



Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg 2009

 Ergebnisse von Schüttel- und Säulenelutionsverfahren



Baden-Württemberg

Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg 2009

 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 Referat 35 – Abfallwirtschaft, Chemikaliensicherheit Markus Schmerbeck und Alfred Gamm
REDAKTION	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 35 – Abfallwirtschaft, Chemikaliensicherheit
LAYOUT	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEZUG	Kostenloser Download unter: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
STAND	August 2010
BILDNACHWEIS	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Referat 35 – Abfallwirtschaft, Chemikaliensicherheit

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 SACHSTAND	
2.1 Mengenstatistik	9
2.2 Umweltpolitische Ziele	9
2.3 Rechtliche Grundlagen	9
2.5 Bisherige Untersuchungen von Recyclingbaustoffen durch die LUBW	11
3 DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN	
3.1 Umfang der Untersuchungen	12
3.2 Probenahme	12
3.3 Probenaufbereitung und Analyse	12
4 ERGEBNISSE	
4.1 Ergebnisübersicht	14
4.2 Auswertung der Einzelparameter	16
4.2.1 Schwermetalle und Arsen	16
4.2.2 Sulfat, Chlorid, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert	16
4.2.3 Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	19
5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	
5.1 Vergleich der Ergebnisse mit den geltenden Zuordnungswerten	20
5.2 Vergleich der Ergebnisse mit den Grenzwerten im Entwurf der ErsatzbaustoffV	20
5.2.1 Säulenverfahren DIN 19528	20
5.2.2 Schüttelverfahren nach DIN 19529	22
5.2.3 Säulenverfahren nach CEN/TS 14405	22
5.2.4 Vergleich der Elutionsverfahren	22
5.3 Bewertung	23
6 LITERATUR	25
7 TABELLEN - UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS	26

Zusammenfassung

Die LUBW hat 2009 ihre Untersuchungen von Bauschuttrecyclingmaterialien in Baden-Württemberg aus den Jahren 2003, 2006 und 2007/2008 fortgeführt. Dabei wurden ausschließlich Betriebe untersucht, bei denen es während der Untersuchungskampagne 2007/2008 zu Grenzwertüberschreitungen nach dem Erlass des damaligen Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM) vom 13.04.2004 kam. Dieses Vorgehen diente der Überprüfung, inwieweit bei den Betrieben eine Qualitätsverbesserung der Recyclingbaustoffe zu verzeichnen ist.

Ein weiterer wesentlicher Punkt zur Fortsetzung der Untersuchungen war die Vergleichbarkeit der im Rahmen der Ersatzbaustoffverordnung diskutierten Elutionsverfahren.

So wurden neben dem Schüttelverfahren nach DIN 38414 (S4) drei weitere Elutionsverfahren im Rahmen der Untersuchungskampagne angewendet:

Dabei handelt es sich um das im 1. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung vorgesehene Säulenverfahren DIN 19528 (Wasser-/Feststoffverhältnis (W/F) = 2:1), das Schüttelverfahren DIN 19529 (W/F = 2:1) sowie das auf europäischer Ebene in Erarbeitung befindliche Säulenverfahren CEN/TS 14405 (W/F = 2:1).

Im Jahr 2009 wurden von der LUBW auf 30 Bauschuttrecyclinganlagen 34 Bauschuttproben entnommen und auf Schadstoffe untersucht. Die Untersuchung wurde in enger Zusammenarbeit mit den Überwachungsbehörden der Stadt- und Landkreise durchgeführt, deren Vertreter in der Regel bei der Besichtigung der Anlagen und der Probenahme mit vor Ort waren. Betriebe, die Mitglied im Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e.V (QRB) sind, waren von dieser Kampagne ausgeschlossen, da für diese Fremdüberwachungsergebnisse in der QRB-Statistik vorliegen.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass nach wie vor Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Sulfat die entscheidenden Parameter bei der Einstufung von Bauschuttrecyclingmaterial darstellen. Bei vielen Betrieben konnten Qualitätsverbesserungen zu den Untersuchungen von 2007/2008 festgestellt werden. Bei knapp 20 % der untersuchten Betriebe bedarf es jedoch weiterhin einer Qualitätsverbesserung der Recyclingbaustoffe.

Wie bereits 2007/2008 zeigen die Untersuchungen, dass dieselbe Probe bei vier verschiedenen Elutionsverfahren zu unterschiedlichen Überschreitungshäufigkeiten führt. Auch die 2007/2008 beschriebene Tendenz setzt sich fort:

Die geringsten Schadstoffgehalte im Eluat treten mit dem Schüttelverfahren DIN 38414 (Wasser-/Feststoffverhältnis = 10:1), die höchsten Werte beim Schüttelverfahren DIN 19529 (W/F = 2:1) auf. Die Werte der beiden Säulenverfahren liegen dazwischen, wobei das CEN-Verfahren zu höheren Werten tendiert als das Verfahren nach DIN 19528.

Die Gesamtauswertung der Ergebnisse von 2007 – 2009 zeigt, dass bezogen auf den Entwurf der Ersatzbaustoffverordnung über 50% der untersuchten Proben in die Kategorie der RC-1 Baustoffe fallen. Mit den verschärften Grenzwerten ab 2020 sind es noch 37% die in die Kategorie RC-1 fallen. Die entscheidenden Parameter stellen dabei Vanadium und Sulfat dar.

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg hat in dem Jahr 2009 im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr in Baden-Württemberg die aktuellen Qualitäten von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg stichprobenartig untersucht. Mit dieser Aufgabe wurden die Kampagnen zur Untersuchung des Schadstoffgehaltes von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg fortgesetzt, die die LUBW bereits in den Jahren 2003 [LUBW 2003], 2006 [LUBW 2006] und 2007/2008 [LUBW 2007/2008] im Rahmen des umweltpolitischen Schwerpunkts der LUBW „Recycling von Bauabfällen – ein Beitrag zur Ressourcenschonung in Baden-Württemberg“ durchgeführt hat.

Seit dem 13.04.2004 sind in Baden-Württemberg mit dem Erlass „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [UVM 2004] verbindliche rechtliche Vorgaben für die Verwertung von Baustoffrecyclingmaterial mit Grenzwerten für die zulässigen Schadstoffgehalte eingeführt.

Wie bereits in den Jahren 2007/2008 wurde mit den Untersuchungen 2009 die Schadstoffgehalte in Recyclingbaustoffen ermittelt und überprüft, in wie weit die Zuordnungswerte des UVM-Erlasses vom 13.04.2004 eingehalten werden. Im Rahmen der Untersuchungen 2009 wurden in Absprache mit den Überwachungsbehörden – in Baden-Württemberg sind dies die Behörden der Stadt- und Landkreise – 30 Bauschuttrecyclinganlagen beprobt, bei denen es 2007/2008 zu Überschreitungen einzelner Grenzwerte kam. Auch bei der aktuellen Untersuchungskampagne wurden somit nur Betriebe untersucht, die nicht Mitglied der Güteüberwachungsgemeinschaft für Recyclingbaustoffe (QRB - Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg e. V.; siehe www.qrb-bw.de) sind.

Mit der Untersuchungskampagne 2009 sollte festgestellt werden, ob bei den untersuchten Betrieben eine Qualitätsverbesserung der Recyclingbaustoffe zu verzeichnen ist.

Ein weiterer wesentlicher Anlass für die Fortsetzung der Untersuchungskampagne von 2007/2008 waren die Pläne des Bundesgesetzgebers, eine „Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV)“ zu erarbeiten. Der erste Entwurf dieser Verordnung wurde im November 2007 vorgelegt. Das in diesem Entwurf vorgegebene Perkolationsverfahren (Säulenverfahren DIN 19528) bedeutet eine Abkehr vom traditionellen Schüttelverfahren $W/F = 10:1$ gemäß DIN 38414 (S4). Neben diesem Perkolationsverfahren wurden noch zwei weitere in der Diskussion befindliche Verfahren zur Herstellung von wässrigen Eluaten in die Untersuchung mit aufgenommen. Zum einen das Schüttelverfahren $W/F = 2:1$ DIN 19529 sowie das auf europäischer Ebene im Entwurf befindliche Perkolationsverfahren CEN/TS 14405.

So wurden 2009 die Ziele der letzten Untersuchungskampagne fortgeführt:

- Ermittlung der aktuellen Qualitäten der Recyclingbaustoffe unter Anwendung des etablierten Schüttelverfahrens.
- Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Elutionsverfahren zur Abschätzung der Auswirkungen der neuen Grenzwerte im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV auf die künftige Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen.

Daneben wurden die Elutionsverfahren hinsichtlich der Analyseergebnisse und der Praktikabilität verglichen, um die hier gesammelten Erfahrungen in den Entwurfsprozess der CEN/TS 14405 einfließen zu lassen.

2 Verwertung von Recyclingbaustoffen in Baden-Württemberg – aktueller Sachstand

2.1 Mengenstatistik

In Baden-Württemberg fallen jährlich ca. 10 Mio. Tonnen Bauschutt und Straßenaufbruch als Abfall an (im Jahr 2008 ca. 11,6 Mio t). Laut Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg wurden im Jahr 2008 in Baden-Württemberg rund 76 % der Bauschutt- und Straßenaufbruchmengen einer hochwertigen Verwertung in Bauschuttrecyclinganlagen zugeführt. Etwa 17 % der Abfälle wurden in übertägigen Abbaustätten (Steinbrüche, Kiesgruben), für Baumaßnahmen auf Deponien (Befestigung von Straßen, Böschungen) und in sonstigen Abfallentsorgungsanlagen (z. B. Sortieranlagen) verwertet. Die restlichen 7 % der Abfälle, das sind gut 800.000 Tonnen, wurden nicht verwertet und auf Deponien abgelagert.

