

## Umweltverträglichkeit von Baustoffen aus industriellen Prozessen sowie Recycling-Baustoffen

Klaus Mesters und Erhan Özdemir

1.	Industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe.....	798
2.	Aktuelle Anforderungen an die Umweltverträglichkeit .....	798
2.1.	Haumüllverbrennungsasche .....	801
2.2.	Recycling-Baustoffe .....	804
3.	Zukünftige Anforderungen an die Umweltverträglichkeit.....	805
4.	Fazit.....	807
5.	Quellenverzeichnis.....	808

In der Bundesrepublik Deutschland wurden beispielsweise 2008 insgesamt 580,9 Millionen Tonnen Gesteinskörnungen produziert. Hiervon entfielen 260,0 Millionen Tonnen (44,8 %) auf Kies und Sand, 218,0 Millionen Tonnen (37,5 %) auf Naturstein sowie 36,3 Millionen Tonnen (6,2 %) auf industrielle Nebenprodukte und 66,6 Millionen Tonnen (11,5 %) auf Recycling-Baustoffe (Bild 1). Wie diesen Zahlen zu entnehmen ist, verfügt der deutsche Mineralstoffmarkt noch über hohe Substitutionspotenziale.

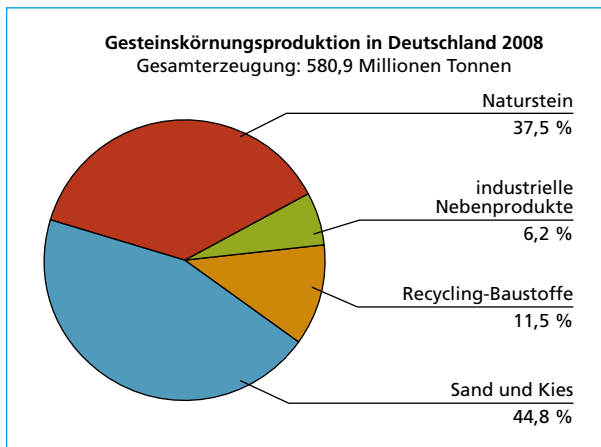


Bild 1:

Gesteinskörnungsproduktion mit Angabe der jeweiligen Anteile der Gesteinsarten

Quelle: Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2008. Mineralische Bauabfälle, Monitoring 2008, – Steine und Erden e.V., Berlin, 2001

Grundvoraussetzung für eine Verwendung von Baustoffen aus industriellen Prozessen sowie Recycling-Baustoffen als Ersatzbaustoffe ist die Einhaltung der Umweltverträglichkeit für das jeweilige Einsatzgebiet. Liegt diese Voraussetzung vor, so ist eine Vielzahl an Anwendungsgebieten unter ökologischen aber auch ökonomischen Gesichtspunkten, z.B. im Straßen- und Erdbau, möglich.

## 1. Industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe

Für den Einsatz von industriellen Nebenprodukten sowie Recycling-Baustoffen im Straßen- und Erdbau gibt es schon seit vielen Jahren einschlägige Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [2], in Form von Technischen Lieferbedingungen (TL), Richtlinien und auch Merkblättern, in denen bautechnische Eigenschaften aber auch Anforderungen an die Umweltverträglichkeit festgelegt sind.

In Bild 2 bis Bild 5 sind industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe exemplarisch fotodokumentiert. Zusätzlich sind in Tabelle 1 ausgewählte industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe in ihrem Entstehungsprozess kurz beschrieben und in Abhängigkeit von den aktuell vorliegenden Regelwerken der FGSV [2] zusammengefasst.



Bild 2: Hochofenstückschlacke – HOS, Kornklasse 8/16 mm, gewaschen



Bild 3: LD-Schlacke – LDS, Kornklasse 8/16 mm, gewaschen



Bild 4: Recycling-Baustoff – RC, Kornklasse 8/16 mm, gewaschen



Bild 5: Hausmüllverbrennungssasche – HMVA, Kornklasse 8/16 mm, gewaschen

## 2. Aktuelle Anforderungen an die Umweltverträglichkeit

Zur Wiederverwendung von Gesteinskörnungen aus industriellen Nebenprodukten oder für rezyklierte Baustoffe gelten bestimmte Anforderungen, die erfüllt werden müssen.

Böden und Baustoffe sind so aufzubereiten und zu lagern, dass sie gleich bleibende Eigenschaften aufweisen und die gestellten Anforderungen einhalten; verwitterte und verunreinigte Anteile von den Gesteinskörnungen müssen ausgeschieden werden. Die Gesteinskörnungen dürfen keine Bestandteile in für die Verwitterungsbeständigkeit schädlichen

Tabelle 1: Kurzbeschreibung ausgewählter industrieller Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe in Abhängigkeit von aktuell vorliegenden Regelwerken der FGSV

