegen fast für alle Proben unter den Zuordnungswerten Z 1.1 und stellen somit in aller Regel kein Problem bei der Verwertung von Recyclingbaustoffen dar. Ausnahmsweise kann Chrom und die Leitfähigkeit über den Zuordnungswerten liegen, Überschreitungen der anderen Parameter scheinen eher zufällig.

5.2 Vergleich mit den Grenzwerten im Entwurf der ErsatzbaustoffV

In Abbildung 18 ist dargestellt, wie häufig die Gehalte einzelner Parameter in 97 untersuchten Recyclingbaustoffen die Grenzwerte RC-1, RC-2 bzw. RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007] überschreiten. Für diese Auswertung sind die ermittelten Gehalte im Säuleneluat mit W/F = 2:1 nach DIN 19528 (Entwurf) maßgeblich, da dieses Elutionsverfahren im Entwurf der ErsatzbaustoffV vorgegeben ist.

Völlig unproblematisch sind die Gehalte an Quecksilber,

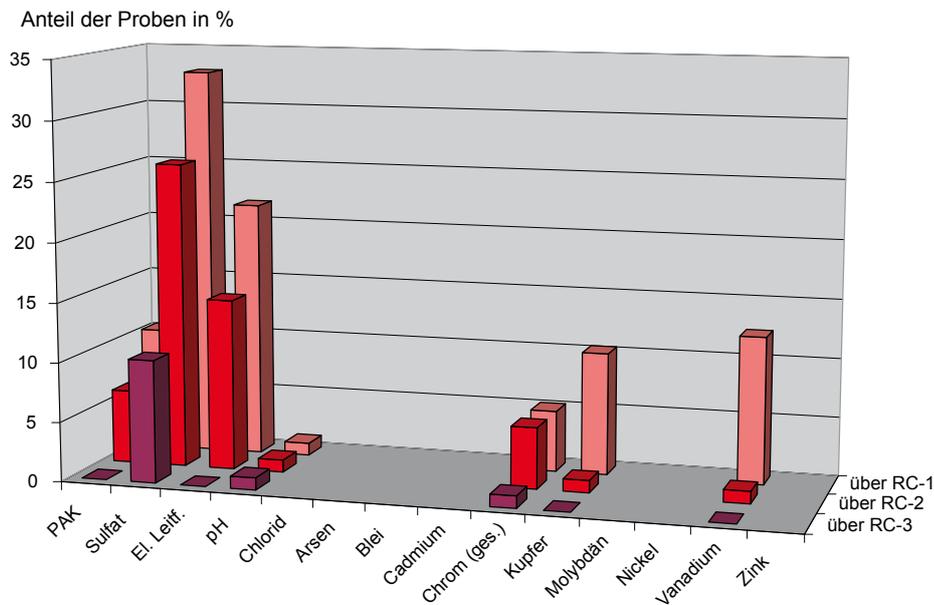


Abb. 18: Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 97 Proben)

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die jetzige Entwurfsfassung der ErsatzbaustoffV neben den PAK-Grenzwerten im Säuleneluat in einer Übergangszeit bis zum Jahr 2020 alternativ Grenzwerte für PAK im Feststoff zulässt. Überschreitungen von PAK im Säuleneluat wären demnach nicht maßgeblich, wenn die PAK-Gehalte im Feststoff eingehalten werden. Diese Alternative wurde bei der Auswertung in Abbildung 18 nicht berücksichtigt. Dadurch würde sich auch die Zahl der Überschreitungen nicht wesentlich verringern, da die PAK-Werte im Feststoff deutlich häufiger über dem Grenzwert lagen als die PAK-Werte im Säuleneluat.

Für Sulfat wurden bei der Auswertung in Abbildung 18 die strengeren Grenzwerte des Entwurfs der ErsatzbaustoffV herangezogen, die erst ab dem Jahr 2020 gelten sollen. Die weniger strengen Grenzwerte, die in der Übergangszeit bis zum Jahr 2020 zulässig sind, wurden nicht berücksichtigt. Die Zahl der Überschreitungen beim Sulfat verringert sich aber nur unwesentlich, wenn man die Übergangsregelung zugrunde legt.

Die meisten Überschreitungen von Grenzwerten des Verordnungsentwurfs treten beim Sulfat auf. Ein Drittel der Werte liegt über RC-1, 10 % überschreiten sogar den RC-3-Wert. Neben dem Sulfatgehalt ist der Vanadiumgehalt der begrenzende Faktor für die Verwertbarkeit eines

Tab. 9: Prozentualer Anteil der untersuchten Recyclingbaustoffe, die die Werte RC-1, RC-2 bzw. RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV einhalten

Untersuchte Proben gesamt	davon sind nach UM-Erlass Baden-Württemberg einzustufen als			
	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	schlechter als Z 2
157	54%	15%	13%	18%

Tab. 10: Prozentualer Anteil der untersuchten Recyclingbaustoffe, die die Werte RC-1, RC-2 bzw. RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV einhalten

Untersuchte Proben gesamt		davon sind nach Entwurf Ersatzbaustoffverordnung einzustufen als			
		RC-1	RC-2	RC-3	schlechter als RC-3
97	bis zum Jahr 2020	44%	19%	25%	12%
97	ab dem Jahr 2020	38%	19%	31%	12%

Recyclingbaustoffs. 12 % der Proben haben einen Vanadiumgehalt über dem RC-1-Wert. Überschreitungen der elektr. Leitfähigkeit sind zwar nach Sulfat am zweithäu-

figsten, stellen aber kein Ausschlusskriterium für die Verwertung der Recyclingbaustoffe dar, da die RC-Werte für die elektr. Leitfähigkeit im Verordnungsentwurf nur als Orientierungswerte festgelegt sind.

In Tabelle 10 ist dargestellt, wie viel Prozent der untersuchten Recyclingbaustoffe die einzelnen Zuordnungs-klassen RC-1, RC-2 und RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV einhalten und wie viel Prozent schlechter als RC-3 einzustufen sind. Bei der Aufstellung ist differenziert in die Zeit bis zum Jahr 2020, in der weniger strenge Sulfatwerte gelten sollen, und in die Zeit ab 2020 mit strengeren Sulfatgrenzwerten.

Vergleicht man die Prozentzahlen in Tabelle 9 und 10, sieht man nur geringfügige Unterschiede in den einzelnen Klassen. Demnach wären die meisten Recyclingbaustoffe nach dem jetzigen Entwurf der ErsatzbaustoffV in die gleiche Einbauklasse einzustufen wie nach den derzeit in Baden-Württemberg geltenden Regelungen und Grenzwerten. Abbildung 19 zeigt einen direkten Vergleich der Anzahl der Überschreitungen von Z 1.1-Werten nach dem baden-württembergischen UM-Erlass [UM 2004] und von RC-1-Werten nach dem Entwurf der ErsatzbaustoffV.

Man sieht, dass einzelne Parameter wie PAK für die Einstufung nach der ErsatzbaustoffV an Bedeutung verlieren würden, andere Parameter wie Vanadium und Sulfat mehr Gewicht bei der Entscheidung über die Verwertbarkeit

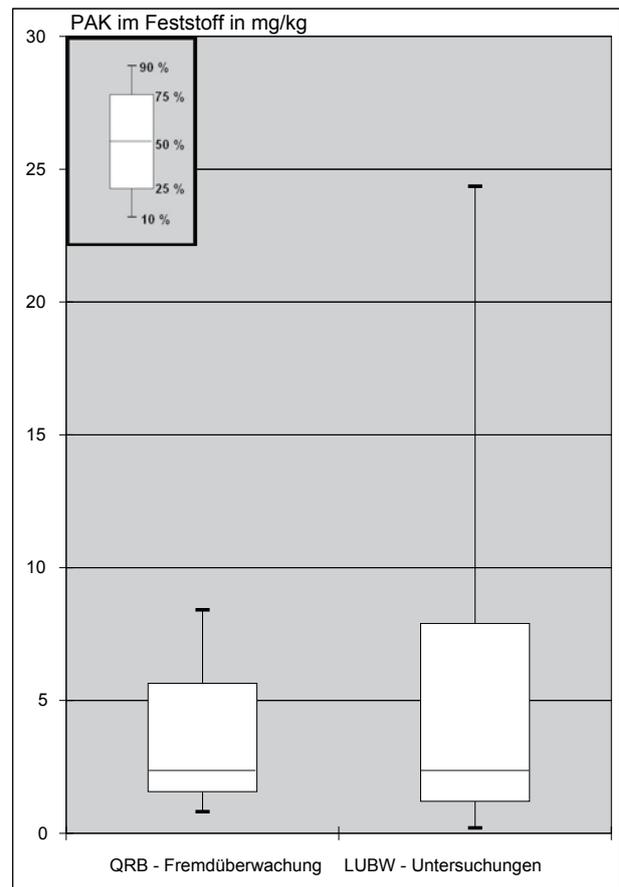


Abb. 20: Perzentile der PAK-Gehalte aus der Fremdüberwachung im QRB und aus den LUBW-Untersuchungen

von Recyclingbaustoffen bekämen. Mit der neuen ErsatzbaustoffV in der jetzigen Entwurfsform würden die Parameter Sulfat und Vanadium zum maßgeblichen Entscheidungskriterium für die Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen.