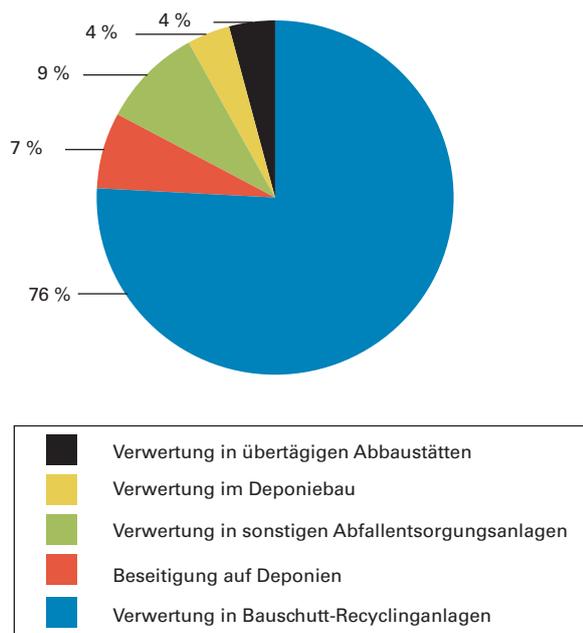


Abb. 1: Verwertungs- und Beseitigungswege von Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg im Jahr 2008 (Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2010)

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, stoffstromorien-

tierten 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“ [Umweltplan 2007]. Das Baustoffrecycling ist aber nicht nur auf Landesebene ein wichtiger Baustein in einer umweltschonenden Abfallwirtschaft. Die großen Mengen dieser Abfallfraktion sind Anlass genug auch auf Bundesebene mit der Erarbeitung der ErsatzbaustoffV eine bundeseinheitliche Regelung zu schaffen.

Durch die Verwertung mineralischer Abfälle soll der Rohstoffabbau in Kiesgruben, Baggerseen oder Steinbrüchen reduziert und dadurch Rohstoffvorkommen geschont werden. Weiterhin ist es das Ziel, den Bedarf an Deponieflächen deutlich zu verringern, 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 Schadenslosigkeit zu erreichen, müssen mineralische Abfälle qualitätsgesichert und güteüberwacht aufbereitet werden.

2.3 Rechtliche Grundlagen

Die LAGA M20 („Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln“) wurde in Baden-Württemberg nicht offiziell eingeführt. Das Land Baden-Württemberg erarbeitete auf der Grundlage der LAGA M20 eine eigene Regelung. Diese wurde mit dem Erlass des Umweltministeriums Baden-Württemberg „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ vom 13.04.2004 [UVM 2004] offiziell eingeführt.

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

Nr.	Parameter	Dimension	Zuordnungswerte		
			Z1.1	Z1.2	Z2
1	Kohlenwasserstoffe	mg/kg			
	C ₁₀ -C ₂₅		300	300	1000
	C ₁₀ -C ₄₀		600	600	2000
2	PAK nach EPA	mg/kg	10	15	35
3	EOX	mg/kg	3	5	10
4	PCB ₆	mg/kg	0,15	0,5	1
5	Arsen	µg/l	15	30	60
6	Blei	µg/l	40	100	200
7	Cadmium	µg/l	2	5	6
8	Chrom Gesamt	µg/l	30	75	100
9	Kupfer	µg/l	50	150	200
10	Nickel	µg/l	50	100	100
11	Quecksilber	µg/l	0,5	1	2
12	Zink	µg/l	150	300	400
13	Phenole	µg/l	20	50	100
14	Chlorid	mg/l	100	200	300
15	Sulfat	mg/l	250	400	600
16	pH-Wert	-----	6,5 -12,5	6,0 -12,5	5,5 -12,5
17	elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	2500	3000	5000



In diesem UVM-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)“ mit Stand vom 13.11.2007 [BMU 2007] liegt vor, ein zweiter Arbeitsentwurf wird derzeit erarbeitet und soll noch im Jahr 2010 veröffentlicht werden.

Der zweite Arbeitsentwurf dieser Verordnung enthält voraussichtlich auf Grund neuer Erkenntnisse durch eine erweiterte Datenbasis Veränderungen bei den Grenzwerten (RC-1, RC-2 und RC-3).

Tab. 2: Schadstoffgrenzwerte für Recyclingbaustoffe im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV

Parameter	Dimension	Materialwerte			Bemerkung
		RC-1	RC-2	RC-3	
pH-Wert	-----	7,0 -12,5	7,0 -12,5	7,0 -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	1.400	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	



Auf Grund der unterschiedlichen Analyseverfahren, sind die Zuordnungswerte (Tab. 1) und die Materialwerte (Tab. 2) nicht direkt vergleichbar.

Die Umstellung des Elutionsverfahrens im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV, von einem Schüttel- auf ein Säulenverfahren befindet sich nach wie vor in der Diskussion. Als Alternative zum Säulenverfahren wird das Schüttelverfahren nach DIN 19529 angesehen, welches im Vergleich zum bisher üblichen Schüttelverfahren nach DIN 38414 (S4) bzw. nach DIN EN 12457-4 mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 10:1, ein W/F Verhältnis von 2:1 vorsieht.

2.5 Bisherige Untersuchungen von Recyclingbaustoffen durch die LUBW

Schon in den vergangenen Jahren wurden durch die LUBW Untersuchungen von Bauschuttrecyclingmaterial vorgenommen, die im Folgenden kurz erläutert werden. Die Berichte stehen unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/24162/ zur Verfügung.

Untersuchungen im Jahr 2003

Im Jahr 2003 untersuchte die damalige LfU 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 [LfU 2003]). Die Erkenntnisse der damaligen Untersuchungen flossen in den Erlass „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ des UVM Baden-Württemberg vom 13.04.2004 [UVM 2004] mit ein.

Untersuchungen im Jahr 2006

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. Es wurden 82 Proben aus 50 Bauschuttrecyclinganlagen untersucht. Bei dieser Kampagne wurde eine deutlich größere Schadstoffpalette, u. a. mit vielen Schwermetallen, analysiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die in Baden-Württemberg

geltenden Zuordnungswerte des UVM-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 beim 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.

Untersuchungen im Jahr 2007/2008

In den Jahren 2007/2008 wurden 157 Proben aus 115 Anlagen untersucht. Auch hier zeigten die Ergebnisse Qualitätsdefizite bei einigen Betrieben. Die limitierenden Parameter waren wieder PAK und Sulfat.

Bei dieser Untersuchung wurden die Ergebnisse den Grenzwerten des 1. Arbeitsentwurfes der ErsatzbaustoffV unter Anwendung der Elutionsverfahren DIN 19529 und DIN 19528 - gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass neben Sulfat auch Vanadium zum maßgeblichen Entscheidungskriterium für die Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen werden würde.

Neben der Überprüfung der Zuordnungswerte aus dem UVM-Erlass wurde bei der Kampagne 2009 zusätzlich zu den bisher angewendeten Elutionsverfahren auch das Verfahren nach CEN/TS 14405 zur Herstellung von wässrigen Eluaten aus Recyclingsbaustoffen angewendet und die Ergebnisse verglichen und bewertet.

3 Durchführung der Untersuchungen

3.1 Umfang der Untersuchungen

In der Untersuchungskampagne 2009 wurden 34 Proben aus 30 Bauschuttrecyclinganlagen in Baden-Württemberg entnommen. Dabei wurden vor allem solche Betriebe beprobt, bei denen in der Untersuchungskampagne 2007/2008 Grenzwertüberschreitungen festgestellt wurden.

3.2 Probenahme

Die Bauschuttrecyclinganlagen wurden in der Regel zusammen mit den zuständigen Überwachungsbehörden aufgesucht. Die Proben wurden von der LUBW entnommen. Beprobte wurden insgesamt 34 gebrochene, einsatzfertige Recyclingbaustoffe, die für den offenen Einbau in technischen Bauwerken vorgesehen waren. Als Inputmaterialien waren überwiegend die Herkunftsbereiche Betonaufbruch, Ziegel und Straßenaufbruch genannt.

Die Korngrößen der beprobten Recyclingbaustoffe lagen zwischen 0/22 und 0/100 wobei die Fraktion 0/45 am häufigsten vertreten war.

Die aufbereiteten Recyclingbaustoffe waren in erster Linie als Material für Auffüllungen vorgesehen.

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 UVM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [UVM 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 Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH & Co KG, 72074 Tübingen aufbereitet und analysiert. Jede Probe wurde mit den folgenden vier verschiedenen Elutionsverfahren eluiert, deren charakteristische Merkmale in Tabelle 3 zusammengestellt sind:

- Schüttelverfahren nach DIN EN 12457-4: Hier 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 UVM - Erlass „Vorläufige Hinweise zum Baustoffrecyclingmaterial“ [UVM 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 „Elution von Feststoffen – Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen“ wurde das Material in einer Säule (Innendurchmesser 6 cm, Füllhöhe der Probe 31 cm) mit Wasser im Aufwärtsstrom 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 0,8–1,5 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 Un-

tersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg“ wurde das Material mit Wasser bei einem W/F 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.