Nr.	Baustoff	Kurzbeschreibung	Regelwerk
1.	<b>Eisenhüttenschlacken</b>	zusammenfassende Beschreibung für Hochofenschlacke und Stahlwerksschlacke	TL Gestein-StB, TL BuB E-StB,
1.1	<b>Hochofenschlacke</b>	Gesteinsschmelze, die bei der Herstellung von Roheisen produziert wird	RuA-StB,
1.1.1	Hochofenstückschlacke (HOS)	in Schlackebeeten langsam abgekühlte Hochofenschlacke, kristallin erstarrt	
1.1.2	Hüttensand (HS)	in Granulationsanlagen mit viel Wasser sehr schnell abgekühlte Hochofenschlacke, feinkörnig, glasig erstarrt	Merkblatt über die Verwendung von Hüttensand in Frostschutz- und Schottertragschichten,
1.2.	<b>Stahlwerksschlacke (SWS)</b>	Gesteinsschmelze, die bei der Herstellung von Stahl produziert wird, SWS wird nach dem jeweiligen Stahlherstellungsverfahren bezeichnet	Merkblatt über die Verwendung von Eisenhüttenschlacken im Straßenbau,
1.2.1	Elektroofenschlacke (EOS)	SWS, die bei der Herstellung von Rohstahl nach dem Elektroverfahren produziert wird, kristallin erstarrt	
1.2.2	LD-Schlacke (LDS)	SWS, die bei der Herstellung von Rohstahl nach dem Linz-Donawitz-Verfahren (Blasstahlverfahren, Konverterverfahren) produziert wird, kristallin erstarrt	Merkblatt über die Verwendung von Hüttenmineralstoffgemischen, sekundärmetallurgischen Schlacken sowie Edeltahlschlacken im Straßenbau
1.2.3	Sekundärmetallurgische Schlacke (SEKS)	SWS, die bei der Nachbehandlung des Rohstahls im Rahmen der Herstellung von Qualitäts- und Massestählen produziert wird, kristallin erstarrt	
1.2.4	Edeltahlschlacke (EDS)	SWS die bei der Herstellung von Edelstahl produziert wird, kristallin erstarrt	
2.	<b>Hausmüllverbrennungssasche (HMVA)</b>	aufbereitete Rohasche, die bei der Verbrennung von Siedlungsabfällen, Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in Rostfeuerungsanlagen anfällt	TL Gestein-StB, TL BuB E-StB, RuA-StB, M HMVA
3.	<b>Recycling-Baustoff (RC)</b>	aufbereitete, gebrauchte, natürliche oder künstliche Gesteinskörnungen	TL Gestein-StB, TL BuB E-StB, RuA-StB, M RC, M KRC, Merkblatt über die Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken
4.	<b>Kraftwerksnebenprodukte</b>	bei der Verbrennung von Stein- und Braunkohle anfallende Nebenprodukte	
4.1	Schmelzkammergranulat (SKG)	entsteht bei der Verbrennung von Steinkohle und ggf. Mitverbrennungsstoffen in Kohlekraftwerken mit Schmelzkammerfeuerung	
4.2	Kesselasche (SKA)	entsteht bei der Verbrennung von Steinkohle und ggf. Mitverbrennungsstoffen in Kohlekraftwerken mit Staubfeuerung (Trockenfeuerung)	TL Gestein-StB, TL BuB E-StB, RuA-StB, M KNP
4.3	Steinkohlenflugasche (SFA)	entsteht bei der Verbrennung von Steinkohle und ggf. Mitverbrennungsstoffen in Kohlenstaubfeuerungen mit trockenen oder flüssigem Ascheabzug (Trocken- bzw. Schmelzkammerfeuerungen)	
4.4	Braunkohlenflugasche (BFA)	entsteht bei der Verbrennung von Braunkohle und ggf. Mitverbrennungsstoffen in Kohlekraftwerken mit Staubfeuerung (Trockenfeuerung)	

Quellen zu Tabelle 1:

FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, An Lyskirchen 14, 50676 Köln, [www.fgsv.de](http://www.fgsv.de)

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TL Gestein-StB 04/07, Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Fassung 2007, FGSV-Nr. 613, Köln, 2004

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TL BuB E-StB 09, Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus. FGSV-Nr. 597, Köln, 2009

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: RuA-StB 01, Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau. FGSV-Nr. 642, Köln, 2001

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Hüttsand in Frostschutz- und Schottertragschichten. FGSV-Nr. 628, Köln, 1995

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Eisenhüttschlacken im Straßenbau. FGSV-Nr. 634, Köln, 1999

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Hüttenmineralstoffgemischen, sekundärmetallurgischen Schlacken sowie Edelstahlschlacken im Straßenbau. FGSV-Nr. 635, Köln, 1998

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M HMVA, Merkblatt über die Verwendung von Hausmüllverbrennungssasche im Straßenbau – HMVA. FGSV-Nr. 639, Köln, 2005

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M RC, Merkblatt über die Wiederverwendung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau. FGSV-Nr. 616/3, Köln, 2002

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M KRC, Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenbau. FGSV-Nr. 636, Köln, 2005

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken. FGSV-Nr. 828, Köln, 1998

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M KNP, Merkblatt über die Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten im Straßenbau. FGSV-Nr. 624, Köln, 2009

Mengen enthalten, die quellen, zerfallen, sich lösen oder chemisch umsetzen können (z.B. mergelige und tonige Körner, bestimmte Ton- und Glimmerminerale, Pyrit, Markasit, Gips, Calcium- und Magnesiumoxid).

Außerdem dürfen die Korngruppen/Lieferkörnungen keine groben Stoffe organischen Ursprungs, wie Holz oder Pflanzenreste sowie Fremdstoffe, wie Metall oder Kunststoffe, in zu großen Mengen enthalten.

Für jeden Baustoff gelten zudem die bereits beschriebenen bautechnischen Angaben und Anforderungen.

Um diese Baustoffe im Straßen- und Erdbau einsetzen zu können, muss zuvor sichergestellt sein, dass diese für die Umwelt verträglich sind. Welche physikalischen oder chemischen Eigenschaften ein Baustoff in welcher Weise erfüllen muss, hängt von den Rahmenbedingungen seines vorgesehenen Verwendungszwecks ab. Aus diesem Grunde existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Normen und Regelwerke, die anwendungsbezogene Anforderungen an diese Baustoffe formulieren.