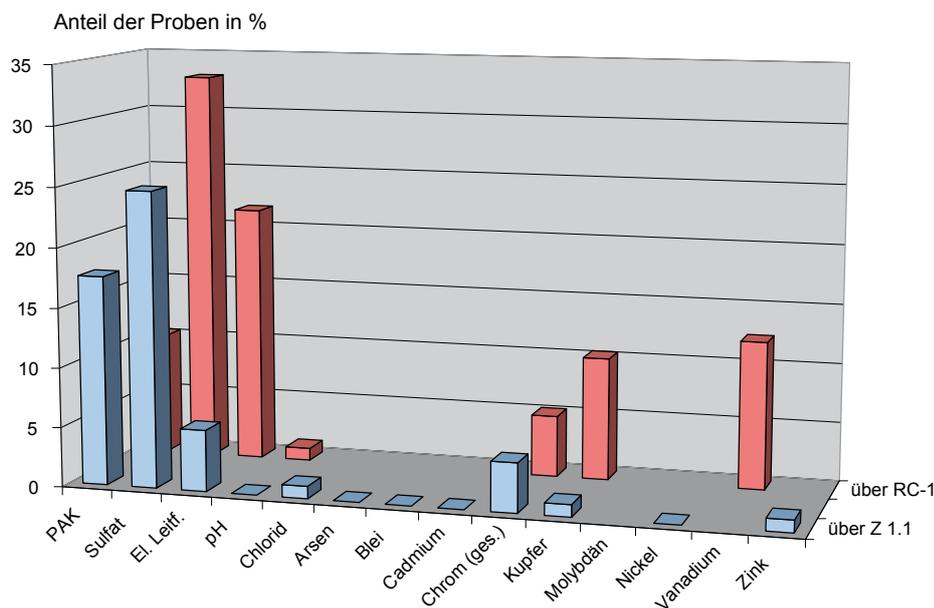


Abb. 19: Prozentualer Anteil der Proben, deren Gehalte einzelner Parameter über dem in Baden-Württemberg geltenden Z 1.1-Wert bzw. über dem RC-1-Wert des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen

5.3 Vergleich mit Werten aus der Güteüberwachung im QRB

Die Untersuchungen der LUBW erfolgten bei Betrieben, die nicht dem „Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg“ (QRB) angehören. Betriebe im QRB unterliegen einer regelmäßigen Fremdüberwachung, bei der die Recyclingbaustoffe auf Schadstoffgehalte untersucht werden. In den Abbildungen 20 und 21 werden beispielhaft die PAK- und Sulfatgehalte der von der LUBW untersuchten Recyclingbaustoffe den Werten aus der Fremdüberwachung im Rahmen des QRB aus den Jahren 2007 und 2008 gegenübergestellt. Dargestellt sind jeweils die Perzentile der PAK-Gehalte im Feststoff und der Sulfatgehalte im Schütteleluat mit W/F = 10:1 nach DIN EN 12457-4.

In beiden Abbildungen ist erkennbar, dass die Mediane (50-Perzentile) aus den LUBW-Untersuchungen und aus der QRB-Überwachung jeweils noch annähernd gleich sind. Die 75- und 90-Perzentile liegen bei den LUBW-Untersuchungen jedoch sehr deutlich über den QRB-Werten, d. h. es wurden bei den LUBW-Untersuchungen Ausreißer mit hohen PAK- und Sulfatwerten festgestellt, die in der QRB-Fremdüberwachung nicht auf-

treten. Es ist demnach zu erwarten, dass man diese Ausreißer mit entsprechenden Qualitätssicherungsmaßnahmen wie Eingangskontrolle und Fremdüberwachung verhindern und auf das Niveau der QRB-Werte reduzieren kann.

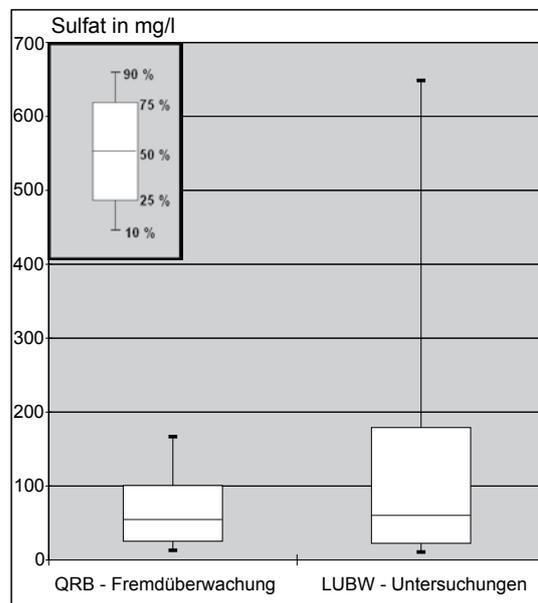


Abb. 21: Perzentile der Sulfatgehalte aus der Fremdüberwachung im QRB und aus den LUBW-Untersuchungen

6 Literatur

- BMU 2007: Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV), Arbeitsentwurf vom 13.11.2007, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- KWTB 2007: 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2004), Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau, Berlin.
- LAGA 1997: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- LAGA 2003: 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“, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- LUBW 2003: Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial auf Sulfat und PAK, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- LUBW 2006: Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- QRB 2006: QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“, Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e.V. (QRB), Ostfildern.
- UM 2004: Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.
- UM 2007: Umweltplan Baden-Württemberg 2007, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.

7 Anhang

Tabelle 11: Analysenergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 und PAK-Gehalte im Feststoff (mit statistischer Auswertung)

Tabelle 12: Analysenergebnisse nach Elution im Säulenverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Tabelle 13: Analysenergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Tabelle 14: Stoffliche Zusammensetzung der Kornfraktion ≥ 4 mm

Tab. 11-1: Analyseergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 und PAK-Gehalte im Feststoff (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK mg/kg TS	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
1	6,9	9,5	69,9	7,0	0,6	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	<1,0	<3,0	<2,0	-	<3,0	<50
2	0,4	10,6	415	117	1,1	1,7	<1,0	<0,2	3,0	3,1	<3,0	<2,0	-	32,0	<50
3	0,1	11,6	1493	51,4	128	<1,0	3,2	<0,2	14,0	7,5	<3,0	<2,0	-	5,0	<50
4	0,3	10,5	1376	1100	6,2	1,5	1,5	<0,2	5,0	7,7	<3,0	<2,0	-	23,0	<50
5	1,6	11,8	1549	26,3	9,2	<1,0	2,0	<0,2	17,0	5,4	<3,0	<2,0	-	3,0	<50
6	7,6	11,3	733	47,3	1,2	1,0	1,7	<0,2	7,5	<1,0	<3,0	<2,0	-	8,0	<50
7	0,2	11,1	442	32,9	9,9	<1,0	3,6	<0,2	1,8	4,1	<3,0	<2,0	-	13,0	<50
8	4,7	11,7	1352	44,8	10,3	<1,0	2,4	<0,2	10,0	6,5	<3,0	2,3	-	6,0	<50
9	n.n.	11,6	1147	126	7,0	<1,0	2,3	<0,2	13,0	3,1	<3,0	<2,0	-	4,0	<50
10	0,3	11,8	1650	34,0	6,6	<1,0	3,0	<0,2	25,0	3,7	<3,0	3,1	-	<3,0	<50
11	30,6	11,4	765	48,3	2,7	<1,0	1,7	<0,2	6,9	4,3	<3,0	<2,0	-	12,0	<50
12	0,2	11,8	1560	30,6	11,0	<1,0	2,9	<0,2	19,0	12,0	<3,0	4,4	-	6,0	<50
13	26,2	11,2	635	59,6	0,5	<1,0	<1,0	<0,2	5,7	3,1	<3,0	<2,0	-	7,7	<50
14	4,6	9,9	1916	1148	11,7	1,3	<1,0	<0,2	9,2	4,7	6,3	<2,0	-	21,0	<50
15	149	9,3	68,4	7,4	<0,5	1,6	<1,0	<0,2	<1,0	3,7	<3,0	<2,0	-	5,9	<50
16	n.n.	10,6	700	254	7,5	1,2	<1,0	<0,2	4,2	5,2	3,6	<2,0	-	35,0	<50
17	7,2	10,2	131	19,4	<0,5	<1,0	<1,0	<0,2	3,0	<1,0	<3,0	<2,0	-	14,0	<50
18	0,6	12,0	2629	14,4	1,6	<1,0	<1,0	<0,2	22,0	10,0	9,8	5,4	-	<3,0	<50
19	1,7	10,4	1846	1572	10,3	<1,0	<1,0	<0,2	11,0	4,6	13,0	<2,0	-	38,0	<50
20	1,2	11,3	748	34,3	4,7	<1,0	<1,0	<0,2	9,1	16,0	5,2	<2,0	-	14,0	<50
21	0,1	12,0	2165	9,0	8,4	<1,0	<1,0	<0,2	16,0	4,9	<3,0	<2,0	-	<3,0	<50
22	0,2	11,7	1182	40,1	3,2	1,6	1,7	<0,2	8,0	3,7	<3,0	<2,0	-	9,1	<50
23	1,5	11,5	812	35,7	6,1	1,3	<1,0	<0,2	7,9	5,1	3,1	<2,0	-	19,0	<50
24	0,2	11,6	1122	72,2	8,2	1,3	<1,0	<0,2	22,0	7,8	<3,0	<2,0	-	20,0	<50
25	0,2	11,8	1447	32,5	4,9	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	9,9	<3,0	2,3	-	4,1	<50
26	n.n.	12,2	2960	8,1	6,2	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	8,2	3,2	<2,0	-	<3,0	<50
27	1,1	11,8	1505	187	4,0	<1,0	<1,0	<0,2	11,0	7,0	5,0	<2,0	-	6,9	<50
28	n.n.	11,9	1627	17,9	7,1	<1,0	1,0	<0,2	21,0	9,9	3,5	<2,0	-	<3,0	<50
29	1,8	11,8	1287	45,8	6,8	<1,0	1,7	<0,2	16,0	13,0	<3,0	<2,0	-	4,9	<50
30	1,0	10,2	131	10,2	1,5	9,8	<1,0	<0,2	1,2	3,8	<3,0	<2,0	-	13,0	<50
31	5,0	9,5	74	3,8	<0,5	5,5	<1,0	<0,2	<1,0	2,4	<3,0	<2,0	-	3,2	<50
32	n.n.	11,8	1313	17,4	2,5	1,8	<1,0	<0,2	9,4	2,5	<3,0	<2,0	-	5,2	<50
33	0,5	10,9	1067	671	8,2	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	5,6	5,6	<2,0	-	26,0	<50
34	0,3	12,0	1957	20,5	3,3	<1,0	1,0	<0,2	21,0	4,7	<3,0	<2,0	-	3,1	<50
35	n.n.	12,2	2958	4,2	0,8	<1,0	<1,0	<0,2	14,0	4,1	6,7	<2,0	-	<3,0	53,0
36	27,5	10,8	223	16,8	1,6	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	3,1	<3,0	<2,0	-	15,0	<50
37	1,5	10,4	308	93,7	0,8	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	3,7	3,2	<2,0	-	16,0	<50
38	1,0	11,1	1082	654	2,4	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	7,3	3,1	<2,0	-	25,0	<50
39	2,7	10,5	1166	965	1,0	<1,0	1,0	<0,2	7,9	2,8	<3,0	<2,0	-	40,0	<50
40	n.n.	11,6	1017	16,7	1,0	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	3,5	<3,0	<2,0	-	11,0	<50
41	1,8	11,1	1330	17,7	0,7	1,7	<1,0	<0,2	3,9	4,1	<3,0	<2,0	-	21,0	<50
42	9,9	10,9	325	832	5,3	<1,0	<1,0	<0,2	23,0	6,3	<3,0	5,2	-	37,0	<50
43	7,5	11,7	1620	28,2	2,1	<1,0	4,9	<0,2	14,0	6,7	3,3	<2,0	-	6,0	<50
44	30,6	11,1	522	36,4	1,0	<1,0	1,2	<0,2	4,6	3,8	<3,0	<2,0	-	13,0	<50
45	n.n.	11,8	1900	18,4	1,7	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	2,9	4,2	<2,0	-	6,1	<50
46	3,0	11,5	1436	261	3,4	<1,0	<1,0	<0,2	14,0	3,6	4,1	<2,0	-	15,0	<50
47	2,5	11,0	895	326	0,8	1,1	1,0	<0,2	12,0	2,8	<3,0	<2,0	-	36,0	<50
48	0,7	10,6	340	68,7	1,8	1,3	<1,0	<0,2	5,5	4,5	<3,0	<2,0	-	23,0	<50

