



**Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des
schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mine-
ralischer Ersatzbaustoffe und Prüfung alternativer
Wertevorschläge**

ANHANG

Zwischenbericht 2010

Januar 2011

im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

FKZ: 3707 74 301



Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge

Kurztitel:

Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe

Zwischenbericht zu den wissenschaftlichen Grundlagen einer Verordnung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung, Artikel 2 der MantelV)

Zwischenbericht 2010 (Anhang)

vom 31. Januar 2011

Zuwendungsempfänger: Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Arbeitsgruppe Hydrogeochemie, Prof. Dr. Peter Grathwohl

Förderkennzeichen: 3707 74 301

Vorhabenbezeichnung: BMU-/UBA-Vorhaben „Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Sekundärrohstoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge“

(Ergänzungsvorhaben zum UBA-Vorhaben „Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden“ mit dem FKZ: 205 74 251 des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf)

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2007 bis 31.12.2011

Berichtszeitraum: 01.06.2008 - 31.12.2010, vorgezogener Zwischenbericht 2010 zum laufenden Projekt, Schlussbericht mit Ergänzungen im Juni 2012

Projektleitung: Dr. Bernd Susset

Projektbearbeitung: Dr. Bernd Susset, Dr. Ulrich Maier

Rückfragen bitte an Herrn Susset richten

Anhang zu den Kapiteln 4 - 6

Inhaltsverzeichnis

4 Anhang zu Kapitel 4 Teil II „Berechnung der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen“ – Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)	3
4.1 Änderungen bei anorganischen Parametern	3
4.2 Änderungen bei organischen Parametern	6
5 Anhang zu Kapitel 5 Teil II „Ableitung der medienschutzbasierten Einbauwerte“ – Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)	9
6 Anhang zu Kapitel 6 Teil II „Ableitung von Materialwerten im WF 2- Eluat für mineralische Ersatzbaustoffe“ – Datengrundlagen und Auswertungen	9
6.1 Bodenmaterial	10
6.1.1 Datengrundlagen.....	10
6.1.2 Ableitung von Materialwerten.....	10
6.2 Gleisschotter der Deutschen Bahn AG	13
6.2.1 Datengrundlagen.....	13
6.2.2 Statistische Auswertungen verschiedener Datengrundlagen und Interpretation.....	14
6.2.2.1 Auswertungen auf Basis von WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (Referenzmethode ErsatzbaustoffV).....	14
6.2.2.2 Interpretation der Messergebnisse	21
6.2.3 Ableitung von Materialwerten für die regelmäßige Güteüberwachung von Gleisschottern 22	
6.2.3.1 Regelungsrelevante Stoffe und Parameter.....	22
6.2.3.2 Ableitung von Materialwerten für Gleisschotter	23
6.3 RC-Baustoffe.....	28
6.3.1 Datengrundlagen.....	28
6.3.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	32
6.3.3 Ableitung von Materialwerten.....	41
6.4 Mineralische Ersatzbaustoffe aus Verbrennungsprozessen.....	46
6.4.1 Hausmüllverbrennungsgasche (HMVA).....	46
6.4.1.1 Datengrundlagen.....	46
6.4.1.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	46
6.4.1.3 Ableitung von Materialwerten.....	48
6.4.2 Schmelzkammergranulat (SKG)	50
6.4.2.1 Datengrundlagen.....	50
6.4.2.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	51
6.4.2.3 Ableitung von Materialwerten.....	51
6.4.3 Steinkohlenkesselasche (SKA).....	52
6.4.3.1 Datengrundlagen.....	52
6.4.3.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	53
6.4.3.3 Ableitung von Materialwerten.....	54
6.4.4 Steinkohlenflugasche (SFA)	55
6.4.4.1 Datengrundlagen.....	55
6.4.4.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	55
6.4.4.3 Ableitung von Materialwerten.....	57
6.4.5 Braunkohlenflugasche (BFA)	58
6.4.5.1 Datengrundlagen.....	58