Gemäß den Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau (RuA-StB) [5] stellt die Verwertung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen ein wichtiges abfallwirtschaftliches und volkswirtschaftliches Instrument zur vom Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [13] geforderten Abfallvermeidung und Ressourcenschonung dar (neues KrWG [14] tritt am 01. Juni 2012 in Kraft). Für die Umsetzung des KrW-/AbfG [13] sind allgemeine Anforderungen an die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung einzuhalten. In diesem Zusammenhang sind das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) [15] und die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [16] sowie in besonderem Maße das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [17] zu beachten. In einigen

Anwendungsmöglichkeiten können auch andere Umwelt-Schutzgüter, z.B. Pflanzen, betroffen sein. Nach wasserrechtlichen Grundsätzen des WHG [17] hat die Verwertung von Stoffen so zu erfolgen, dass eine schädliche Verunreinigung des Grund- und Oberflächenwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist. Aus den genannten Gesetzen lassen sich keine unmittelbar zu stellenden Anforderungen an Straßenbaustoffe im Allgemeinen sowie an industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe im Besonderen ableiten.

Dabei gilt im Grundsatz das Prinzip der Gleichwertigkeit, das heißt, dass der gleiche Maßstab an Anforderungen wie bei den Anforderungen an Baustoffe aus Primärrohstoffen besteht. Nur so kann das am Markt erforderliche Vertrauen in diese Baustoffe geschaffen und ausgebaut werden und damit ein realer Beitrag zur Schonung der natürlichen Ressourcen sowie Erhalt der natürlichen Schutzgüter Wasser und Boden erreicht werden. Darüber hinaus ist die Unbedenklichkeit hinsichtlich potenzieller Auswirkungen auf die Umwelt, speziell Boden und Grundwasser, nachzuweisen. Diese liegen in Deutschland in der Zuständigkeit der Bundesländer. Beispielsweise gelten für die Hausmüllverbrennungsasche (HMVA) und Recycling-Baustoffe die in den Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB) [3] angegebenen Richt- und Grenzwerte für umweltrelevante Merkmale sowie die Untersuchungsverfahren vorbehaltlich der Regelungen der zuständigen Landesbehörden bzw. bei in Kraft treten der Mantelverordnung (Ersatzbaustoffverordnung) [18] des Bundes mit Einschränkung der darin enthaltenen Regelungen und Werte. Eine wesentliche Voraussetzung für die dauerhafte Einhaltung der Umweltverträglichkeit von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen ist eine dezidierte Qualitätssicherung dieser Baustoffe. Die Qualitätssicherung/Güteüberwachung von Sekundärbaustoffen (industrielle Nebenprodukten und Recycling-Baustoffe) besteht in der Regel aus einer Eigen- und Fremdüberwachung. Der Eignungsnachweis und die Prüfungen für die Fremdüberwachung sind im klassifizierten Straßenbau von einer nach den Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau (RAP Stra) [19] zugelassene Prüfstelle durchzuführen, die von der obersten Straßenbaubehörde anerkannt sind. Die Einhaltung der Grenzwerte ist Grundvoraussetzung für die Verwendbarkeit der Sekundärbaustoffe im Straßen- und Erdbau. Zur Beurteilung der aus Sicht des Grundwasserschutzes möglichen Verwertung sind daher im Anwendungsfall die Bauweise und die Lage der Baumaßnahme zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden 2 Beispiele über die Anforderungen an die Wiederverwendung von Hausmüllverbrennungsaschen und Recycling-Baustoffen im Straßen- und Erdbau behandelt, die in Nordrhein-Westfalen gelten.

### 2.1. Hausmüllverbrennungsasche

Die Verwertung von Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA) kann nachteilige Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Grundwasser haben, da diese Materialien eventuell Stoffe enthalten, die in das Gewässer eingetragen werden können. Das Wasserrecht enthält dazu besondere Anforderungen, die jeden verpflichtet, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhindern.

Die Verwertung von mineralischen Stoffen aus Hausmüllverbrennungsaschen kann auch Auswirkungen auf die Bodenfunktionen haben, da diese Materialien Stoffe enthalten, die den Boden beeinträchtigen können. Auch hierfür gibt es Grundsätze, die besagen, dass der Boden vor schädlichen Veränderungen zu schützen und Vorsorge gegen das Entstehen von schädlichen Bodenveränderungen zu treffen ist.

Zur Verbesserung der bautechnischen Eigenschaften können Gemische mit Hausmüllverbrennungssaschen hergestellt werden, sofern sowohl die HMVA als auch der dazu gemischte mineralische Stoff güteüberwacht und für das Verwertungsgebiet zugelassen sind. Beispiele für Mischungen sind u.a. 70 M.-% HMVA und 30 M.-% HOS oder 80 M.-% HMVA und 20 M.-% SFA.