Tab. 11-2: Analyseergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 und PAK-Gehalte im Feststoff (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK mg/kg TS	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
49	1,2	11,0	1647	1200	9,1	<1,0	<1,0	<0,2	14,0	7,7	3,6	<2,0	-	27,0	<50
50	1,1	12,0	1861	14,5	29,7	<1,0	1,3	<0,2	14,0	7,0	5,4	<2,0	-	4,8	<50
51	1,9	11,7	1131	38,3	5,4	<1,0	1,6	<0,2	8,1	6,6	<3,0	<2,0	-	13,0	<50
52	23,6	11,2	1273	811	7,3	<1,0	<1,0	<0,2	19,0	4,4	6,0	<2,0	-	39,0	<50
53	2,9	11,0	585	133	6,8	<1,0	<1,0	<0,2	6,6	4,2	3,3	<2,0	-	38,0	<50
54	6,5	11,5	1104	304	4,1	<1,0	<1,0	<0,2	17,0	3,8	3,9	<2,0	-	20,0	<50
55	0,4	10,7	748	394	5,6	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	4,6	4,1	<2,0	-	32,0	<50
56	4,2	11,9	1738	37,4	6,4	<1,0	<1,0	<0,2	21,0	6,2	4,5	<2,0	-	3,8	<50
57	1,0	11,2	1990	1009	8,8	1,0	<1,0	<0,2	35,0	5,7	5,0	<2,0	-	19,0	<50
58	0,1	11,9	1839	16,9	2,1	<1,0	3,9	<0,2	11,0	11,0	<3,0	<2,0	-	3,4	70,0
59	6,6	11,2	415	1,3	<0,5	3,6	<1,0	<0,2	10,0	5,0	<3,0	4,3	-	15,0	<50
60	19,6	9,5	102	6,5	<0,5	3,9	<1,0	<0,2	<1,0	4,1	<3,0	<2,0	-	4,0	<50
61	2,1	9,6	1382	637	0,5	3,5	<1,0	<0,2	1,6	3,5	<3,0	<2,0	-	13,0	<50
62	15,5	9,9	59,6	3,6	<0,5	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	2,4	<3,0	2,1	-	3,9	<50
63	40,3	11,4	524	20,5	0,9	1,3	<1,0	<0,2	3,7	9,1	<3,0	3,4	-	12,0	<50
64	7,9	11,2	587	126	2,2	1,2	<1,0	<0,2	7,8	6,9	<3,0	5,9	-	18,0	<50
65	6,7	11,6	925	111	5,3	<1,0	<1,0	<0,2	7,3	10,0	3,9	7,0	-	13,0	<50
66	2,3	11,2	453	59,4	3,8	<1,0	<1,0	<0,2	2,7	6,3	<3,0	3,5	-	13,0	<50
67	5,6	11,9	1155	18,1	2,3	<1,0	<1,0	<0,2	9,6	9,9	5,9	8,8	-	4,4	<50
68	4,2	11,1	552	80,1	2,2	<1,0	<1,0	<0,2	9,8	3,9	<3,0	<2,0	<0,2	13,0	<50
69	21,6	11,0	363	31,8	1,1	<1,0	<1,0	<0,2	3,2	4,5	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
70	4,9	11,7	1249	25,2	1,9	<1,0	<1,0	<0,2	15,0	6,4	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
71	4,1	11,2	516	50,7	2,5	<1,0	<1,0	<0,2	9,0	5,6	<3,0	<2,0	<0,2	12,0	<50
72	4,2	11,6	768	32,6	1,7	<1,0	<1,0	<0,2	3,9	2,3	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
73	4,6	10,9	1039	390	3,3	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	4,4	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
74	3,5	11,8	1553	28,9	1,9	<1,0	<1,0	<0,2	20,0	8,2	<3,0	3,7	<0,2	<3,0	<50
75	4,0	11,8	1437	97,9	3,2	<1,0	<1,0	<0,2	22,0	2,1	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
76	2,1	11,9	1573	37,4	3,4	<1,0	<1,0	<0,2	14,0	11,0	<3,0	3,3	<0,2	<3,0	<50
77	0,3	11,7	1095	133	4,8	<1,0	<1,0	<0,2	42,0	3,9	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
78	6,1	11,9	1916	10,0	5,7	<1,0	<1,0	<0,2	11,0	7,7	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
79	5,8	11,9	1611	11,0	3,0	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	8,4	<3,0	2,1	<0,2	<3,0	<50
80	1,5	11,9	1767	20,9	2,8	5,4	1,4	<0,2	17,0	92,0	<3,0	4,2	<0,2	<3,0	68,0
81	0,8	10,9	712	196	6,0	<1,0	<1,0	<0,2	20,0	8,6	<3,0	<2,0	<0,2	17,0	<50
82	0,9	12,1	3000	6,7	6,0	<1,0	1,9	<0,2	26,0	18,0	<3,0	2,7	<0,2	<3,0	<50
83	3,5	9,3	77,5	5,7	1,0	1,2	<1,0	<0,2	2,4	9,2	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
84	2,7	11,4	1312	466	9,0	1,2	<1,0	<0,2	25,0	6,0	<3,0	<2,0	<0,2	14,0	<50
85	0,2	11,4	845	66,5	4,6	<1,0	<1,0	<0,2	66,0	9,8	<3,0	12,0	<0,2	10,0	<50
86	0,6	11,0	1191	423	20,9	1,3	4,4	<0,2	16,0	17,0	<3,0	<2,0	<0,2	37,0	<50
87	3,2	11,2	795	180	1,7	<1,0	<1,0	<0,2	17,0	5,9	<3,0	<2,0	<0,2	14,0	<50
88	23,4	9,9	589	194	1,8	<1,0	<1,0	<0,2	16,0	3,4	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
89	6,1	8,7	172	13,2	0,9	1,2	1,8	<0,2	2,1	23,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
90	1,8	12,3	4000	9,6	4,8	<1,0	2,2	<0,2	17,0	23,0	<3,0	5,7	<0,2	35,0	<50
91	1,7	9,2	650	276	1,4	1,2	<1,0	<0,2	9,3	24,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
92	30	8,2	222	3,6	<0,5	1,0	1,5	<0,2	1,9	21,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
93	6,6	11,5	936	49,1	5,6	<1,0	2,2	<0,2	25,0	7,2	<3,0	2,2	<0,2	11,0	<50
94	16,5	9,7	2015	1894	11,7	1,3	<1,0	<0,2	5,4	2,1	<3,0	<2,0	<0,2	33,0	<50
95	3,4	11,2	2000	1465	5,2	<1,0	3,0	<0,2	24,0	36,0	<3,0	5,2	<0,2	21,0	590
96	1	10,4	755	162	2,4	<1,0	<1,0	<0,2	17,0	11,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50