- Bei dem noch in der Entwurfsphase befindlichen Elutionsverfahren CEN/TS 14405 „Charakterisierung von

Abfällen – Auslaugungsverhalten-Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom (unter festgelegten Bedingungen)“, wurde das Material auf 10 mm gebrochen und in einer Säule (Durchmesser 6 cm, Füllhöhe 30 cm) mit Wasser im Aufwärtsstrom mit einer Kontaktzeit von 3 Tagen perkoliert und das gesamte Eluat bis zu einem W/F = 2:1 aufgefangen. Der Elutionvorgang dauerte je nach Material 6–9 Tage.

Die Eluate wurden auf die Parameter der Tabelle 4 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 1 genannten Vorschrift auf PAK untersucht.

Tab. 3: Charakteristische Merkmale der verschiedenen Elutionsverfahren

	Schüttelverfahren DIN EN 12457-4	Säulenverfahren DIN 19 528 (Entwurf)	Schüttelverfahren DIN 19 529 (Entwurf)	Säulenverfahren CEN/TS 14 405
Zerkleinerung	auf < 10 mm (gemäß [UVM 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	auf < 10 mm
Wasser/ Feststoff-Verhältnis (W/F)	10 : 1	2 : 1	2 : 1	2 : 1
Elution	Schütteln über Kopf, 24 h	Durchströmen einer Säule 0 – 50h	Schütteln über Kopf, 24 h	Durchströmen einer Säule a. 1 – 3 Wochen



Tab. 4: Untersuchte Parameter und angewandte Analysenvorschriften

	Parameter	Analysenvorschrift
Im Feststoff:	Trockensubstanz	DIN EN 12880
	PAK	GC/MS-Hausmethode
Im Eluat:	pH-Wert bei 20 °C	DIN 38404-C5
	Elektr. Leitfähigkeit (25°C)	DIN EN 27 888-C8
	Sulfat	DIN 38405-D5-1
	Chlorid	DIN 38405-D1-1
	Arsen	DIN EN ISO 11969
	Blei	DIN 38406-E6-2
	Cadmium	DIN EN ISO 5961-E19
	Chrom gesamt	DIN EN 1233-E10
	Kupfer	DIN 38406-E7-2
	Nickel	DIN 38406-E11-2
	Quecksilber	DIN EN 1483-E12
	Vanadium	EN ISO 15586-E4
	Zink	DIN 38406-E8-1
	Phenolindex	DIN EN ISO 14402-H37



4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisübersicht

In Tabelle 5 sind die wichtigsten statistischen Werte der Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und werden mit verschiedenen Grenzwerten verglichen. Die Ergebnisse aus den Schüttelversuchen mit W/F = 10:1 (nach DIN EN 12457-4) sind den in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerten des UVM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [UVM 2004] gegenüber gestellt. Laut UVM-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 sind zum Vergleich die im Entwurf der ErsatzbaustoffV („Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken“-1. Arbeitsentwurf) [BMU 2007] genannten Grenzwerte

aufgeführt, da im Verordnungsentwurf das Säulenverfahren vorgeschrieben ist. Werte, die die Grenzwerte Z 2 oder RC-2 überschreiten, sind entsprechend hervorgehoben.

Tab. 5.1: Statistische Auswertung aller Analysen mit dem Schüttel eluat nach DIN EN 12457-4 (W/F 10:1) und Vergleich mit den Zuordnungswerten des baden-württembergischen UVM-Erlasses [UVM 2004]

Parameter	Dimension	Analyseergebnisse				in Baden-Württemberg geltende Zuordnungswerte		
		Median (50-Perzentil)	75 - Perzentil	90 - Perzentil	Mittelwert	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
PAK ₁₆ im Feststoff	mg/kg	0,33	0,47	0,55	0,33	10,0	15,0	35,0
Im Schüttel-Eluat nach DIN EN 12457-4 (W/F 10:1)								
pH-Wert		10,7	11,1	11,6	10,6	6,5 - 12,5	6,0 - 12,5	6,5 - 12,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	925	1342	1660	967	2500	3000	5000
Chlorid	mg/l	<5,0	5,8	9,7	4,3	100	200	300
Sulfat	mg/l	111	508	764	272	250	400	600
Arsen	µg/l	<0,50	1,6	3,2	1,0	15,0	30,0	60,0
Blei	µg/l	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	40,0	100	200
Cadmium	µg/l	<0,2	<0,20	<0,2	<0,2	2,0	5,0	6,0
Chrom	µg/l	6,0	11,3	24,7	9,8	30,0	75,0	100
Kupfer	µg/l	8,0	12,8	13,7	8,3	50,0	150	200
Nickel	µg/l	<2,0	<2,0	<2,0	0,2	50,0	100	100
Quecksilber	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	1,0	2,0
Vanadium	µg/l							
Zink	µg/l	<10,0	<10,0	<10,0	6,2	150	300	400

Tab. 5.2: Statistische Auswertung aller Analysen und Vergleich mit den Eluaten aus den Verfahren mit W/F 2:1 und Vergleich mit den RC-Werten des Entwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007]

Parameter	Dimension	Analyseergebnisse				in Baden-Württemberg geltende Zuordnungswerte		
		Median (50-Perzentil)	75 - Perzentil	90 - Perzentil	Mittelwert	RC-1	RC-2	RC-3
Im Schüttel-Eluat nach DIN EN 12457-4 (W/F 10:1)								
PAK ₁₅ im Säuleneulat (n=34)	µg/l	0,2	0,4	0,5	0,3	3,0	4,5	15,0
pH-Wert		9,9	11,2	11,7	9,9	7,0 - 12,5	7,0 - 12,5	7,0 - 12,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1414	2330	2767	1511	2000	2500	10000
Chlorid	mg/l							
Sulfat	mg/l	168	888	1294	468	200	350	1400
						350	700	
Chrom	µg/l	8,5	13,8	16,0	9,4	50,0	60,0	100
Kupfer	µg/l	10,0	12,0	13,7	9,4	40,0	70,0	100
Nickel	µg/l							
Vanadium	µg/l	23,0	40,3	57,2	26,7	30,0	50,0	100
Zink	µg/l							
Im Schüttel-Eluat nach DIN 19529 (W/F 2:1)						RC-1	RC-2	RC-3
pH-Wert		10,9	11,3	11,7	10,4	7,0 - 12,5	7,0 - 12,5	7,0 - 12,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1772	2678	2842	1807	2000	2500	10000
Chlorid	mg/l							
Sulfat	mg/l	221	985	1480	542	200	350	1400
	µg/l					350	700	
Chrom	µg/l	22,0	37,0	49,7	28,0	50,0	60,0	100
Kupfer	µg/l	15,5	28,8	34,0	18,9	40,0	70,0	100
Vanadium	µg/l	23,0	42,0	56,0	26,0	30,0	50,0	100
Im Säuleneulat nach CEN/TS 14 405 (W/F 2:1)								
pH-Wert		10,1	11,1	11,8	10,0	7,0 - 12,5	7,0 - 12,5	7,0 - 12,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1874	2682,5	2974	1851,2	2000	2500	10000
Chlorid	mg/l							
Sulfat	mg/l	226	1130	1647	573,2	200	350	1400
	µg/l					350	700	
Chrom	µg/l	23,5	41,5	75,9	31,7	50,0	60,0	100
Kupfer	µg/l	18,0	22,0	37,4	20,6	40,0	70,0	100
Vanadium	µg/l	20,0	45,3	76,3	31,6	30,0	50,0	100

4.2 Auswertung der Einzelparameter

4.2.1 Schwermetalle und Arsen

In Abbildung 2 ist die statistische Auswertung der Gehalte von Schwermetallen und Arsen in 34 untersuchten Proben nach dem Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 nach DIN 38414-4 (S 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 34 untersuchten Proben nicht überschritten wird.

Zur Abschätzung der Grenzwertüberschreitungen sind in Abbildung 2 die Zuordnungswerte Z 1.1 des UVM-Erlasses „Vorläufige Hinweise zur Verwertung von Baustoffrecyclingmaterial“ [UVM 2004] und in Abbildung 3 die Grenzwerte RC-1 des 1. Arbeitsentwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007] eingezeichnet.

Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass die Ergebnisse der meisten Parameter unterhalb der Nachweisgrenze liegen. Lediglich bei Arsen, Chrom_{ges.} und Kupfer konnten Gehalte nachgewiesen werden, die aber alle unter dem Z 1.1 Wert liegen.

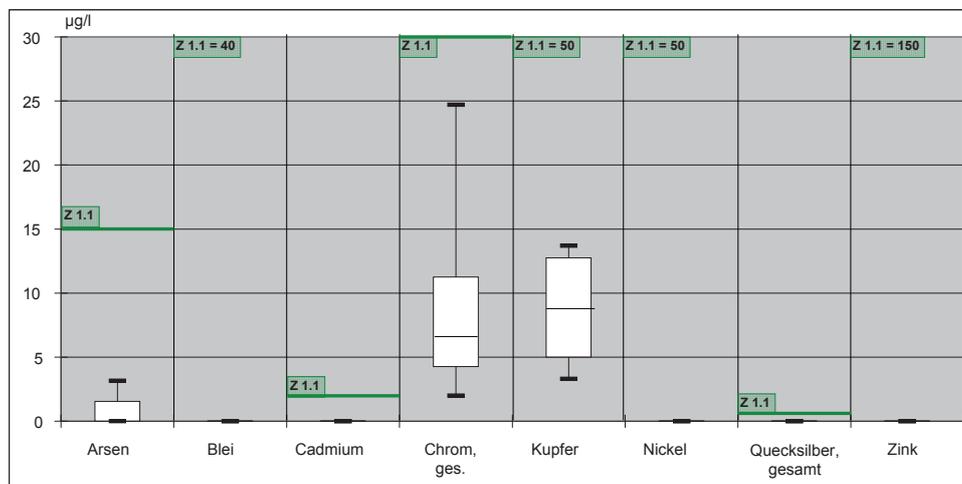
Für die Elutionsverfahren mit einem W/F = 2:1 wurden bzgl. der Schwermetalle lediglich die im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV enthaltenen Parameter untersucht. Für diese drei Schwermetalle ist in der Abbildung 5 die

statistische Auswertung der mit den drei verschiedenen Elutionsverfahren erhaltenen Ergebnisse im direkten Vergleich dargestellt.