Gemäß dem in NRW verbindlich geltenden Gem. RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz IV-3-953-26308-IV-8-1573-30052 und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr VI A3-32-40/45 vom 09.10.01 *Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungssaschen im Straßen- und Erdbau* (Gem. RdErl. NRW für HMVA) [20]

Tabelle 2: Anforderungen an die umweltrelevanten Merkmale von Hausmüllverbrennungssaschen mit Gegenüberstellung der Grenz- und Zuordnungswerte

Parameter	Einheit	Grenzwert gemäß gem. RdErl. NRW		Grenzwert gemäß TL Gestein-StB		Zuordnungswerte
		HMVA I	HMVA II	HMVA-1	HMVA-2	gemäß LAGA 20
<b>Eluatanalyse</b>						
pH-Wert <sup>1)</sup>		7 – 13	7 – 13	7 – 13	7 – 13	7-13
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	≤ 2.000	≤ 5.000	≤ 2.000	≤ 6.000	≤ 6.000
Chlorid	mg/l	≤ 50	≤ 250	≤ 50	≤ 250	≤ 250
Sulfat	mg/l	≤ 200	≤ 600	≤ 200	≤ 600	≤ 600
DOC	mg/l	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>
Cyanid (l.fr.)	mg/l	–	–	–	–	≤ 0,02
Arsen	µg/l	– <sup>3)</sup>	– <sup>3)</sup>	–	–	– <sup>3)</sup>
Blei	µg/l	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Cadmium	µg/l	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Chrom VI <sup>2)</sup>	µg/l	≤ 50	≤ 50	–	–	–
Chrom ges.	µg/l	–	–	–	–	≤ 200
Kupfer	µg/l	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300
Nickel	µg/l	–	–	–	–	≤ 40
Quecksilber	µg/l	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Zink	µg/l	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300	≤ 300
<b>Feststoffanalyse</b>						
TOC	Ma.-%	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 1 <sup>4)</sup>
EOX	mg/kg	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3

<sup>1)</sup> Kein Grenzwert.

<sup>2)</sup> Wert gilt als eingehalten, wenn Chrom gesamt < dem angegebenen Grenzwert.

<sup>3)</sup> Zur Erfahrungssammlung zu bestimmen.

<sup>4)</sup> für Altanlagen gilt 3 Ma.-%.

Quellen:

Gem. RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz IV-3-953-26308-IV-8-1573-30052 und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr VI A3-32-40/45 vom 09.10.01: *Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungssaschen im Straßen- und Erdbau*

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TL Gestein-StB 04/07, Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Fassung 2007, FGSV-Nr. 613, Köln 2004

LAGA 20 – Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen. Stand 06. November 1997, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1998



Tabelle 3: Anforderungen an die umweltrelevanten Merkmale von Recycling-Baustoffen mit Gegenüberstellung der Grenz- und Zuordnungswerte

Parameter	Einheit	Grenzwert gemäß RdErl. NRW		Grenzwert gemäß TL Gestein-StB			Zuordnungswert gemäß LAGA 20			
		RCL I	RCL II	RC-1	RC-2	RC-3	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
<b>Eluatanalyse</b>										
pH-Wert <sup>1)</sup>		7,0 – 12,5		7,0 – 12,5			7,0 – 12,5			
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	2.000	3.000	1.500 <sup>5)</sup>	2.500 <sup>5)</sup>	3.000 <sup>5)</sup>	500	1.500	2.500	3.000
Chlorid	mg/l	40	150	20	40	150	10	20	40	150
Sulfat	mg/l	150	600	150	300	600	50	150	300	600
Arsen	µg/l	–	–	10	40	50	10	10	40	50
Blei	µg/l	40	100	40	100	100	20	40	100	100
Cadmium	µg/l	5	5	2	5	5	2	2	5	5
Chrom (ges.)	µg/l	–	–	30	75	100	15	30	75	100
Kupfer	µg/l	100	200	50	150	200	50	50	150	200
Nickel	µg/l	30	100	50	100	100	40	50	100	100
Quecksilber	µg/l	–	–	0,2	1	2	0,2	0,2	1	2
Zink	µg/l	200	400	100	300	400	100	100	300	400
Phenolindex	µg/l	50	100	10	50	100	< 10	10	50	100
PAK n. EPA	µg/l	5 <sup>3)</sup>		–	–	–	–	–	–	–
<b>Feststoffanalyse</b>										
Arsen <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	20 <sup>12)</sup>	30 <sup>12)</sup>	50 <sup>12)</sup>	150 <sup>12)</sup>
Blei <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	100	200 <sup>12)</sup>	300 <sup>12)</sup>	1.000 <sup>12)</sup>
Cadmium <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	0,6	1 <sup>12)</sup>	3 <sup>12)</sup>	10 <sup>12)</sup>
Chrom (ges.) <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	50	100 <sup>12)</sup>	200 <sup>12)</sup>	600 <sup>12)</sup>
Kupfer <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	40	100 <sup>12)</sup>	200 <sup>12)</sup>	600 <sup>12)</sup>
Nickel <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	40	100 <sup>12)</sup>	200 <sup>12)</sup>	600 <sup>12)</sup>
Quecksilber	mg/kg	–	–	–	–	–	0,3	1	3	10
Zink <sup>10)</sup>	mg/kg	–	–	–	–	–	120	300 <sup>12)</sup>	500 <sup>12)</sup>	1.500 <sup>12)</sup>
Kohlenwasserstoffe (C <sub>10</sub> – C <sub>40</sub> )	mg/kg	–	–	–	–	–	100	300 <sup>9)</sup>	500 <sup>9)</sup>	1.000 <sup>9)</sup>
Kohlenwasserstoffe (C <sub>10</sub> – C <sub>22</sub> )	mg/kg	–	–	300 <sup>6)</sup>	300 <sup>6)</sup>	1.000 <sup>6)</sup>	100	300 <sup>9)</sup>	500 <sup>9)</sup>	1.000 <sup>9)</sup>
PAK n. EPA	mg/kg	3 <sup>3)</sup>	5 <sup>4)</sup>	5	15	75 <sup>7)</sup>	1	5 (20) <sup>11)</sup>	15 (50) <sup>11)</sup>	75 (100) <sup>11)</sup>
EOX	mg/kg	15	75	3	5	10	1	3	5	10
PCB <sup>8)</sup>	mg/kg	–	–	0,1 <sup>8)</sup>	0,5 <sup>9)</sup>	1,0 <sup>9)</sup>	0,02	0,1	0,5	1

<sup>1)</sup> Kein Grenzwert; stofftypischer Bereich: bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.