Tab. 11-3: Analyseergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 und PAK-Gehalte im Feststoff (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK mg/kg TS	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
97	1,6	11,6	911	55,6	3,8	<1,0	<1,0	<0,2	9,8	5,8	<3,0	<2,0	<0,2	11,0	50,0
98	18,8	11,0	491	96,6	2,7	<1,0	<1,0	<0,2	7,3	11,0	<3,0	<2,0	<0,2	14,0	<50
99	0,8	12,0	2299	22,3	28,8	<1,0	3,1	<0,2	21,0	7,1	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
100	2,5	11,6	1224	216	4,7	<1,0	2,2	<0,2	19,0	5,6	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
101	4,8	11,8	1408	33,1	5,9	<1,0	1,5	<0,2	11,0	7,7	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
102	10,8	10,1	666	294	6,2	1,7	<1,0	<0,2	1,9	3,2	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
103	14,8	11,8	1545	85,1	6,9	<1,0	1,5	<0,2	15,0	8,6	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
104	4,2	12,0	2283	11,5	11,8	<1,0	5,6	<0,2	10,0	11,0	<3,0	2,2	<0,2	<3,0	<50
105	30,5	11,8	1461	90,8	6,2	<1,0	5,0	<0,2	31,0	21,0	<3,0	3,3	<0,2	<3,0	<50
106	1,4	12,1	2231	20,7	6,1	<1,0	4,4	<0,2	18,0	35,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	73,0
107	3,1	10,5	2491	2287	14,9	1,1	1,4	<0,2	15,0	43,0	<3,0	<2,0	<0,2	25,0	54,0
108	0,8	11,3	1570	137	1,2	<1,0	4,1	<0,2	35,0	26,0	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	67,0
109	24,9	8,5	537	260	0,9	1,6	6,2	<0,2	1,8	14,0	<3,0	2,8	<0,2	<3,0	<50
110	4,6	11,5	917	168	5,0	<1,0	2,0	<0,2	5,6	7,1	<3,0	<2,0	<0,2	10,0	<50
111	13,8	11,5	755	43,5	2,9	1,3	1,1	<0,2	6,3	14,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
112	135	11,6	994	28,9	2,0	<1,0	1,7	<0,2	7,3	7,3	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
113	24	10,7	530	179	2,1	<1,0	1,6	<0,2	5,9	31,0	<3,0	2,3	<0,2	<3,0	73,0
114	72	10,1	132	20,8	1,6	<1,0	3,9	<0,2	1,7	39,0	<3,0	8,0	<0,2	<3,0	123
115	5,2	11,5	1276	208	10,7	<1,0	<1,0	<0,2	14,0	12,0	<3,0	<2,0	<0,2	10,0	<50
116	3,4	11,8	1588	24,1	8,9	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	7,6	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
117	39,3	10,9	358	33,7	5,8	1,2	1,5	<0,2	3,4	2,9	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
118	18,2	9,0	1073	645	6,4	1,6	<1,0	<0,2	1,7	3,4	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
119	66	11,1	910	172	11,2	<1,0	<1,0	<0,2	19,0	9,5	<3,0	3,0	<0,2	11,0	<50
120	7,5	11,4	1035	92,2	36,3	<1,0	<1,0	<0,2	15,0	5,9	11,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
121	2,1	11,4	777	32,2	2,9	<1,0	5,1	<0,2	11,0	<1,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
122	30	11,7	1321	31,0	3,4	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	9,1	<3,0	2,3	<0,2	<3,0	<50
123	9,6	11,6	972	50,3	5,0	<1,0	<1,0	<0,2	11,0	6,2	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
124	2,5	11,9	1734	20,7	3,6	<1,0	<1,0	<0,2	15,0	13,0	<3,0	3,1	<0,2	<3,0	<50
125	1,6	10,7	267	32,5	2,8	<1,0	<1,0	<0,2	6,0	4,2	<3,0	<2,0	<0,2	22,0	<50
126	13,6	11,9	1840	22,5	14,0	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	9,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
127	2,2	11,1	704	154	6,4	<1,0	<1,0	<0,2	11,0	9,9	<3,0	<2,0	<0,2	15,0	<50
128	2,9	12,8	1248	24,9	8,9	<1,0	<1,0	<0,2	8,5	4,9	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
129	14,5	11,9	426	52,9	5,7	<1,0	<1,0	<0,2	3,4	8,0	<3,0	<2,0	<0,2	12,0	<50
130	13,1	11,7	1019	38,4	3,6	<1,0	<1,0	<0,2	4,1	5,1	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
131	2,2	10,2	1180	612	7,4	<1,0	<1,0	<0,2	6,6	2,5	<3,0	<2,0	<0,2	20,0	<50
132	1,5	11,2	392	13,7	1,6	2,5	<1,0	<0,2	3,8	4,6	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
133	1,2	12,3	3640	5,1	1,3	<1,0	2,7	<0,2	7,0	3,9	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
134	3,4	11,7	1195	61,5	6,2	<1,0	<1,0	<0,2	8,5	8,9	<3,0	2,4	<0,2	<3,0	<50
135	4,7	11,8	1389	45,2	4,7	<1,0	<1,0	<0,2	9,6	8,4	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
136	2,2	11,2	462	19,6	0,6	1,6	<1,0	<0,2	2,6	6,4	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
137	1,7	11,1	790	153	5,7	1,4	<1,0	<0,2	7,0	6,4	<3,0	<2,0	<0,2	24,0	<50
138	2,3	10,9	374	45,4	0,8	3,5	<1,0	<0,2	4,1	4,1	<3,0	<2,0	<0,2	12,0	<50
139	34,6	10,3	122	11,0	0,8	4,0	<1,0	<0,2	1,1	5,5	<3,0	<2,0	<0,2	12,0	<50
140	8,8	10,5	1484	992	2,3	1,9	<1,0	<0,2	3,7	8,8	<3,0	3,5	<0,2	22,0	<50
141	2,7	9,7	1583	946	7,4	<1,0	<1,0	<0,2	5,3	6,2	<3,0	<2,0	<0,2	20,0	<50
142	2,9	11,1	415	31,6	2,2	1,3	<1,0	<0,2	4,9	3,5	<3,0	<2,0	<0,2	13,0	<50
143	2,8	11,4	714	65,6	2,0	<1,0	<1,0	<0,2	7,4	4,7	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
144	2,5	10,7	2316	1380	22,3	<1,0	<1,0	<0,2	25,0	9,5	<3,0	<2,0	<0,2	24,0	<50

Tab. 11-4: Analyseergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 und PAK-Gehalte im Feststoff (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK mg/kg TS	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
145	2,5	11,3	740	104	2,7	<1,0	<1,0	<0,2	9,4	6,5	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
146	14,4	11,7	1679	102	12,6	<1,0	<1,0	<0,2	19,0	6,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
147	2,6	11,9	1980	22,6	6,2	2,5	<1,0	<0,2	17,0	11,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
148	3,3	11,5	1161	204	6,9	1,2	<1,0	<0,2	11,0	9,3	<3,0	<2,0	<0,2	13,0	<50
149	3,6	11,5	1425	410	3,5	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	5,1	<3,0	<2,0	<0,2	13,0	<50
150	7,8	11,5	1050	80,0	4,6	2,4	<1,0	<0,2	8,6	7,9	<3,0	<2,0	<0,2	14,0	<50
151	7	11,3	774	102	2,7	2,4	<1,0	<0,2	8,0	7,4	<3,0	<2,0	<0,2	26,0	<50
152	11,9	11,4	871	105	6,2	1,2	<1,0	<0,2	11,0	6,5	<3,0	<2,0	<0,2	24,0	<50
153	119	11,4	743	57,2	4,8	1,4	<1,0	<0,2	5,4	4,6	<3,0	<2,0	<0,2	17,0	<50
154	10,9	8,6	1176	624	1,4	5,1	<1,0	<0,2	2,3	2,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
155	2,4	11,0	534	78,1	1,7	2,6	<1,0	<0,2	4,8	3,5	<3,0	<2,0	<0,2	24,0	<50
156	17,4	11,3	865	110	5,9	1,7	<1,0	<0,2	7,8	3,6	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
157	9,6	11,3	745	73,0	3,3	3,4	<1,0	<0,2	4,7	5,2	<3,0	<2,0	<0,2	14,0	<50
Min	n.n.	8,2	59,6	1,3	<0,5	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	<1,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
Max	149	12,8	4000	2287	128	9,8	5,1	<0,2	66,0	92,0	13,0	12,0	<0,2	40,0	590
Mittel	9,9	11,1	1134	208	5,9	<1,0	<1,0	<0,2	11,2	8,4	<3,0	<2,0	<0,2	10,6	<50
10 P. ¹	0,2	9,9	334	10,7	0,8	<1,0	<1,0	<0,2	2,0	3,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
25 P. ¹	1,2	10,9	635	22,3	1,7	<1,0	<1,0	<0,2	5,3	4,1	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
50 P. ¹	3,1	11,4	1073	50,7	3,7	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	6,2	<3,0	<2,0	<0,2	10,0	<50
75 P. ¹	7,9	11,8	1549	179	6,4	1,2	1,0	<0,2	15,0	9,1	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
80 P. ¹	12,9	11,8	1618	246	7,1	1,3	1,5	<0,2	17,0	9,9	<3,0	<2,0	<0,2	19,8	<50
90 P. ¹	24,4	11,9	1966	649	10,3	1,8	2,2	<0,2	21,0	14,0	4,0	3,2	<0,2	25,0	<50