Aus Abbildung 3 wird deutlich, dass Vanadium unter den Schwermetallen die höchsten Schadstoffgehalte in den Recyclingbaustoffen aufweist. Weiterhin zeigt sich, dass die Grenzwerte RC 1 und RC 2 für Kupfer bei allen Elutionsverfahren mit einem W/F = 2:1 eingehalten werden. Auch bei Chrom werden die Grenzwerte bis auf geringfügige Überschreitungen bei dem Elutionsverfahren CEN/TS 14405 eingehalten. Außerdem kann festgestellt werden, dass die Streuung der Ergebnisse für Kupfer und Chrom beim Säulenverfahren nach DIN 19528 am geringsten sind.

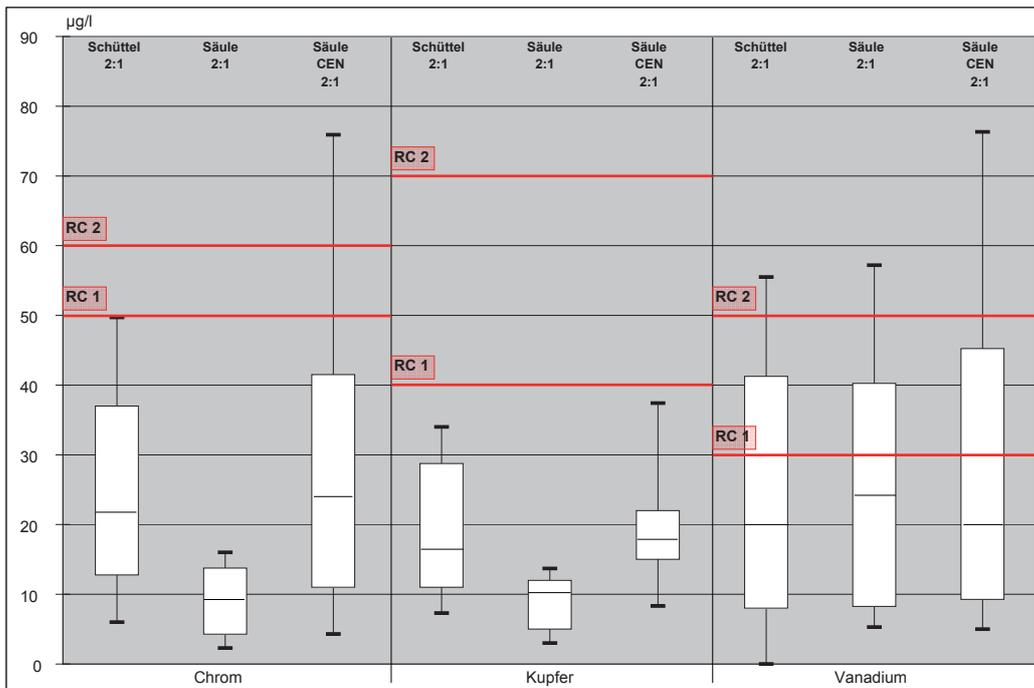
4.2.2 Sulfat, Chlorid, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert

Abbildung 4 zeigt die Sulfatgehalte im Eluat von insgesamt 34 Proben von Recyclingbaustoffen, die mit vier verschiedenen Elutionsverfahren (Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 nach DIN EN 12457-4, Säulenverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19528, Säulenverfahren mit W/F = 2:1 CEN/TS 14405 und Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 nach DIN 19529) ermittelt wurden.



LUBW

Abb. 2: 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 = 34 Proben).

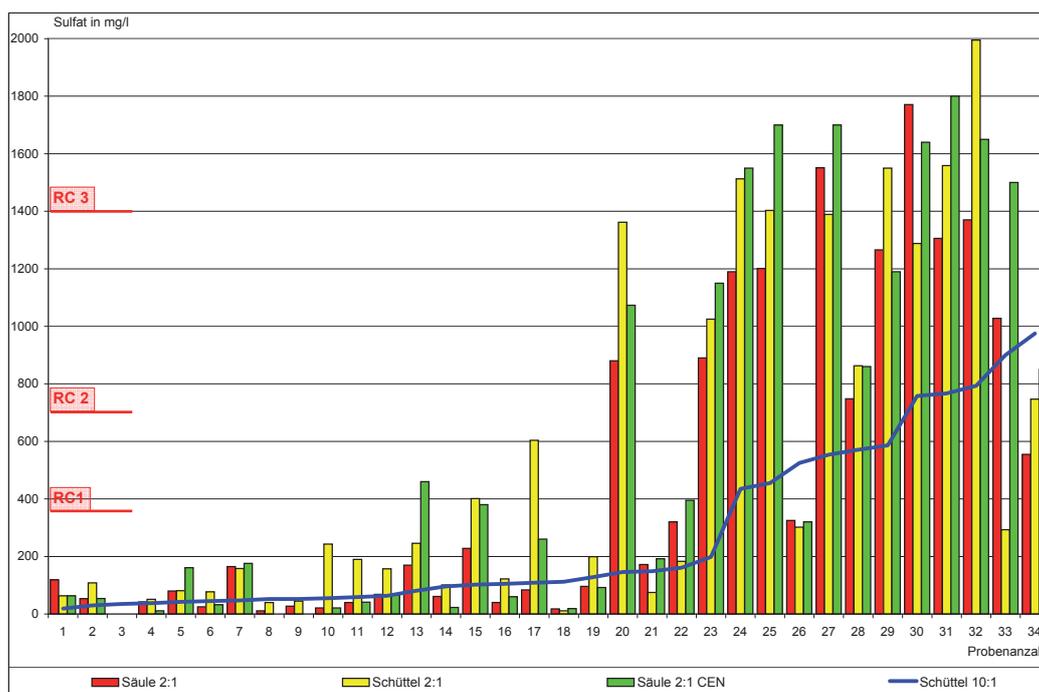


LUBW

Abb. 3: Perzentile der Schwermetallgehalte im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren (Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75-, und 90- Perzentilen)

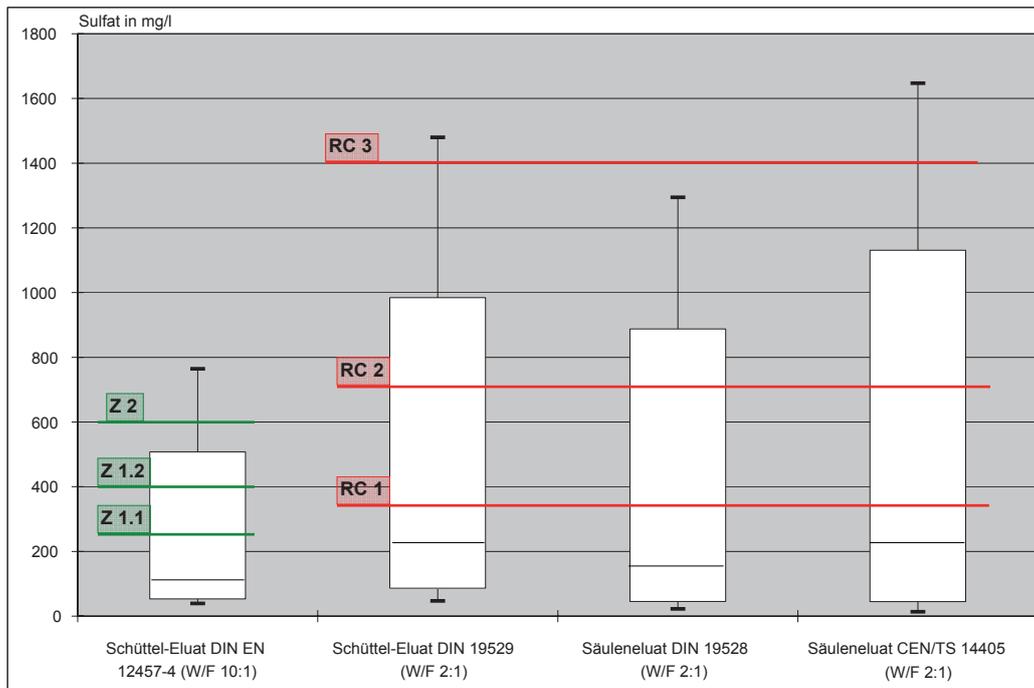
Die Abbildung 4 verdeutlicht die starken Schwankungen der Sulfatwerte im Eluat der einzelnen Proben abhängig vom Elutionsverfahren. Tendenziell sind im statistischen Mittel über alle Werte die Gehalte im Schüttel eluat mit W/F = 10:1 am niedrigsten und die Gehalte im Schüttel-

eluat mit W/F = 2:1 und im Säulenverfahren CEN W/F 2:1 am höchsten. Die Gehalte im Säuleneluat nach DIN 19528 liegen in etwa dazwischen. Dieses Ergebnis wird durch die in Abbildung 5 dargestellten Perzentile noch mal klarer veranschaulicht.