<sup>2)</sup> nur einzuhalten, wenn Feststoffwert > 15 und < 20 mg/kg.

<sup>3)</sup> Überschreitungen bis 20 mg/kg zulässig, wenn Eluatwert < 5 µg/l.

<sup>4)</sup> Überschreitungen bis 100 mg/kg zulässig.

<sup>5)</sup> Wert ist kein Ausschlusskriterium, wenn der pH-Wert über 11,5 liegt und die Werte für Chlorid und Sulfat eingehalten werden.

<sup>6)</sup> Die angegebenen Werte gelten für Kohlenwasserstoff-Verbindungen von C<sub>10</sub> bis C<sub>22</sub>. Überschreitungen, die auf Asphaltanteile zurückzuführen sind, stellen kein Ausschlusskriterium dar.

<sup>7)</sup> Werte bis 100 mg/kg sind zulässig unter folgenden Bedingungen:

- Die erhöhten PAK-Gehalte sind auf pechhaltige Anteile zurückzuführen.
- Es handelt sich um Baumaßnahmen im klassifizierten Straßenoberbau bzw. Verkehrsflächenoberbau (ausgenommen Wirtschaftswegebau).
- Es handelt sich um eine größere Baumaßnahme (eingebauter Recycling-Baustoff > 500 m<sup>3</sup>).
- Es darf sich nicht um Flächen handeln, auf denen mit häufigen Aufbrüchen gerechnet werden muss.
- Die Recyclinganlage muss einer regelmäßigen Güteüberwachung unterliegen.

<sup>8)</sup> Nachzuweisen bei spezifischem Verdacht.

<sup>9)</sup> Überschreitungen, die auf Asphaltanteile zurückzuführen sind, stellen kein Ausschlusskriterium dar.

<sup>10)</sup> Sollen Recyclingbaustoffe, z.B. Vorabsiebmaterial, und nicht aufbereiteter Bauschutt als Bodenmaterial für Rekultivierungszwecke und Geländeauffüllungen in der Einbauklasse 1 verwendet werden, ist die Untersuchung von Arsen und Schwermetallen erforderlich. Es gelten dann die Kriterien und Zuordnungswerte Z 1 ( Z 1.1 und Z 1.2) der Technischen Regeln Boden.

<sup>11)</sup> Im Einzelfall kann bis zu dem in Klammern genannten Wert abgewichen werden.,

<sup>12)</sup> Zuordnungswerte Z 1 ( Z 1.1 und Z 1.2) der Technischen Regeln Boden.

Quellen zu Tabelle 3:

Gem. RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz – IV-3-953-26308-IV-8-1573-30052 – und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr – VI A3-32-40/45 –, 09.10.01: Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TL Gestein-StB 04/07, Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Fassung 2007, FGSV-Nr. 613, Köln, 2004

LAGA 20 – Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen. Stand 06. November 1997, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1998

werden Hausmüllverbrennungsaschen nach ihren wasserwirtschaftlichen Merkmalen in bessere Qualität HMVA I (Hausmüllverbrennungsasche mit geringerer Salzbelastung) und schlechtere Qualität HMVA II (Hausmüllverbrennungsasche mit höherer Salzbelastung) unterschieden. Die im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung einzuhaltenden wasserwirtschaftlichen Merkmale im Eluat und im Feststoff für HMVA I und HMVA II gemäß Gem. RdErl. NRW für HMVA [20] sind in Tabelle 2 aufgeführt. Zusätzlich sind noch zum Vergleich die Grenzwerte der TL Gestein StB [3] und die Zuordnungswerte der Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, Stand 06. November 1997 (LAGA 20) [21] für HMV-Schlacken, da in anderen Bundesländern unterschiedliche Anforderungen gelten, mit aufgeführt; maßgeblich in NRW sind die Grenzwerte gemäß Gem. RdErl. NRW für HMVA [20].

## 2.2. Recycling-Baustoffe

Recycling-Baustoffe dürfen in der Regel nur als geprüfte, güteüberwachte und zertifizierte Recycling-Baustoffe in Verkehr gebracht werden. Der Nachweis der Bautaughkeit und der Umweltverträglichkeit erfolgt durch eine ständige qualitätssichernde Güteüberwachung. Die umwelttechnischen Anforderungen sind abhängig von der Einbauweise, dem Einbauort und dem jeweiligen Verwendungszweck.

Zur sicheren Einhaltung der Anforderungen an die herzustellenden Recycling-Baustoffe hat in der Regel eine Trennung der gemischt angefallenen und/oder gemeinsam erfassten Ausgangsstoffe nach Stoffarten zu erfolgen.

Für RC-Baustoffe gelten die gleichen Wasser- und Bodengrundsätze wie für Hausmüllverbrennungsaschen.