1 Perzentil

Tab. 12-1: Analyseergebnisse nach Elution im Säulenverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK µg/l	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
1	0,3	8,1	109	9,7	<0,5	1,8	2,0	<0,2	1,2	4,5	<3,0	2,4	-	4,0	<50
2	0,1	8,8	455	323	3,5	10,0	<1,0	<0,2	1,3	3,9	<3,0	<2,0	-	39,0	<50
3	0,3	11,5	2673	101	687	<1,0	2,5	<0,2	28,0	15,0	5,4	2,2	-	16,0	<50
4	0,2	8,9	1759	1469	6,1	3,2	<1,0	<0,2	3,7	10,0	6,3	<2,0	-	<3,0	<50
5	0,7	11,7	1309	17,9	20,7	<1,0	1,6	<0,2	37,0	30,0	4,0	<2,0	-	<3,0	<50
6	0,7	10,8	434	80,6	3,5	1,2	1,2	<0,2	8,0	20,0	4,0	<2,0	-	49,0	<50
7	0,5	8,1	263	118	24,1	2,1	2,7	<0,2	<1,0	<2,0	5,0	<2,0	-	<3,0	<50
8	1,1	11,7	1552	69,4	23,1	<1,0	1,5	<0,2	24,0	40,0	7,8	<2,0	-	<3,0	<50
9	0,4	11,5	1476	233	31,8	<1,0	2,6	<0,2	30,0	20,0	4,1	<2,0	-	<3,0	<50
10	2,4	11,4	710	63,3	9,4	<1,0	3,8	<0,2	20,0	20,0	<3,0	<2,0	-	<3,0	<50
11	1,2	11,3	705	33,4	6,7	1,4	1,3	<0,2	9,7	20,0	3,6	<2,0	-	43,0	<50
12	1,7	12,0	2318	24,0	35,7	<1,0	2,2	<0,2	35,0	37,0	10,0	8,1	-	<3,0	117
13	1,2	11,4	820	58,3	9,9	<1,0	3,9	<0,2	9,2	10,0	8,0	<2,0	-	16,0	<50
14	0,3	9,1	2743	2385	48,6	3,4	<1,0	<0,2	20,0	11,0	26,0	<2,0	-	19,0	63,0
15	1,3	8,7	105	12,4	0,9	1,8	<1,0	<0,2	<1,0	9,0	4,8	<2,0	-	5,9	<50
16	0,3	8,6	1860	1198	34,1	5,5	<1,0	<0,2	6,9	7,9	13,0	<2,0	-	27,0	<50
17	0,6	8,5	199	43,8	1,1	2,8	<1,0	<0,2	1,8	5,8	11,0	<2,0	-	10,0	<50
18	1,2	12,4	4510	11,2	8,9	<1,0	<1,0	<0,2	28,0	53,0	28,0	10,0	-	<3,0	<50
19	0,3	9,1	2737	2259	42,7	3,0	<1,0	<0,2	21,0	12,0	53,0	3,9	-	44,0	<50
20	1,6	11,4	757	61,2	13,2	<1,0	<1,0	<0,2	24,0	82,0	18,0	2,6	-	19,0	<50
21	3,2	12,3	3870	4,9	27,4	<1,0	1,1	<0,2	18,0	20,0	4,7	6,2	-	<3,0	<50
22	1,4	11,7	1257	46,1	10,1	1,8	<1,0	<0,2	9,0	7,6	5,0	<2,0	-	13,0	<50
23	0,4	11,4	906	57,4	40,4	1,6	<1,0	<0,2	15,0	7,6	62,0	<2,0	-	37,0	<50
24	4,9	11,6	1479	195	42,8	<1,0	<1,0	<0,2	64,0	53,0	11,0	3,5	-	17,0	<50
25	5,1	11,7	1470	60,5	10,8	<1,0	<1,0	<0,2	36,0	48,0	8,0	5,9	-	8,2	<50
26	0,8	12,1	3010	7,7	16,6	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	21,0	3,7	4,1	-	<3,0	<50
27	1,3	11,6	1282	94,7	12,7	<1,0	<1,0	<0,2	15,0	20,0	6,0	4,8	-	13,0	<50
28	0,9	11,8	1908	17,9	18,8	<1,0	<1,0	<0,2	34,0	17,0	4,5	4,0	-	3,1	<50
29	0,9	11,5	975	32,0	18,2	<1,0	<1,0	<0,2	17,0	43,0	<3,0	2,2	-	11,0	<50
30	4,1	8,4	219	42,8	5,4	10,0	<1,0	<0,2	1,2	7,2	<3,0	<2,0	-	7,5	<50
31	0,8	8,7	134	13,3	2,0	4,5	<1,0	<0,2	1,2	4,1	<3,0	<2,0	-	3,4	<50
32	0,6	11,4	843	14,8	5,1	<1,0	<1,0	<0,2	8,5	3,8	<3,0	<2,0	-	10,0	<50
33	1,3	9,6	2131	1742	31,4	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	7,4	11,0	<2,0	-	23,0	<50
34	4,5	11,7	1983	13,8	5,4	<1,0	9,2	<0,2	22,0	9,3	<3,0	2,6	-	3,6	<50
35	0,7	12,0	3060	8,5	2,0	<1,0	1,3	<0,2	28,0	2,5	4,9	<2,0	-	3,4	<50
36	5,2	10,1	224	35,7	5,6	3,8	1,3	<0,2	1,3	5,7	16,0	<2,0	-	23,0	<50
37	0,3	8,6	641	327	2,0	<1,0	<1,0	<0,2	4,4	4,7	9,0	2,2	-	8,6	<50
38	0,6	10,0	1437	1124	7,3	3,2	<1,0	<0,2	18,0	9,7	6,4	<2,0	-	35,0	<50
39	0,5	8,8	814	1010	1,4	2,1	1,0	<0,2	6,0	3,7	<3,0	<2,0	-	25,0	<50
40	0,4	10,7	297	15,5	1,3	1,8	<1,0	<0,2	15,8	6,5	27,0	<2,0	-	20,0	<50
41	1,3	9,0	130	27,3	0,8	8,6	1,2	<0,2	4,1	3,6	23,0	<2,0	-	18,0	<50
42	1,7	10,4	1964	1567	14,1	<1,0	<1,0	<0,2	92,0	7,1	5,8	<2,0	-	49,0	<50
43	4,8	11,4	1188	13,2	3,7	<1,0	<1,0	<0,2	30,0	8,6	<3,0	2,2	-	6,3	<50
44	1,0	9,8	237	15,6	2,1	<1,0	2,1	<0,2	12,8	5,1	42,0	<2,0	-	11,0	<50
45	0,4	12,2	3450	4,8	2,4	<1,0	1,3	<0,2	7,8	5,4	6,6	<2,0	-	7,2	<50
46	2,3	10,8	580	69,9	6,2	<1,0	<1,0	<0,2	22,0	4,6	<3,0	<2,0	-	13,0	<50
47	0,7	9,7	751	606	1,3	2,6	<1,0	<0,2	12,0	3,2	5,7	<2,0	-	33,0	<50
48	0,1	9,8	348	115	3,0	2,5	1,7	<0,2	12,0	4,9	<3,0	<2,0	-	16,0	<50

Tab. 12-2: Analyseergebnisse nach Elution im Säulenverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK µg/l	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
49	0,3	9,7	982	1632	30,8	1,8	<1,0	<0,2	16,2	4,4	<3,0	<2,0		14,0	<50
50	0,6	11,8	1505	10,2	40,4	<1,0	<1,0	<0,2	26,0	13,0	<3,0	3,2		6,8	<50
51	1,6	11,6	1018	44,9	12,2	<1,0	<1,0	<0,2	11,0	9,6	<3,0	3,7		15,0	<50
52	2,6	11,0	1554	1461	23,6	3,4	<1,0	<0,2	70,0	6,3	6,4	<2,0		46,0	<50
53	0,8	9,9	870	418	28,0	1,7	1,7	<0,2	24,0	7,8	8,5	<2,0		51,0	62,0
54	1,2	11,2	1120	193	13,2	<1,0	<1,0	<0,2	44,0	4,5	<3,0	2,2		25,0	<50
55	1,8	11,1	1388	1206	14,7	<1,0	<1,0	<0,2	110	5,9	7,2	<2,0		35,0	<50
56	5,0	11,7	1267	77,2	14,2	<1,0	<1,0	<0,2	28,0	13,0	3,4	3,5		7,2	<50
57	0,3	9,7	878	846	17,0	1,9	<1,0	<0,2	12,0	4,6	5,4	<2,0		11,0	<50
58	0,5	12,0	2056	6,9	2,0	<1,0	<1,0	<0,2	15,8	9,6	<3,0	2,3		<3,0	<50
59	1,0	10,9	304	16,6	3,5	6,9	<1,0	<0,2	6,4	8,1	<3,0	<2,0		19,0	<50
60	0,5	9,0	105	13,0	<0,5	4,2	<1,0	<0,2	<1,0	5,7	<3,0	2,9		5,0	<50
61	0,2	8,6	1442	2330	0,8	3,5	<1,0	<0,2	12,0	11,0	6,0	7,4		11,0	134
62	1,4	8,9	76,0	3,7	<0,5	1,3	<1,0	<0,2	<1,0	2,8	<3,0	<2,0		4,6	<50
63	1,0	11,1	376	23,7	2,2	2,5	<1,0	<0,2	8,8	13,0	<3,0	3,9		14,0	<50
64	1,2	10,5	755	445	5,4	3,5	1,7	<0,2	36,0	10,0	4,5	22,0		17,0	98,0
65	1,6	11,6	990	180	8,9	<1,0	<1,0	<0,2	13,0	19,0	7,4	6,4		14,0	<50
66	1,5	9,9	1180	606	19,5	2,2	1,0	<0,2	8,8	11,0	15,0	7,5		28,0	<50
67	2,6	11,9	1632	12,8	7,5	<1,0	1,0	<0,2	23,0	44,0	8,3	8,9		5,3	<50
68	0,4	10,8	632	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	1,3	10,5	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	1,1	11,8	1663	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	0,8	10,5	595	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	0,5	11,2	485	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	0,5	10,2	1117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	2,1	11,7	1389	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	2,0	11,8	1755	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	2,7	12,0	2840	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	1,8	11,4	1752	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	1,0	11,8	1740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
79	1,7	11,9	2116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	2,4	12,0	2206	5,6	6,8	<1,0	<1,0	<0,2	6,2	48,0	<3,0	5,3	<0,2	<3,0	<50
81	0,1	9,9	1094	468	17,5	1,8	<1,0	<0,2	7,3	4,7	<3,0	3,4	<0,2	10,0	<50
82	0,6	12,0	2139	19,2	9,1	<1,0	<1,0	<0,2	19,0	7,3	<3,0	2,6	<0,2	<3,0	84,0
83	0,4	9,2	115	281	2,0	1,8	<1,0	<0,2	<1,0	15,0	<3,0	2,5	<0,2	<3,0	125
84	0,5	10,7	510	158	23,9	<1,0	<1,0	<0,2	15,0	9,0	<3,0	<2,0	<0,2	13,0	<50
85	0,5	11,5	1063	61,9	10,5	<1,0	2,0	<0,2	18,0	15,0	<3,0	6,1	<0,2	16,0	212
86	0,1	9,1	2062	684	46,3	1,4	1,0	<0,2	11,0	17,0	<3,0	3,2	<0,2	35,0	70,0
87	0,9	11,3	681	58,0	4,0	9,4	3,6	<0,2	23,0	12,0	<3,0	2,2	<0,2	25,0	50,0
88	0,5	9,2	219	66,4	1,5	<1,0	1,0	<0,2	8,2	2,7	<3,0	<2,0	<0,2	10,0	<50
89	1,4	9,1	61,8	6,5	0,6	<1,0	1,9	<0,2	1,7	5,6	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
90	2,9	12,3	3810	5,4	4,6	<1,0	1,0	<0,2	12,0	14,0	<3,0	4,9	<0,2	<3,0	<50
91	0,1	8,7	663	281	2,2	2,2	<1,0	<0,2	5,0	12,0	<3,0	2,6	<0,2	<3,0	<50
92	0,1	9,2	64,2	6,2	0,7	1,5	<1,0	<0,2	1,1	5,8	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
93	0,5	11,5	87,4	40,1	10,3	1,2	<1,0	<0,2	16,0	22,0	<3,0	3,7	<0,2	12,0	60,0
94	0,1	8,5	2391	1317	31,1	3,2	<1,0	<0,2	5,5	6,8	<3,0	<2,0	<0,2	16,0	<50
95	0,6	10,8	2538	1667	17,9	<1,0	1,5	<0,2	40,0	38,0	<3,0	6,9	<0,2	29,0	<50
96	0,8	11,4	1179	239	10,2	2,3	<1,0	<0,2	31,0	28,0	<3,0	5,2	<0,2	16,0	<50