LUBW

Abb. 4: Sulfatgehalte im Eluat von 34 Recyclingbaustoffen, ermittelt mit vier verschiedenen Elutionsverfahren



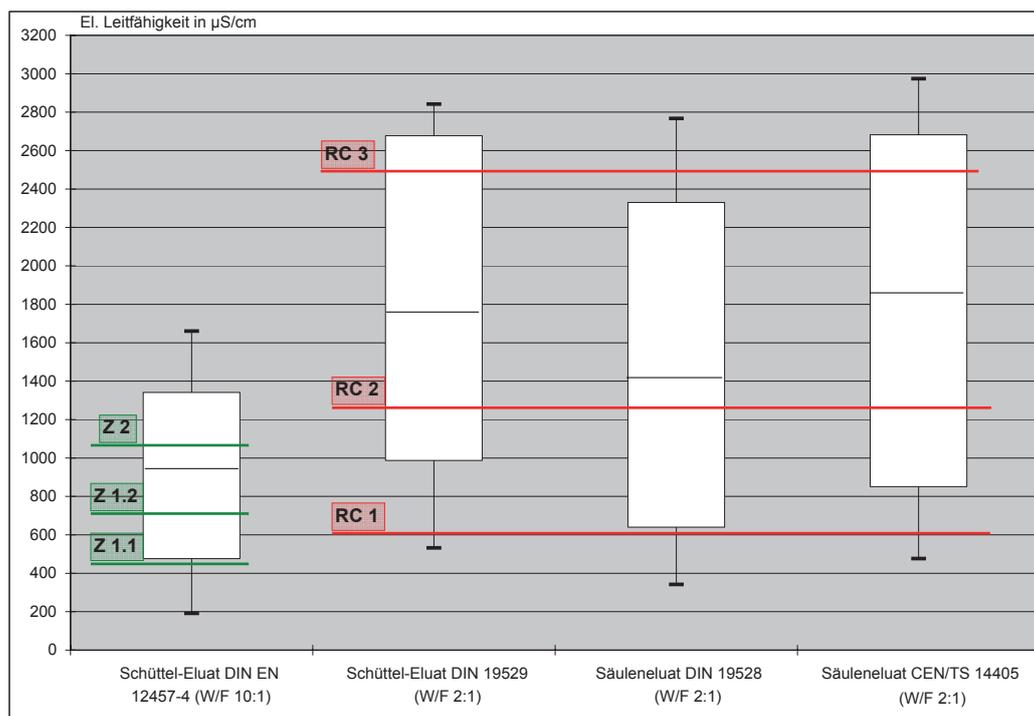
LUBW

Abb. 5: Perzentile der Sulfatgehalte im Eluat bei verschiedenen Elutionsverfahren

Für die Parameter elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert sind in den Abbildungen 6 und 7 die Perzentile der Eluatgehalte in Abhängigkeit von den vier Elutionsverfahren dargestellt.

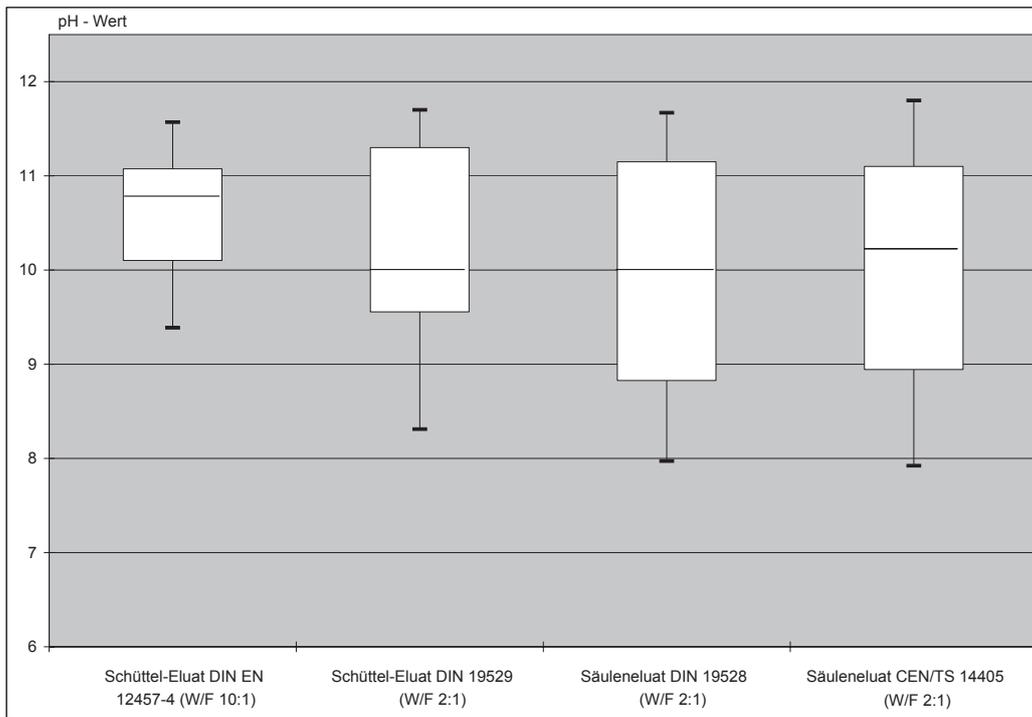
Während der pH-Wert bei allen vier Elutionsverfahren

annähernd gleich ist, verhält sich die elektrische Leitfähigkeit wie beim Sulfat - die niedrigsten Werte im Schütteleluat mit $W/F = 10:1$, die höchsten Werte im Schütteleluat mit $W/F = 2:1$ und beim Säulenverfahren CEN $W/F = 2:1$, die mittleren Gehalte im Säuleneluat nach DIN 19528 $W/F = 2:1$ liegen in etwa dazwischen.



LUBW

Abb. 6: Perzentile der elektrischen Leitfähigkeit im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren



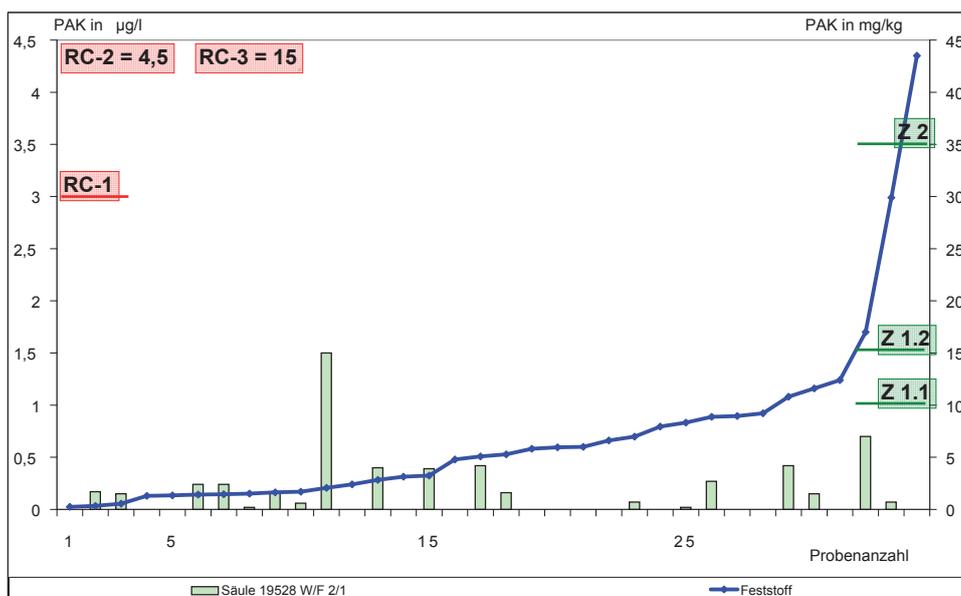
LUBW

Abb. 7: Perzentile des pH-Wertes im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren

4.2.3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

PAK wurden im Feststoff und im Säuleneluat wie im Schüttel-Eluat mit W/F = 2:1 bestimmt. Die Ergebnisse der 34 Proben sind in Abbildung 8 dargestellt.

Man sieht, dass die PAK-Feststoffgehalte und die Eluatgehalte in der Größenordnung stark differieren.



LUBW

Abb. 8: PAK-Gehalt ermittelt im Feststoff und im Säuleneluat mit W/F 2:1 (n = 34 Proben)

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Vergleich der Ergebnisse mit den geltenden Zuordnungswerten

Abbildung 9 zeigt wie häufig die Gehalte einzelner Parameter in den 34 untersuchten Recyclingbaustoffen die jeweiligen Zuordnungswerte Z 1.1, Z 1.2 und Z 2, die in den „Vorläufigen Hinweisen zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ [UVM 2004] festgelegt sind, überschritten haben.

Häufige Überschreitungen der Zuordnungswerte gibt es für die Parameter PAK und Sulfat. Damit werden die Ergebnisse der LUBW-Untersuchungen aus den Jahren 2006 [LUBW 2006] und 2007/2008 [LUBW 2007/2008] bestätigt. Insgesamt haben sich die PAK- und Sulfatüberschreitungen gegenüber den Untersuchungen 2006 nur geringfügig verändert. Während die PAK-Überschreitungen leicht abgenommen haben gab es eine geringfügige Zunahme bei den Sulfatüberschreitungen.