Die Einteilung von RC-Baustoffen besteht gemäß Gem. RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz -IV-3-953-26308-IV-8-1573-30052- und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr -VI A3-32-40/45 vom 09.10.01 *Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau* (Gem. RdErl. NRW für Recycling-Baustoffe) [22] aus einer besseren Qualität RCL I und einer schlechtere Qualität RCL II.

Die im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung einzuhaltenden wasserwirtschaftlichen Merkmale im Eluat und im Feststoff für RCL I und RCL II gemäß Gem. RdErl. NRW für Recycling-Baustoffe [22] sind in Tabelle 3 aufgeführt. Zusätzlich sind



zum Vergleich die Grenzwerte der TL Gestein StB [3] und Zuordnungswerte der LAGA 20 [21] für Recycling-Baustoffe/nicht aufbereiteten Bauschutt, da in anderen Bundesländern unterschiedliche Anforderungen gelten, mit aufgeführt; maßgeblich in NRW sind die Grenzwerte gemäß Gem. RdErl. NRW für Recycling-Baustoffe [22].

### 3. Zukünftige Anforderungen an die Umweltverträglichkeit

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat am 13.11.2007 einen ersten Arbeitsentwurf für eine Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz-Verordnung [23] veröffentlicht. Gemäß Artikel 1 *Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken* (Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV) des Arbeitsentwurfs dient diese Verordnung dem Zweck, die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung von mineralischen Abfällen sowie die Einhaltung der entsprechenden Anforderungen bei dem Einsatz von industriellen Nebenprodukten und Recyclingprodukten, insbesondere zum Schutz des Bodens und des Grundwassers, sicher zu stellen. Durch die Festsetzung rechtsverbindlicher Anforderungen an den schadlosen Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe soll die derzeitige Rechtsunsicherheit für Erzeuger, Aufbereiter, Abnehmer und Behörden beseitigt werden. Damit sollen gleichzeitig gegenwärtige ungleiche Wettbewerbsbedingungen auf Grund unterschiedlicher Länderregelungen und Vollzugspraktiken vermieden werden. Durch die Aufstellung allgemeingültiger Anforderungen soll der mit Einzelfallprüfungen verbundene administrative Aufwand bei Wirtschaft und Behörden verringert werden.

Die Ersatzbaustoffverordnung liegt nach dem 1. Arbeitsentwurf aus dem Jahr 2007 nunmehr als Teil der geplanten Mantelverordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material seit dem 06.01.2011 [18] als 2. Arbeitsentwurf vor.

Nach der o.g. Verordnung werden zur Überprüfung der Umweltverträglichkeit neue Verfahren zur Anwendung kommen sowie neue Anforderungen an industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe gestellt.

Für die von dieser Verordnung erfassten Ersatzbaustoffe gilt grundsätzlich, dass das Material in der Kornverteilung zu untersuchen ist, in der es eingebaut werden soll. Die Probenaufbereitung erfolgt nach DIN EN 932-2 [24]. Materialien mit Größtkorn > 32 Millimeter sind nach dem neuen Auslaugungsverfahren gemäß DIN 19528 *Elution von Feststoffen – Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen*, Ausgabe Januar 2009 [25] aufzubereiten. Dieses neue Auslaugungsverfahren legt ein Perkulationsverfahren im Aufwärtsstrom zur Ermittlung der eluierbaren anorganischen und organischen Stoffanteile fest und dient u.a. zur grundlegenden Charakterisierung oder zur Übereinstimmungsuntersuchungen von Feststoffen. Gemäß der schematischen Darstellung in Bild 6 wird der zu untersuchende Feststoff mit Wasser im Aufwärtsstrom bei einer festgelegten Kontaktzeit des Wassers mit dem Feststoff perkoliert. Das Verfahren liefert wässrige Eluate für nachfolgende Untersuchungen. Bisherige Untersuchungen nach DIN 19528 [25] haben gezeigt, dass allein für die Herstellung des Eluats eine Gesamtdauer von bis zu 100 Stunden (rund 4 Tage) benötigt werden kann. Im Vergleich zum neuen Auslaugungsverfahren gemäß DIN 19528 [25] wird beim derzeitigen verwendeten modifizierten Auslaugungsverfahren nach TP Gestein-StB, Teile 7.1.1 [26] (Abwandlung des Standard S4-Verfahren gemäß DIN 38414-4 [27]) eine Versuchsdauer für die Herstellung des Eluats von 24 Stunden benötigt.

Hinzu kommt, dass mit dem im 1. und 2. Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV [18, 23] festgelegten Auslaugungsverfahren nach DIN 19528 [25] nunmehr ein Verfahren verankert ist, welches im Vergleich zu den bestehenden stoff- und verfahrensspezifischen Regelwerken keine Langzeiterfahrungen aufweist.