Tab. 12-3: Analyseergebnisse nach Elution im Säulenverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK µg/l	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
97	0,5	11,4	736	44,3	7,1	<1,0	2,0	0,3	9,0	14,0	<3,0	3,8	<0,2	<3,0	660
98	0,9	11,0	653	155	6,0	<1,0	5,8	<0,2	13,0	25,0	<3,0	5,9	<0,2	18,0	80,0
99	2,6	12,3	4290	12,4	47,2	19,0	6,3	<0,2	22,0	39,0	<3,0	6,5	<0,2	<3,0	100
100	1,5	11,5	1622	379	13,3	1,1	1,3	<0,2	36,0	44,0	<3,0	5,5	<0,2	<3,0	70,0
101	2,5	11,9	1607	22,1	10,1	<1,0	1,9	<0,2	9,8	16,0	<3,0	3,5	<0,2	<3,0	<50
102	0,2	9,0	1131	304	10,8	2,4	<1,0	<0,2	3,8	4,7	<3,0	<2,0	<0,2	11,0	<50
103	1,4	11,8	1635	34,1	10,6	<1,0	3,4	<0,2	17,0	22,0	<3,0	9,0	<0,2	<3,0	<50
104	4,3	12,1	2750	30,7	21,9	<1,0	2,9	<0,2	7,8	51,0	<3,0	4,8	<0,2	<3,0	620
105	4,6	11,8	1882	99,5	21,0	1,3	2,5	<0,2	66,0	66,0	<3,0	16,1	<0,2	<3,0	<50
106	1,8	12,3	3920	46,0	15,5	<1,0	4,5	<0,2	23,0	12,0	<3,0	6,0	<0,2	27,0	<50
107	0,6	9,0	2872	3255	42,9	1,0	<1,0	<0,2	28,0	25,0	<3,0	2,6	<0,2	26,0	<50
108	1,1	11,0	1724	907	25,6	<1,0	2,4	<0,2	32,0	10,0	<3,0	4,1	<0,2	14,0	<50
109	0,1	6,8	1333	475	1,0	<1,0	<1,0	<0,2	1,9	3,6	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
110	0,6	11,3	1036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	0,5	11,4	911	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
112	0,9	11,1	1255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	0,1	10,9	650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	0,9	9,0	196	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	1,7	11,4	1495	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	1,3	11,9	2111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	3,1	10,5	588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
118	0,2	7,5	1570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
119	1,8	10,8	1349	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120	3,0	11,3	1523	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
121	0,6	11,2	1108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
122	4,0	11,6	1818	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
123	2,2	11,4	1483	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
124	0,6	12,0	2321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	0,2	10,1	608	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
126	10,2	12,0	2452	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
127	0,2	10,7	1309	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
128	1,0	13,4	2099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
129	1,2	12,0	700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130	2,9	12,0	1434	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
131	0,4	9,4	1653	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
132	1,9	10,9	839	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
133	1,8	12,3	5164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
134	0,7	11,7	1578	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	3,3	11,7	1813	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
136	0,5	10,6	436	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
137	2,0	10,8	873	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	0,8	10,5	583	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
139	3,4	9,5	196	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	0,4	9,8	2208	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
141	0,3	9,3	1940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	0,5	10,8	617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
143	0,7	11,2	786	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
144	1,3	10,2	3010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 12-4: Analyseergebnisse nach Elution im Säulenverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	PAK µg/l	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Quecksilber µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
145	0,6	11,0	1143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
146	3,6	11,3	2359	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
147	4,8	11,9	2496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
148	1,7	11,4	1235	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
149	1,1	11,8	1612	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	3,8	11,4	1347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
151	0,8	11,1	924	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
152	2,0	11,0	1184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	1,4	11,8	884	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
154	0,1	7,1	1674	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	0,2	10,6	810	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
156	1,0	11,1	1624	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	1,7	11,1	1233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Min	0,1	6,8	61,8	3,7	<0,5	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	<2,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
Max	10,2	13,4	5164	3255	687	19,0	9,2	0,3	110	82,0	62,0	22,0	<0,2	51,0	660
Mittel	1,4	10,7	1371	383	20,5	1,7	<1,0	<0,2	18,6	16,0	5,6	2,7	<0,2	13,6	<50
10 P. ¹	0,2	8,8	232	9,0	1,2	<1,0	<1,0	<0,2	1,3	4,0	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
25 P. ¹	0,5	9,8	681	17,3	3,5	<1,0	<1,0	<0,2	7,2	5,7	<3,0	<2,0	<0,2	<3,0	<50
50 P. ¹	1,0	11,1	1255	63,3	10,1	<1,0	<1,0	<0,2	14,0	10,0	<3,0	2,2	<0,2	11,0	<50
75 P. ¹	1,8	11,7	1813	399	20,7	2,2	1,5	<0,2	24,0	20,0	6,4	4,0	<0,2	19,0	<50
80 P. ¹	2,0	11,8	2041	606	23,8	2,6	1,7	<0,2	28,0	21,8	8,0	4,9	<0,2	24,6	<50
90 P. ¹	3,2	12,0	2592	1403	34,7	3,6	2,5	<0,2	36,0	41,2	13,8	6,4	<0,2	35,0	74,0