Bis auf geringe Überschreitungen bei der elektrischen Leitfähigkeit und bei Chrom liegen die Gehalte aller anderen untersuchten Parameter für alle Proben unter den Zuordnungswerten Z 1.1 und stellen somit in der Regel kein Problem bei der Verwertung von Recyclingbaustoffen dar. Völlig unproblematisch sind die Gehalte an Quecksilber, 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 6 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.

Waren es bei der Untersuchungskampagne 2007/08 noch 54% der untersuchten Baustoffrecyclingsproben, die den Zuordnungswert Z 1.1 einhielten, so sind es 2009 nur noch 41%. Insgesamt zeigt sich eine Verschlechterung der Qualität in den erhöhten Anteilen an Z1.2 und Z 2 Materialien. Als Ursache kann die Auswahl der Betriebe genannt werden. In der Untersuchungskampagne 2009

wurde ausschließlich Betriebe beprobt, die bei der vorherigen Kampagne durch Grenzwertüberschreitungen aufgefallen sind. Das Ergebnis zeigt, dass eine Verbesserung der Qualitätskontrolle nicht bei allen Betrieben stattgefunden hat.

5.2 Vergleich der Ergebnisse mit den Grenzwerten im Entwurf der ErsatzbaustoffV

5.2.1 Säulenverfahren DIN 19528

Das Säulenverfahren DIN 19528 mit W/F = 2:1 wird im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV [BMU 2007] als Elutionsverfahren vorgegeben. In Abbildung 10 ist dargestellt, wie häufig die Gehalte einzelner Parameter in 34 untersuchten Recyclingbaustoffen die Grenzwerte RC-1, RC-2 bzw. RC-3 der geplanten ErsatzbaustoffV [BMU 2007] überschreiten.

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 10 nicht berücksichtigt.

Für Sulfat wurden bei der Auswertung die strengeren Grenzwerte des Entwurfs der ErsatzbaustoffV herangezogen, die ab dem Jahr 2020 gelten sollen. Die Zahl der Überschreitungen beim Sulfat verringert sich nur unwesentlich, wenn man die Übergangsregelung zugrunde legt.

Die meisten Überschreitungen von Grenzwerten des Verordnungsentwurfs treten beim Sulfat und beim Vanadium auf.

Beim Sulfat überschreiten 44 % der Werte den RC-1-Wert. Der RC-2-Wert wird mit 35 %, der RC-3-Wert mit 6 % der Werte überschritten.

Neben dem Sulfatgehalt gibt der Vanadiumgehalt am ehesten den Ausschlag für die Verwertbarkeit eines Recyclingbaustoffs. 41 % der Proben haben einen Vanadiumgehalt über dem RC-1-Wert. Der RC-2-Wert wird noch von knapp 18% der Werte überschritten. Für den RC-3-Wert sind keine Überschreitungen zu verzeichnen.

War bei den Untersuchungen 2007/2008 der PAK-Wert noch in 10% der Fälle überschritten, so sind bei der aktuellen Untersuchung keine Überschreitungen zu verzeichnen.

Überschreitungen der elektrischen Leitfähigkeit sind zwar nach Sulfat und Vanadium am häufigsten, stellen aber kein Ausschlusskriterium für die Verwertung der Recyclingbaustoffe dar, da die Elektrische Leitfähigkeit im Verordnungsentwurf nur als Orientierungswerte festgelegt ist.

Wie in Kapitel 5.1 wurden die Ergebnisse des Säulenverfahrens DIN 19528 danach ausgewertet, wie viel Prozent der Proben von Recyclingbaustoffen die Zuordnungswerte der ErsatzbaustoffV (RC-1, RC-2 und RC-3) einhalten. Dabei wurde ein Vergleich der Untersuchungskampagne 2007/08 und der Kampagne 2009 vorgenommen.

Es zeigt sich eine deutliche Verschlechterung bei den 2009 untersuchten 34 Proben. Waren es 2007/08 noch zwischen

38-44% der Proben, die unter RC-1 fallen, so sind es 2009 nur noch 15 %. Wie bereits in Kapitel 5.1 erwähnt, ist die Ursache für diesen Qualitätsrückgang in der mangelnden Eingangskontrolle zu sehen.

In Abbildung 11 und 12 werden die Untersuchungskampagnen 2007/08 (n = 97 Proben) und 2009 (n = 34 Proben), sowie eine gemeinsame Auswertung (n = 131 Proben) bezüglich der Zuordnung zu RC-1, RC-2 und RC-3 graphisch miteinander verglichen. Dabei werden in Abbildung 11 die Grenzwerte der Übergangszeit bis 2020 und in Abbildung 12 die Grenzwerte ab 2020 zugrunde gelegt.

Tab. 6: Prozentualer Anteil der untersuchten Recyclingbaustoffe, die die in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerte Z 1.1, Z 1.2 bzw. Z 2 einhalten

Untersuchte Proben gesamt	davon sind nach UVM-Erlass Baden-Württemberg einzustufen als			
	Z1.1	Z1.2	Z2	schlechter als Z2
34	41%	18%	24%	18%



Abbildung 11 macht deutlich, dass mit 52% gut die Hälfte der untersuchten Baustoffrecyclingproben in die Kategorie RC-1 fallen und lediglich 11% der Proben schlechter als RC-3 bewertet werden.

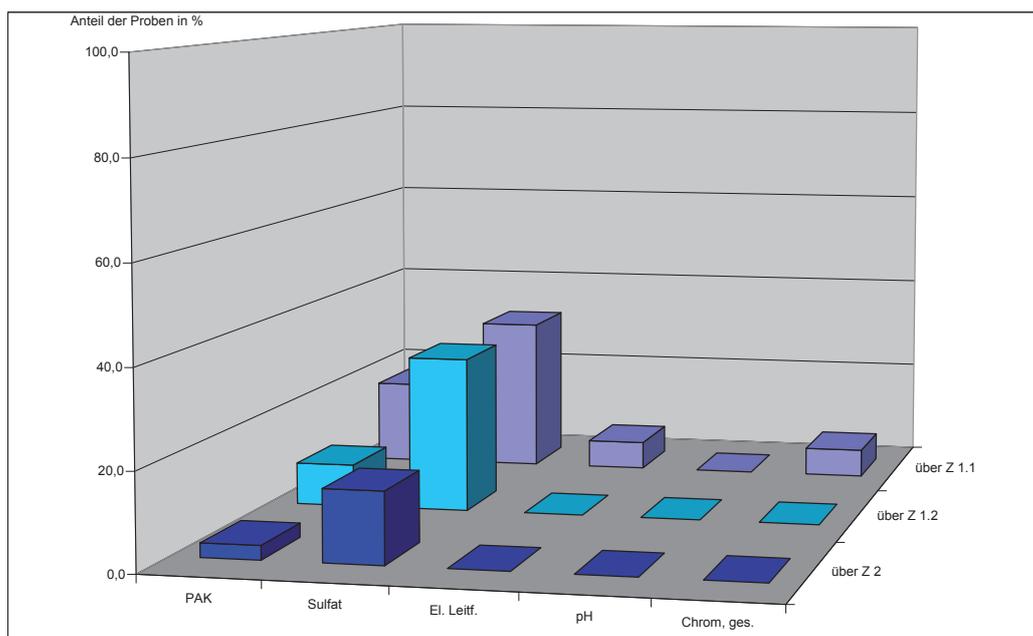


Abb. 9: Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte über den jeweiligen in Baden-Württemberg gültigen Zuordnungswerten liegen (n = 34 Proben)

Für die ab 2020 geltenden Grenzwerte zeigt die Abbildung 12 eine Reduzierung der Anteile, die in die Kategorie RC-1 fallen auf 37%. Dagegen sind Zunahmen von 5% und 12% bei den Kategorien RC-2 und RC-3 zu verzeichnen. Der Anteil der Bauschuttrecyclingproben, die unter RC-3 fallen bleibt mit 10% fast gleich. Insgesamt zeigt die im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV vorgesehene Grenzwertverschärfung ab 2020 eine Tendenz zur Verschiebung von RC-1 zu RC-2 und RC-3 Qualitäten.

5.2.2 Schüttelverfahren nach DIN 19529

Betrachtet man die Ergebnisse des Schüttel-Eluats nach DIN 19529 W/F = 2:1, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den vorangegangenen Elutionsverfahren. Auch hier sind die Parameter Sulfat und Vanadium mit Überschreitungshäufigkeiten in derselben Größenordnung die limitierenden Faktoren für die Verwertbarkeit bezogen auf die RC-Werte. Bei dem Vergleich mit dem Säulenverfahren nach DIN 19528 sind die Elutionswerte für Chrom_{ges} abweichend. Hier sind Überschreitungshäufigkeiten zwischen 12 % für RC-1 und 3 % für RC-3 festzustellen.

5.2.3 Säulenverfahren nach CEN/TS 14405

Die Ergebnisse des Säulenverfahrens nach CEN/TS 14405 sind mit denen der anderen Elutionsverfahren vergleich-

bar. Sulfat und Vanadium sind auch hier die limitierenden Faktoren. Zusätzlich sind bei diesem Elutionsverfahren Überschreitungen bei den Parametern Chrom_{ges} und Kupfer festzustellen. Für Chrom_{ges} liegen die Überschreitungshäufigkeiten zwischen 20 % (RC-1) und 3 % (RC-3). Für Kupfer ist lediglich für den RC-1-Wert eine Überschreitungshäufigkeit von 6 % festzustellen.