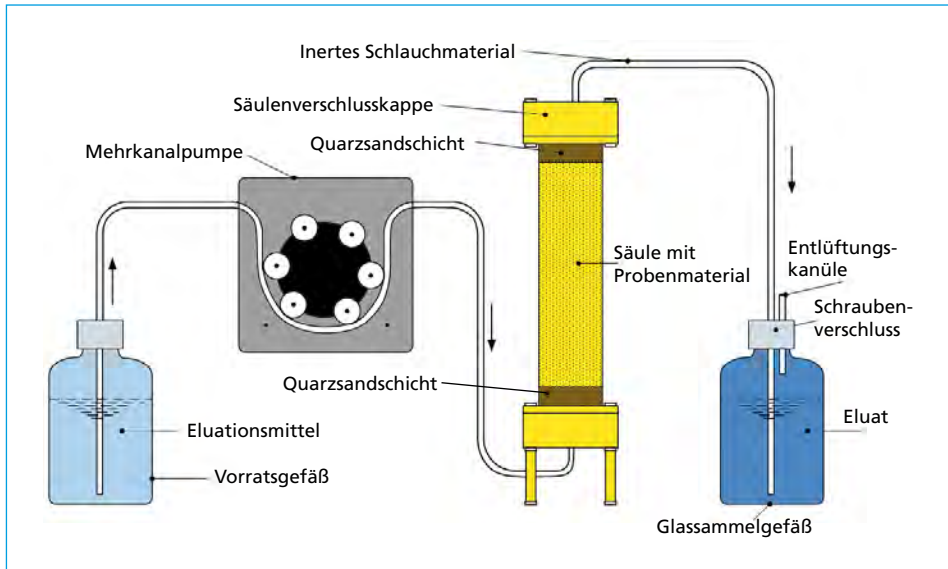


Bild 6: Schematische Darstellung des Säulenversuchs mit den dazugehörigen Geräten und Versuchskomponenten

Quelle: DIN 19528 – Elution von Feststoffen – Perkollationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. Berlin: Beuth Verlag, 2009

Am Beispiel von der Hausmüllverbrennungsasche und den Recycling-Baustoffen sind nach der o.g. Verordnung die neuen Anforderungen gemäß dem 1. AE und 2. AE in Tabelle 4 und 5 gegenübergestellt. Allgemein kann festgehalten werden, dass im 1. und 2. AE der ErsatzbaustoffV/Mantelverordnung [18, 23] für z.B. Hausmüllverbrennungsaschen und Recycling-Baustoffe nur noch Anforderungen im Eluat gelten, ausgenommen davon sind Anforderungen an PAK für Recycling-Baustoffe (2. AE nicht mehr). Bei Hausmüllverbrennungsaschen liegen im Vergleich zu den derzeit geltenden Vorschriften – Gem. RdErl. NRW [20, 21], TL Gestein-StB [3], LAGA 20 [21] – hinsichtlich der Parameter DOC, Cyanide (l.fr.), Arsen (im 1. AE noch enthalten), Blei, Cadmium, Chrom VI, Nickel, Quecksilber und Zink keine Anforderungen vor, dagegen stellen die Parameter Antimon, Molybdän und Vanadium neue Anforderungen dar.

Bei Recycling-Baustoffen wurden im 1. AE der ErsatzbaustoffV [23] ebenfalls nur Anforderungen im Eluat festgelegt, die auf die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Sulfat, PAK15, Chrom(ges.), Kupfer und Vanadium beschränkt waren. Als neue Anforderung für Recycling-Baustoffe ist der Parameter Vanadium zu nennen. Im 2. AE der ErsatzbaustoffV (Mantelverordnung) [18] dagegen wurden die Anforderungen für Recycling-Baustoffe noch zusätzlich um die Parameter Phenolindex im Eluat – Grenzwert für alle drei RC-Klassen RC-1, RC-2 und RC-3 von 100 µg/l – und PAK im Feststoff – Grenzwert für alle drei RC-Klassen RC-1, RC-2 und RC-3 von 25 mg/kg – erweitert.

Tabelle 4: Im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung nach DIN 19528 (Säulenschnelltest bis WF = 2) für Hausmüllverbrennungaschen einzuhaltende Materialwerte – 1. und 2. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung

Parameter	Einheit	Grenzwert gemäß Ersatzbaustoffverordnung			
		HMVA-1		HMVA-2	
		1. AE	2. AE	1. AE	2. AE
pH-Wert <sup>1)</sup>		7 – 13	7 – 13	7 – 13	7 – 13
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	≤ 5.000	≤ 10.000	≤ 15.000	≤ 10.000
Chlorid	mg/l	≤ 560	≤ 3.000	≤ 2.500	≤ 3.000
Sulfat	mg/l	≤ 280	≤ 2.000	≤ 2.000	≤ 2.000
Antimon	µg/l	≤ 5	≤ 55	≤ 200	≤ 150
Arsen	µg/l	≤ 10	–	≤ 60	–
Chrom ges.	µg/l	≤ 90	≤ 460	≤ 250	≤ 600
Kupfer	µg/l	≤ 75	≤ 850	≤ 2.000	≤ 1.000
Molybdän	µg/l	≤ 35	≤ 400	≤ 1.000	≤ 1.000
Vanadium	µg/l	≤ 25	≤ 150	≤ 120	≤ 150

<sup>1)</sup> Gilt ab 1.1.2010.

Tabelle 5: Im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung nach DIN 19528 (Säulenschnelltest bis WF = 2) für Recycling-Baustoffe einzuhaltende Materialwerte – 1. und 2. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung

Parameter	Einheit	Grenzwert gemäß Ersatzbaustoffverordnung					
		RC-1		RC-2		RC-3	
		1. AE	2. AE	1. AE	2. AE	1. AE	2. AE
pH-Wert <sup>1)</sup>		7 – 12,5	6 – 13	7 – 12,5	6 – 13	7 – 12,5	6 – 13
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	≤ 2.000	≤ 2.500	≤ 2.500	≤ 3.200	≤ 10.000	≤ 10.000
Sulfat	mg/l	≤ 350 (≤ 200) <sup>1)</sup>	≤ 350 (≤ 220) <sup>1)</sup>	≤ 700 (≤ 350) <sup>1)</sup>	≤ 700 (≤ 300) <sup>1)</sup>	≤ 1.400	≤ 3.500
PAK <sub>15</sub>	µg/l	≤ 3	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 12	≤ 15	≤ 20
PAK <sub>16</sub>	mg/kg	–	≤ 25	–	≤ 25	–	≤ 25
Phenolindex	µg/l	–	≤ 100	–	≤ 100	–	≤ 100
Chrom ges.	µg/l	≤ 50	≤ 135	≤ 60	≤ 555	≤ 100	≤ 2.725
Kupfer	µg/l	≤ 40	≤ 110	≤ 70	≤ 185	≤ 100	≤ 300
Vanadium	µg/l	≤ 30	≤ 50	≤ 50	≤ 990	≤ 100	≤ 4.845

<sup>1)</sup> Gilt ab 1.1.2020.