1 Perzentil

Tab. 13-1: Analyseergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
1	8,8	162	40,8	3,9	1,2	<1,0	<0,2	<1,0	2,4	<3,0	<2,0	3,0	<50
2	10,0	836	465	5,8	3,7	<1,0	<0,2	11,0	5,0	7,5	<2,0	65,0	<50
3	11,7	3690	158	862	<1,0	3,9	<0,2	37,0	23,0	9,4	2,1	12,0	<50
4	9,9	2425	2131	14,6	1,9	<1,0	<0,2	14,0	6,6	9,9	<2,0	25,0	<50
5	11,8	1795	32,3	35,4	<1,0	2,5	<0,2	41,0	16,0	4,6	5,7	4,0	<50
6	11,0	1241	558	6,8	1,3	<1,0	<0,2	12,0	5,1	<3,0	<2,0	22,0	<50
7	9,1	490	133	41,8	1,0	1,4	<0,2	1,8	<2,0	7,5	<2,0	6,0	<50
8	11,9	2144	43,7	61,7	<1,0	8,2	<0,2	22,0	15,0	6,7	4,6	3,0	<50
9	11,6	1593	199	24,5	<1,0	1,1	<0,2	31,0	6,9	7,0	2,6	5,0	<50
10	11,8	1664	61,9	19,6	<1,0	3,9	<0,2	25,0	7,3	<3,0	2,5	<3,0	<50
11	11,4	939	133	9,7	<1,0	<1,0	<0,2	18,0	9,5	5,7	<2,0	23,0	<50
12	11,9	2511	25,5	42,8	<1,0	2,0	<0,2	34,0	21,0	10,0	9,4	<3,0	<50
13	11,5	1102	112	16,2	<1,0	2,4	<0,2	16,0	5,4	4,8	2,4	9,2	<50
14	9,7	2826	2397	49,9	1,8	<1,0	<0,2	37,0	8,6	25,0	<2,0	28,0	<50
15	8,8	133	45,1	2,4	1,9	<1,0	<0,2	1,1	2,6	6,4	<2,0	6,3	<50
16	9,7	2025	1656	49,8	1,8	<1,0	<0,2	12,0	5,9	13,0	<2,0	51,0	<50
17	9,5	198	58,3	2,8	1,8	<1,0	<0,2	4,5	3,2	12,0	<2,0	21,0	<50
18	12,2	5140	11,2	7,6	<1,0	<1,0	<0,2	21,0	27,0	17,0	7,6	<3,0	<50
19	9,7	2805	2141	46,3	<1,0	<1,0	<0,2	23,0	11,0	57,0	3,4	63,0	<50
20	11,6	1305	65,4	16,0	<1,0	<1,0	<0,2	30,0	61,0	17,0	2,2	15,0	<50
21	12,3	4570	3,9	28,4	<1,0	1,0	<0,2	17,0	16,0	4,9	4,7	<3,0	<50
22	11,8	1744	61,4	11,7	1,6	<1,0	<0,2	16,0	6,9	7,1	<2,0	9,0	<50
23	11,5	1070	82,3	22,8	1,2	<1,0	<0,2	22,0	7,2	13,0	<2,0	33,0	<50
24	11,7	1871	133	38,6	<1,0	<1,0	<0,2	61,0	34,0	10,0	3,2	19,0	<50
25	12,0	2190	31,0	15,4	<1,0	<1,0	<0,2	29,0	34,0	4,8	8,7	<3,0	<50
26	12,4	5260	3,5	21,0	<1,0	1,8	<0,2	7,7	9,9	3,6	<2,0	<3,0	71,0
27	12,0	1964	88,2	16,2	<1,0	<1,0	<0,2	29,0	40,0	13,0	4,8	8,5	<50
28	12,1	2486	10,7	21,2	<1,0	<1,0	<0,2	35,0	15,0	5,0	3,9	<3,0	<50
29	11,8	1689	40,1	22,4	<1,0	1,4	<0,2	35,0	47,0	7,5	2,5	5,9	<50
30	9,9	258	56,3	6,8	15,0	<1,0	<0,2	4,5	10,0	10,0	<2,0	34,0	<50
31	8,1	158	16,3	2,7	8,8	<1,0	<0,2	1,8	3,2	4,5	<2,0	5,1	<50
32	11,8	1429	35,7	6,5	<1,0	<1,0	<0,2	16,0	4,3	5,7	<2,0	6,4	<50
33	10,4	2648	2432	36,0	<1,0	<1,0	<0,2	23,0	16,0	25,0	2,4	37,0	<50
34	12,1	2957	8,0	10,5	<1,0	1,9	<0,2	25,0	14,0	<3,0	3,5	<3,0	<50
35	12,4	4850	3,9	<0,5	<1,0	1,2	<0,2	10,0	7,3	6,9	<2,0	<3,0	128
36	10,6	316	78,0	7,3	<1,0	<1,0	<0,2	2,1	6,2	7,6	<2,0	31,0	<50
37	9,5	766	558	5,6	<1,0	<1,0	<0,2	2,4	4,9	<3,0	<2,0	12,0	<50
38	10,7	2270	1865	7,8	<1,0	<1,0	<0,2	22,0	13,0	8,6	2,1	40,0	<50
39	10,2	2076	2068	2,1	<1,0	<1,0	<0,2	12,0	7,5	6,3	<2,0	67,0	<50
40	11,6	1243	36,3	3,4	<1,0	2,0	<0,2	20,0	4,6	<3,0	<2,0	10,0	<50
41	10,7	342	95,4	2,2	2,7	1,0	<0,2	9,0	5,1	3,5	<2,0	47,0	<50
42	10,8	2600	2205	19,8	<1,0	<1,0	<0,2	78,0	10,0	10,0	<2,0	50,0	<50
43	11,8	2755	7,3	9,5	<1,0	3,1	<0,2	19,0	9,7	6,9	3,1	3,0	<50
44	11,3	733	40,4	5,1	<1,0	2,4	<0,2	13,0	6,7	<3,0	<2,0	20,0	<50
45	12,3	5500	9,9	1,7	<1,0	29,0	<0,2	8,3	8,0	9,2	2,1	7,5	73,0
46	11,3	2094	1139	8,3	<1,0	1,5	<0,2	32,0	10,0	9,6	2,3	17,0	<50
47	11,0	1174	546	4,1	1,4	<1,0	<0,2	33,0	6,7	6,9	<2,0	58,0	<50
48	10,5	708	310	8,4	1,4	<1,0	<0,2	16,0	7,1	5,6	<2,0	56,0	<50

Tab. 13-2: Analyseergebnisse nach Elution im Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 (mit statistischer Auswertung)

Proben-Nr.	pH	El. Leitf. µS/cm	Sulfat mg/l	Chlorid mg/l	Arsen µg/l	Blei µg/l	Cadmium µg/l	Chrom µg/l	Kupfer µg/l	Molybdän µg/l	Nickel µg/l	Vanadium µg/l	Zink µg/l
49	10,8	2639	2916	46,1	<1,0	<1,0	<0,2	36,0	15,0	14,0	3,1	44,0	<50
50	12,2	2778	8,5	73,4	<1,0	1,5	<0,2	24,0	18,0	12,0	5,0	7,5	<50
51	11,9	1610	79,5	19,1	<1,0	1,7	<0,2	18,0	15,0	8,7	4,8	11,0	<50
52	11,0	2660	1702	36,5	<1,0	<1,0	<0,2	76,0	11,0	21,0	4,5	59,0	<50
53	10,7	1485	802	37,7	<1,0	<1,0	<0,2	21,0	8,0	3,4	2,2	43,0	<50
54	11,5	1395	357	17,4	<1,0	<1,0	<0,2	43,0	7,3	12,0	5,2	23,0	<50
55	11,2	2740	1681	22,2	<1,0	<1,0	<0,2	106	8,0	17,0	4,6	45,0	<50
56	12,0	2126	40,0	22,3	2,6	<1,0	<0,2	37,0	17,0	5,8	4,4	<3,0	<50
57	10,2	2364	693	21,4	1,2	<1,0	<0,2	32,0	7,3	12,0	<2,0	30,0	<50
58	12,3	3550	4,9	2,0	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	9,7	5,1	2,2	<3,0	<50
59	10,9	304	59,0	158	3,2	<1,0	<0,2	3,5	11,0	8,3	3,0	28,0	<50
60	8,9	177	69,9	0,7	1,9	<1,0	<0,2	<1,0	5,6	<3,0	2,3	3,6	<50
61	9,3	2327	1965	1,2	3,4	<1,0	<0,2	2,2	4,7	4,1	<2,0	18,0	<50
62	9,1	106	8,8	1,0	1,2	<1,0	<0,2	<1,0	<2,0	<3,0	<2,0	3,6	<50
63	11,6	770	38,2	2,3	1,4	<1,0	<0,2	3,9	33,0	4,0	4,1	13,0	<50
64	10,8	1273	552	9,7	<1,0	2,6	<0,2	8,5	11,0	11,0	6,0	23,0	<50
65	11,8	1407	173	19,4	<1,0	<1,0	<0,2	17,0	18,0	13,0	5,0	11,0	<50
66	10,6	1066	357	18,0	1,2	<1,0	<0,2	4,5	10,0	10,0	4,9	23,0	<50
67	12,1	1883	12,5	7,8	<1,0	<1,0	<0,2	13,0	45,0	14,0	7,6	3,2	<50
Min	8,1	106	3,5	<0,5	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	<2,0	<3,0	<2,0	<3,0	<50
Max	12,4	5500	2916	862	15,0	29,0	<0,2	106	61,0	57,0	8,7	67,0	128
Mittel	11,0	1872	507	32,6	<1,0	<1,0	<0,2	22,5	14,6	9,3	<2,0	20,3	<50
10 P. ¹	9,4	286	8,7	2,2	<1,0	<1,0	<0,2	2,7	4,8	<3,0	<2,0	<3,0	<50
25 P. ¹	10,3	1003	36,0	5,7	<1,0	<1,0	<0,2	10,0	7,2	4,3	<2,0	3,6	<50
50 P. ¹	11,3	1744	79,5	15,4	<1,0	<1,0	<0,2	18,5	10,0	8,3	<2,0	14,0	<50
75 P. ¹	11,8	2556	555	23,7	<1,0	<1,0	<0,2	31,3	16,0	12,0	3,6	31,5	<50
80 P. ¹	11,9	2658	780	35,9	1,2	1,1	<0,2	33,4	18,0	13,0	4,4	38,2	<50
90 P. ¹	12,1	3194	2006	46,2	2,2	1,8	<0,2	37,0	33,7	17,0	5,0	50,7	<50