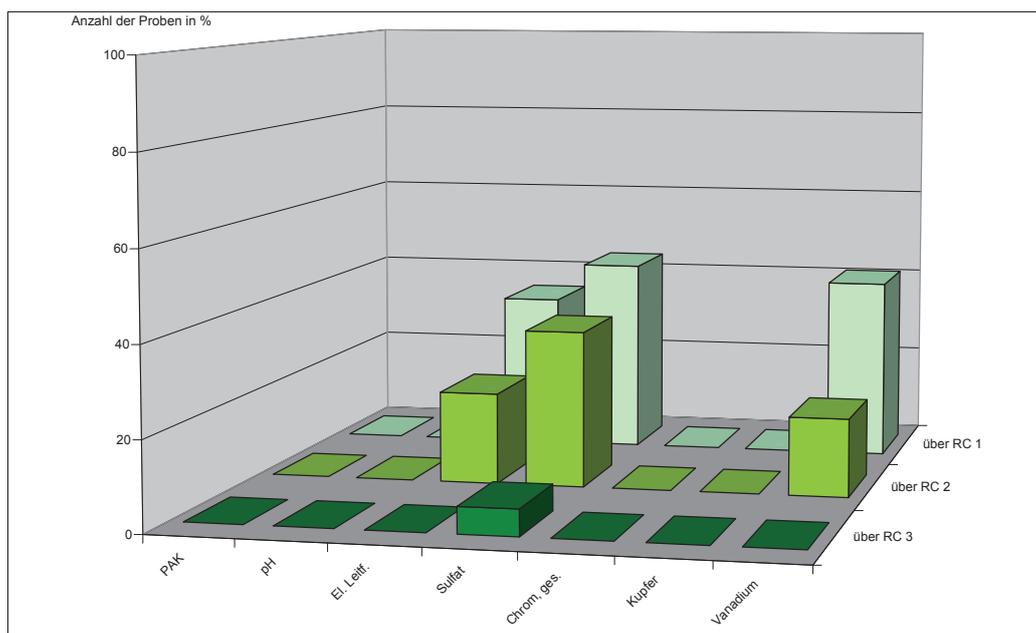
5.2.4 Vergleich der Elutionsverfahren

Bei einem Vergleich der verschiedenen Elutionsverfahren wurden vom durchführenden Labor folgenden Punkte angemerkt:

Die zu vergleichenden Elutionsverfahren werden mit unterschiedlichen Korngrößen durchgeführt (< 10 mm oder <32 mm), was bei der Beurteilung der Ergebnisse Berücksichtigung finden muss.

In dem Vergleich von Schüttel- und Säulenverfahren wurde das Säulenverfahren bei der Durchführung für aufwendiger angesehen. Als Gründe wurde vor allem die Berechnung der theoretischen Perkolationszeit sowie deren Einhaltung beim Perkolieren mehrerer Säulen genannt.

Als vorteilhaft wurde der Wegfall von Filtration bzw. Zentrifugation bei der Ermittlung der organischen Parameter



LUBW

Abb. 10: Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte mit dem Elutionsverfahren DIN 19528 über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 34 Proben)

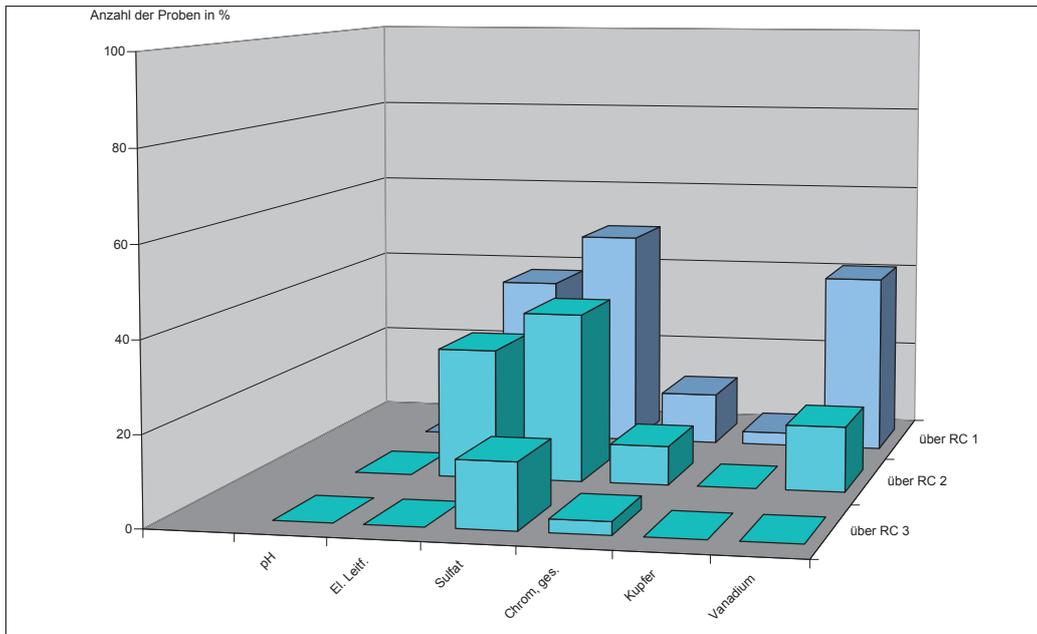


Abb. 13: Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte dem Elutionsverfahren DIN 19529 über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 34 Proben).

im Säulenverfahren nach DIN 19528 angesehen. Diese ist nur bei hoher Trübung erforderlich. Mit dieser Verfahrensvereinfachung ist auch gleichzeitig eine Qualitätsverbesserung verbunden, da eine Absorption am Filtermaterial ausgeschlossen werden kann.

5.3 Bewertung

Die Abbildung 15 zeigt für die Untersuchungen 2009 einen direkten Vergleich der Anzahl der Überschreitungen von den Z 1.1 Werten nach dem baden-württembergischen UVM-Erlass [UVM 2004] und von RC-1-Werten nach dem 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV.

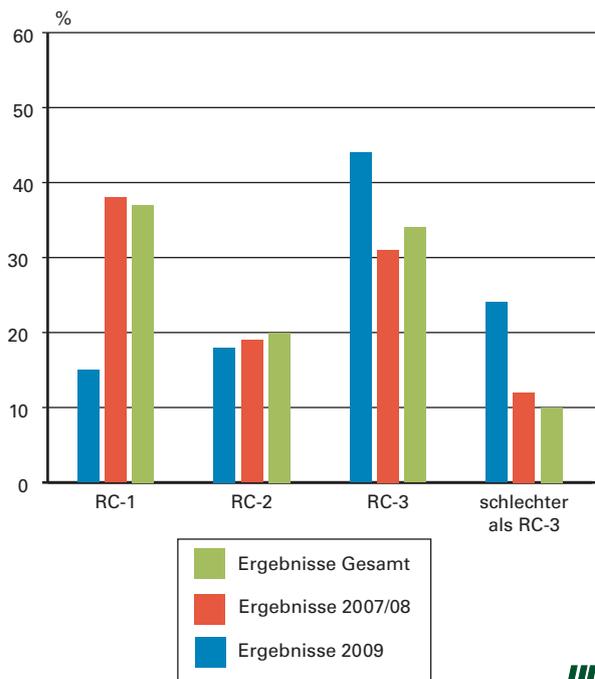
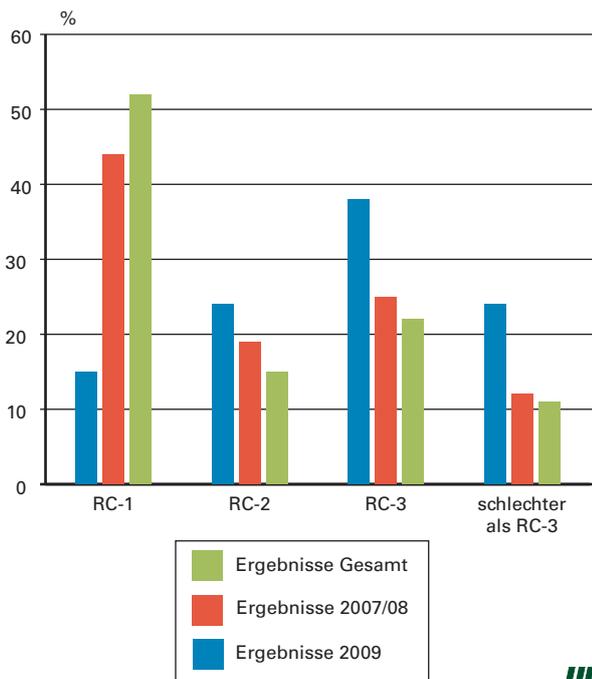


Abb. 11: Zuordnung der Ergebnisse nach dem Säulenverfahren DIN 19528 zu der Kategorien RC-1, RC-2 und RC-3 (Grenzwerte bis 2020)

Abb. 12: Zuordnung der Ergebnisse nach dem Säulenverfahren DIN 19528 zu der Kategorien RC-1, RC-2 und RC-3 (Grenzwerte ab 2020)