## 4. Fazit

Grundvoraussetzung für eine Verwendung von Baustoffen aus industriellen Prozessen sowie Recycling-Baustoffen als Ersatzbaustoffe ist die Einhaltung der Umweltverträglichkeit für das jeweilige Einsatzgebiet. Liegt diese Voraussetzung vor, so ist eine Vielzahl an Anwendungsgebieten, z.B. im Straßen- und Erdbau, denkbar, die unter ökologischen aber auch ökonomischen Gesichtspunkten Erfolg versprechend sein können.

Zur Wiederverwendung von Gesteinskörnungen aus industriellen Nebenprodukten oder für rezyklierte Baustoffe gelten bestimmte Anforderungen, die erfüllt werden müssen. Hinsichtlich der Umweltverträglichkeit liegen diese in Deutschland in der Zuständigkeit der Bundesländer. Bedauerlicherweise liegt auf Länderebene eine Vielzahl an unterschiedlichen Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Ersatzbaustoffen vor, die zu erheblichen Irritationen in der Anwendung von Sekundärbaustoffen führen. Es bleibt zu hoffen, dass nunmehr schnellstmöglich bundeseinheitliche Anforderungen geschaffen werden, die die für den Einsatz solcher Baustoffe erforderliche nachhaltige Rechtssicherheit schaffen.

## 5. Quellenverzeichnis

- [1] Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe: Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2008. Mineralische Bauabfälle, Monitoring 2008, – Steine und Erden e.V., Berlin, 2001, [www.kreislaufwirtschaft-bau.de](http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de)
- [2] FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, An Lyskirchen 14, 50676 Köln, [www.fgsv.de](http://www.fgsv.de)
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TL Gestein-StB 04/07, Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Fassung 2007, FGSV-Nr. 613, Köln 2004
- [4] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TL BuB E-StB 09, Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus. FGSV-Nr. 597, Köln, 2009
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: RuA-StB 01, Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau. FGSV-Nr. 642, Köln, 2001
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Hüttensand in Frostschutz- und Schottertragschichten. FGSV-Nr. 628, Köln, 1995
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Eisenhüttenschlacken im Straßenbau. FGSV-Nr. 634, Köln, 1999
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Verwendung von Hüttenmineralstoffgemischen, sekundärmetallurgischen Schlacken sowie Edelstahlschlacken im Straßenbau. FGSV-Nr. 635, Köln, 1998
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: MHMVA, Merkblatt über die Verwendung von Hausmüllverbrennungssasche im Straßenbau – HMVA. FGSV-Nr. 639, Köln, 2005
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M RC, Merkblatt über die Wiederverwendung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau. FGSV-Nr. 616/3, Köln, 2002
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M KRC, Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenbau. FGSV-Nr. 636, Köln, 2005
- [12] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Wiederverwendung von Beton aus Fahrbahndecken. FGSV-Nr. 828, Köln, 1998
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: M KNP, Merkblatt über die Verwendung von Kraftwerksnebenprodukten im Straßenbau. FGSV-Nr. 624, Köln, 2009
- [14] Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24. Februar 2012, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2012, Teil I Nr. 10, Bonn, 29. Februar 2012
- [15] Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998, Artikel 1, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG)
- [16] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999

- [17] Gesetz zur Verordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), Fassung vom 12. November 1996
- [18] Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material, 2. Arbeitsentwurf vom 06.01.2011
- [19] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau – RAP Stra. Ausgabe 2010, FGSV-Nr. 916, Köln, 2010
- [20] Gem. RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz IV-3-953-26308-IV-8-1573-30052 und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr VI A3-32-40/45 vom 09.10.01: *Anforderungen an die Güteüberwachung und den Einsatz von Hausmüllverbrennungssachen im Straßen- und Erdbau.*
- [21] LAGA 20 – Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen. Stand 06. November 1997, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1998
- [22] Gem. RdErl. des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz -IV-3-953-26308-IV-8-1573-30052- und des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr -VI A3-32-40/45-, 09.10.01: *Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau*
- [23] Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 1. Arbeitsentwurf vom 06.01.2011
- [24] DIN EN 932-2 – Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben. Berlin: Beuth Verlag, 1999
- [25] DIN 19528 – Elution von Feststoffen – Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. Berlin: Beuth Verlag, 2009
- [26] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: TP Gestein-StB Teil 7.1.1 – Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Teil 7.1.1: Modifiziertes DEV-S4-Verfahren. Köln, 2008
- [27] DIN 38414-4 – Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung, Schlamm und Sedimente (Gruppe S), Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4). Berlin: Beuth Verlag, 1984

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Recycling und Rohstoffe** – Band 5

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012

ISBN 978-3-935317-81-8

ISBN 978-3-935317-81-8 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2012

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Janin Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.