1 Perzentil

Tab. 14-1: Stoffliche Zusammensetzung der Kornfraktion ≥ 4 mm

Proben-Nr.	Beton	natürl. Mineralstoffe	Schlacke	Asphalt, -granulat	Ziegel, Steinzeug, Klinker	Kalksandstein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe (Holz, Gummi etc.)	Sonstiges (Glas, Keramik)	Feinanteil (<4 mm)	Grobananteil (> 32 mm)	Körnung 4-32 mm
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	31		44		0,1					4	71	24
2	10		10	2	2	3				18	26	57
3	5		8	0,4	1	0,06	0,04			18	40	42
4	3		3	12	0,4	0,2	0,2			22	41	37
5	5		0,4	0,9			0,01			7	51	41
6	36		4	6	1					16	42	43
7	13		8							7	55	37
8	5		7	4	2		0,05			15	42	43
9	9		2	5	8		0,1			25	35	40
10	6		2	2	0,6	0,03	0,06			6	86	8
11	4		6	0,05			0,02			14	47	39
12	3		0,5	0,7			0,02			4	42	54
13	13		18	0,8						6	50	44
14	5		1	6	6		0,01			11	35	54
15	9		58							7	63	31
16	2		0,5	11			0,05			6	29	65
17	4		40	0,02	0,2					1	48	51
18	3		4	0,2						1	46	53
19	2		0,5	7	0,3		0,08			5	36	59
20	8		35	0,02			0,1			13	63	24
21	4		1	0,09						1	58	41
22	7		4	3			0,4			5	54	42
23	12	4		1						6	43	51
24	5		4	9		0,7	0,1			0,9	54	45
25	12		0,7	0,4			0,07			5	47	49
26	5			0,1	0,5					9	59	32
27	2		8	2	0,2	0,2	0,1			9	51	40
28	8		0,1	2						10	67	23
29	13		11	0,3						5	65	29
30	15		34	0,1		0,1				2	55	43
31			66								66	34
32	11		6	0,3			0,03			21	62	17
33	1		0,8	5		0,6	0,03	0,01	0,01	10	42	48
34	5		0,2	0,3						14	64	22
35			0,1	0,3						20	40	40
36	19		28				0,01	0,01	0,01	8	47	45
37	40		6	4	0,02		0,01			3	55	43
38	24		6	3	4	0,8	0,05	0,5	0,5	21	47	32
39	8		8	14	4	0,4	0,09	0,04	0,04	21	46	34
40	22									18	56	26
41	5		33	1						9	43	48
42	5		0,9	14		0,01	0,2	0,1	0,1	11	53	36
43	4		0,8	0,4						3	58	39
44	6		44	0,2						3	59	38
45	3		0,7	5			0,01			22	41	37
46	3		1	2	0,7		0,03			11	62	27

Tab. 14-2: Stoffliche Zusammensetzung der Kornfraktion ≥ 4 mm

Proben-Nr.	Beton	natürl. Mineralstoffe	Schlacke	Asphalt, -granulat	Ziegel, Steinzeug, Klinker	Kalksandstein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe (Holz, Gummi etc.)	Sonstiges (Glas, Keramik)	Feinanteil (<4 mm)	Grobananteil (> 32 mm)	Körnung 4-32 mm
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
47	9		0,7	32	6		0,05	0,4	0,4	9	64	28
48	16		7	3	0,9	0,3	0,8			9	47	44
49	14		1	11	2	0,01	0,3	3	3	11	45	44
50	4		2	0,7		0,09	0,06			8	52	40
51	2		0,1	0,4			0,06	0,02	0,02	15	45	40
52	0,6		2	8		0,6	0,4	0,2	0,2	4	44	51
53	4	0,5		2		0,03	0,2	0,4	0,4	10	44	46
54	6		4	3		0,09	0,01	0,8	0,8	17	46	37
55	4		3	18		2	0,01	4	4	23	53	24
56	3	3		0,4		0,4	0,01	0,04	0,04	21	55	24
57	6			12		0,3	0,2	1	1	2	57	41
58	2			1			0,08				52	48
59	9		14	0,8						3	44	53
60	4		31	0,2						4	45	51
61	7		2	3		0,2		0,3	0,3	10	33	57
62	5		39				0,01				54	46
63	2		16	0,2							46	54
64	9		18	3			0,2	0,1	0,1	19	61	21
65	5		22	5						13	54	33
66	5		22	0,7			0,03			6	49	45
67	7		9	0,1			0,9			2	46	52
68	25	8		8	7	0,2			0,02	52	6	41
69	14	11		27	2	0,1	0,02	0,02	0,7	45	19	36
70	34	6		2	0,9			0,05	0,4	57	16	27
71	29	4		2	7		0,01	0,04		58	10	32
72	39	11		13	1					36	14	50
73	31	1,0		2	16		0,2	0,01		49	13	38
74	61			0,2	4			0,1	0,1	35	35	30
75	46	3		0,07	2					49	9	42
76	39	14		0,3	1					46	9	44
77	40	0,7			42	8	0,3	0,2		9	5	87
78	38	6	0,1	7	0,3			0,04		49	16	35
79	43	5		2	0,8					49	2	49
80	36	7	0,2	1	0,3			0,01				
81	28	3	0,2	0,1	11		0,7	0,08	0,03			
82	44	2		0,7	3							
83	0,6	5		47								
84	46	3	0,1		16		0,3	0,04	2			
85	41	3		1	4		0,05	0,03				
86	22	6		0,8	23							
87	33	12		4	2	0,05		0,01				
88	21	11		0,6	57				0,6			
89	0,7	8		53	0,09							
90	50	6		4	0,1			0,06				
91	20	7	0,2	2	50		0,1	0,8	0,3			
92	0,6	6		45	0,03				0,05			

Tab. 14-3: Stoffliche Zusammensetzung der Kornfraktion ≥ 4 mm

Proben-Nr.	Beton	natürl. Mineralstoffe	Schlacke	Asphalt, -granulat	Ziegel, Steinzeug, Klinker	Kalksandstein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe (Holz, Gummi etc.)	Sonstiges (Glas, Keramik)	Feinanteil (<4 mm)	Grobananteil (> 32 mm)	Körnung 4-32 mm
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
93	44	11		6	2			0,09				
94	19	7		1	20		0,1	0,08	0,09			
95	24	4		1	4			0,2	0,5			
96	30	7		0,5	0,7		0,06	0,01	0,06			
97	33	10		0,4	3	0,9	0,04					
98	18	8		15	2							
99	44	2		0,06	0,2			0,01				
100	33	3		0,3	6			0,02				
101	21	10		12	0,2				0,02			
102	12	1		17	0,05							
103	38	5		11	0,1							
104	45	2		2				0,05				
105	28	2	0,1	0,3	0,5			0,04	0,08			
106	37	5		0,6	0,3	0,4	0,05	0,04				
107	36	1	0,2	0,8	8	0,3	0,1	0,2	0,1			
108	40	2	0,1		11		0,08	0,3				
109	28	5	0,5	10	0,8	0,4	0,06	0,01				
110	15	8		25	3		0,06	0,05				
111	22	4	0,2	10	0,5							
112	45	15	0,1	12	1	0,2		0,01				
113	27	4	4		3		0,3	0,05	0,02			
114	3	29		13	0,4			0,01				
115	31	5		11	5	0,6		0,02	0,02			
116	39	7		19	0,1			0,3				
117	31	10		13	0,4							
118	16	4	0,6	1	0,8	0,1		0,02	0,08			
119	29	7		2	3			0,09	0,04			
120	46	1		2	1				0,02			
121	56	19		3	0,2			0,02				
122	43			6	0,2							
123	45	1		13	0,5				0,4			
124	46	2		13	0,8				0,1			
125	43	15		0,7	6							
126	57	6		0,07	0,3			0,1	0,2			
127	49	9		3	5			0,05	0,5			
128	46	3		5	1							
129	39	2		12	3		0,03					
130	41	3		14	0,2							
131	45	0,5		0,6	8	0,8			0,9			
132	12	19		37	0,2	0,8						
133	56	0,3		0,7	0,6	0,6						
134	26	14		9	2			0,02	0,04			
135	37	2		4	2				0,4			
136	49	10		4				0,02	0,05			
137	25	14		3	9	2			0,04			
138	55	14			1	0,6			0,08			

Tab. 14-4: Stoffliche Zusammensetzung der Kornfraktion ≥ 4 mm

Proben-Nr.	Beton	natürl. Mineralstoffe	Schlacke	Asphalt, -granulat	Ziegel, Steinzeug, Klinker	Kalksandstein, Putze	Leichtbaustoffe	Fremdstoffe (Holz, Gummi etc.)	Sonstiges (Glas, Keramik)	Feinanteil (<4 mm)	Grobananteil (> 32 mm)	Körnung 4-32 mm
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
139	8	9		37	0,6							
140	40	3		3	4		0,08	0,6	0,07			
141	34	2		0,5	9	4	0,03		0,9			
142	40	0,5		4	0,5							
143	44			6	0,6		0,02					
144	30				9		3	0,08	0,09			
145	49	2		0,05	0,5							
146	35	4		0,1	4				0,05			
147	10	30	3	2	3							
148	9	14	0,1	3	2				1			
149	20	16	0,2	5	2	0,04		0,02	3			
150	18	16	0,2	3	2	0,08			0,6			
151	9	22	0,5	6	11	0,9		0,02	0,5			
152	36	4		0,8	14							
153	36	8		18	5	2		0,001				
154	2	39		0,1	3			0,04	0,5			
155	14	25		0,2	2				0,06			
156	22	24		0,8	5		2	0,03	0,6			
157	15	43		5	3	1	0,6	1				
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	2	8
Max	61	43	66	53	57	8	3	4	4	58	86	87
Mittel	22	8	8	6	5	0,6	0,2	0,2	0,4	15	45	40
10 P. ¹	3	1	0,1	0,2	0,2	0,01	0,00	0,01	0,01	2	16	24
25 P. ¹	6	3	0,2	1	0,5	0,03	0,02	0,02	0,03	5	40	33
50 P. ¹	19	6	1	2	2	0,2	0,06	0,04	0,09	10	47	41
75 P. ¹	37	11	8	7	5	0,6	0,1	0,1	0,5	19	55	48
80 P. ¹	40	12	10	11	6	0,8	0,2	0,2	0,5	21	57	50
90 P. ¹	45	16	31	14	10	2	0,4	0,5	0,9	45	63	53

1 Perzentil