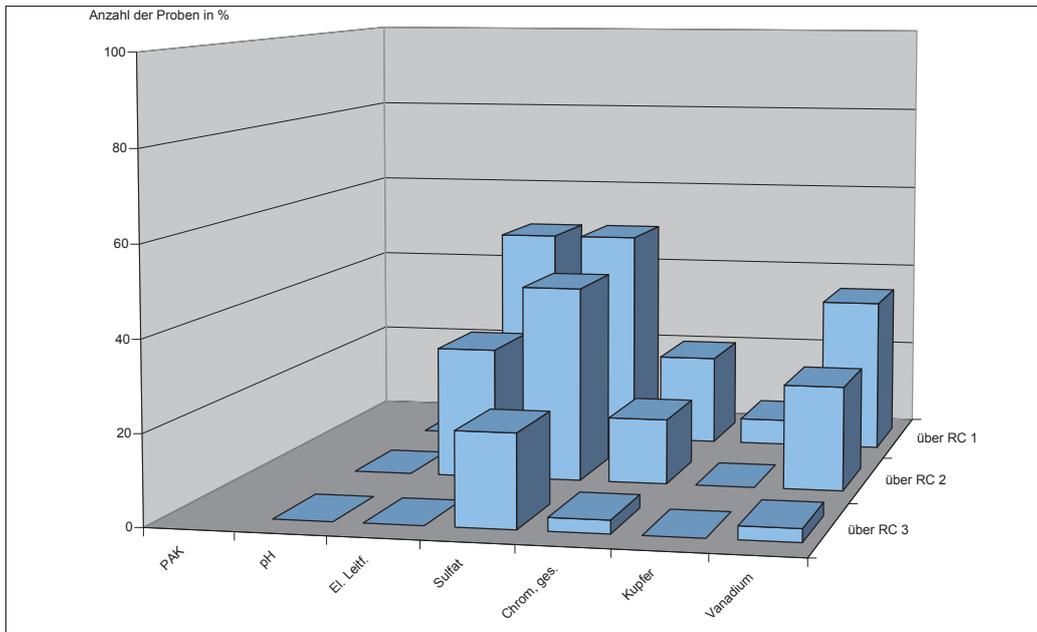


Abb. 14: Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte dem Elutionsverfahren CEN/TS 14405 über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 34 Proben).

Die Abbildung 15 bestätigt den Trend aus den Untersuchungen von 2007/2008:

Sulfat und PAK sind nach den derzeitigen Bewertungsmaßstäben [UVM-Erlass] die entscheidenden Parameter, wenn es um die Einstufung von Baustoffrecyclingmaterial geht.

Mit der neuen ErsatzbaustoffV in der jetzigen Entwurfsform würde PAK an Bedeutung verlieren und die Parameter Sulfat und Vanadium zum maßgeblichen Entscheidungskriterium für die Verwertbarkeit von Recyclingbaustoffen werden.

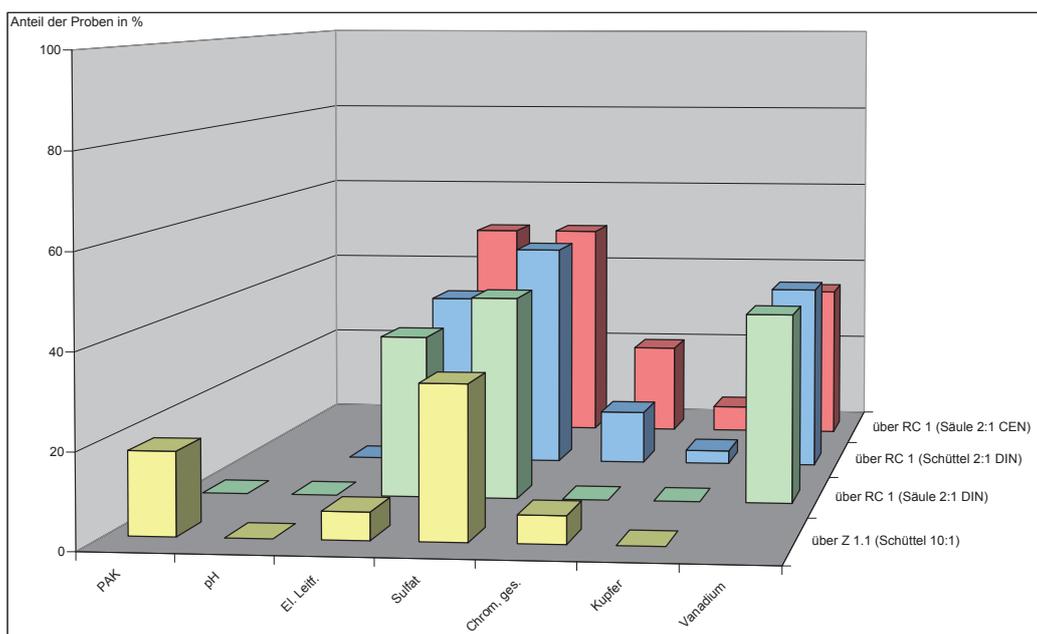


Abb. 15: Vergleich der Überschreitungshäufigkeiten der einzelnen Elutionsverfahren bezogen auf den in Baden-Württemberg geltenden Z 1.1-Wert bzw. den RC-1-Wert des Entwurfs der ErsatzbaustoffV.

6 Literatur

- 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.
- LUBW (2007/2008) Analytische Untersuchung von Bauschuttrecyclingmaterial in Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- UVM (2004) Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.
- UM (2007) Umweltplan Baden-Württemberg 2007, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.
- LAGA (1997) Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- 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.
- QRB (2006) QRB-Leitfaden „Probenbehandlung“, Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e.V. (QRB), Ostfildern.
- 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.
- DIN 932-1, 1996 Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Probenahmeverfahren; Deutsche Fassung EN 932-1:1996
- DIN CEN/TS 14405 Charakterisierung von Abfällen - Auslaugverhalten - Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom (unter festgelegten Bedingungen); Deutsche Fassung CEN/TS 14405: 2004
- DIN 19528 Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen; Juli 2008
- DIN 19529 Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg; September 2007
- DIN 38414-4: 10.84 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4).

7 Tabellen - und Abbildungsverzeichnis

Tab. 1:	In Baden-Württemberg geltende Zuordnungswerte für Baustoffrecyclingmaterial nach UVM-Erlass vom 13.04.2004	10
Tab. 2:	Schadstoffgrenzwerte für Recyclingbaustoffe im 1. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV	10
Tab. 3:	Charakteristische Merkmale der verschiedenen Elutionsverfahren	13
Tab. 4:	Untersuchte Parameter und angewandte Analysenvorschriften	13
Tab. 5.1:	Statistische Auswertung aller Analysen mit dem Schütteleluat nach DIN EN 12457-4 (W/F 10:1) und Vergleich mit den Zuordnungswerten des baden-württembergischen UVM-Erlasses [UVM 2004]	14
Tab. 5.2:	Statistische Auswertung aller Analysen und Vergleich mit den Eluaten aus den Verfahren mit W/F 2:1 und Vergleich mit den RC-Werten des Entwurfs der ErsatzbaustoffV [BMU 2007]	15
Tab. 6:	Prozentualer Anteil der untersuchten Recyclingbaustoffe, die die in Baden-Württemberg geltenden Zuordnungswerte Z 1.1, Z 1.2 bzw. Z 2 einhalten	21

Abb. 1:	Verwertungs- und Beseitigungswege von Bauschutt und Straßenaufbruch in Baden-Württemberg im Jahr 2008 (Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2010)	9
Abb. 2:	Schwermetall- und Arsengehalte in Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75- und 90-Perzentile nach Elution mit dem Schüttelverfahren mit W/F = 10:1 (n = 34 Proben).	16
Abb. 3:	Schwermetall- und Arsengehalte in Box-Plot-Darstellung mit 10-, 25-, 50-, 75- und 90-Perzentilen nach Elution mit dem Schüttelverfahren mit W/F = 2:1 (n = 34 Proben).	17
Abb. 4:	Sulfatgehalte im Eluat von 34 Recyclingbaustoffen, ermittelt mit vier verschiedenen Elutionsverfahren	17
Abb. 5:	Perzentile der Sulfatgehalte im Eluat bei verschiedenen Elutionsverfahren	18
Abb. 6:	Perzentile der elektrischen Leitfähigkeit im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren	18
Abb. 7:	Perzentile des pH-Wertes im Eluat in Abhängigkeit vom Elutionsverfahren	19
Abb. 8:	PAK-Gehalt ermittelt im Feststoff und im Säuleneluat mit W/F 2:1 (n = 34 Proben)	19
Abb. 9:	Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte über den jeweiligen in Baden-Württemberg gültigen Zuordnungswerten liegen (n = 34 Proben)	21
Abb. 10:	Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte mit dem Elutionsverfahren DIN 19528 über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 34 Proben)	22
Abb.11:	Zuordnung der Ergebnisse nach dem Säulenverfahren DIN 19528 zu der Kategorien RC-1, RC-2 und RC-3 (Grenzwerte bis 2020)	23
Abb. 12:	Zuordnung der Ergebnisse nach dem Säulenverfahren DIN 19528 zu der Kategorien RC-1, RC-2 und RC-3 (Grenzwerte ab 2020)	23
Abb. 13:	Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte dem Elutionsverfahren DIN 19529 über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 34 Proben).	23
Abb. 14:	Prozentualer Anteil der Proben, deren Schadstoffgehalte dem Elutionsverfahren CEN/TS 14405 über den Grenzwerten RC-1 bis RC-3 des Entwurfs der ErsatzbaustoffV liegen (n = 34 Proben).	24
Abb. 15:	Vergleich der Überschreitungshäufigkeiten der einzelnen Elutionsverfahren bezogen auf den in Baden-Württemberg geltenden Z 1.1-Wert bzw. den RC-1-Wert des Entwurfs der ErsatzbaustoffV.	24