6.4.5.2	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	58
6.4.5.3	Ableitung von Materialwerten.....	59
6.5	Ersatzbaustoffe der Gießereiindustrie	61
6.5.1	Gießereirestsand (GRS)	61
6.5.1.1	Datengrundlagen und fachlicher Hintergrund	61
6.5.1.2	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	63
6.5.1.3	Ausschlusskriterien für harzgebundene Gießereirestsande mit problematischen Stofffreisetzungspotentialen.....	64
6.5.1.4	Ableitung von Materialwerten.....	72
6.5.2	Gießerei-Kupolofenschlacke (GKOS)	75
6.5.2.1	Datengrundlagen.....	75
	Tab. 6.47: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Gießereikupolofenschlacken (GKOS) für AE 2 EBV (BMU, 2011).....	75
6.5.2.2	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	75
6.5.2.3	Ableitung von Materialwerten.....	77
6.6	Kupferhüttenmaterial (CUM)	78
6.6.1	Datengrundlagen.....	78
6.6.1.1	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	79
6.6.1.2	Ableitung von Materialwerten.....	80
6.7	Schlacken aus der Eisenverhüttung	83
6.7.1	Stahlwerksschlacken (SWS).....	83
6.7.1.1	Datengrundlagen.....	83
6.7.1.2	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	84
6.7.1.3	Ableitung von Materialwerten.....	86
6.7.2	Edelstahlschlacken (EDS).....	90
6.7.2.1	Datengrundlagen.....	90
6.7.2.2	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	91
	Edelstahlschlacken, nicht regelungsrelevante Parameter	91
	Edelstahlschlacken, regelungsrelevante Parameter	91
6.7.2.3	Ableitung von Materialwerten.....	92
6.7.3	Hüttensand (HS)	94
6.7.3.1	Datengrundlagen.....	94
6.7.3.2	Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter	95
6.7.3.3	Ableitung von Materialwerten.....	96
6.7.4	Hochofenstückschlacken (HOS)	97
6.7.4.1	Datengrundlagen.....	97
6.7.4.2	Materialwerteableitung	97
6.7.4.3	Bewertung offener Einbauweisen für HOS	98
7	Anhang zu Kapitel 7 Teil II „Ableitung der zulässigen Einbauweisen und Fußnotenregelungen“ – geringfügige Endkorrekturen	103

4 Anhang zu Kapitel 4 Teil II „Berechnung der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen“ – Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)

In den nachfolgenden Tabellen sind die Änderungen der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen aufgrund der Weiterentwicklungen für den AE2 EBV im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens rot und fett markiert. Ersetzte Werte sind durchgestrichen dargestellt. Die Änderungen werden im Folgenden im Einzelnen begründet.

4.1 Änderungen bei anorganischen Parametern

Die Absenkung der maximal zulässigen Quelltermkonzentration von Blei ist auf die Anhebung der Hintergrundwerte bzw. Verringerung der Filterkapazität für das Anreicherungskriterium auf Empfehlung des BOVA der LABO (vgl. Kapitel 4.1.2.5, Teil II dieser Bericht und Kapitel 5.1.2, Teil I dieser Bericht) zurückzuführen. Die Anhebung des Bezugsmaßstabs von Blei von 9 µg/L auf 23 µg/L (vgl. Tabelle 4.8, Kapitel 4.1.2.4) ist ohne Konsequenz für den medienschutzbasierten Einbauwert, da Blei immer durch das Anreicherungskriterium limitiert ist (nach dem Durchbruchkriterium sind in beiden Fällen sehr hohe Konzentrationen zulässig, vgl. Kapitel 4.1.3.3, Teil II dieser Bericht).

Die Änderungen der Bezugsmaßstäbe sind weiterhin für Chrom, ges. auf Sand sowie Cadmium, Chrom, ges., Kupfer und Zink in der Bodenkategorie Lehm/Schluff/Ton nicht bewertungsrelevant, da hier ebenfalls stets die Anreicherungskriterien limitieren.

Für Kupfer in der Bodenkategorie Sand resultieren aufgrund der Anhebung des BM geringfügig höhere maximal zulässige Quelltermkonzentrationen. Für Zink resultieren aufgrund der Absenkung geringfügig niedrigere Werte.

Die Änderungen des BM und der Linearisierungsmethode der Isotherme führt bei Vanadium in der Bodenkategorie Sand zu einer Erhöhung der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen, da hier immer das Durchbruchkriterium limitiert. In der Bodenkategorie Lehm/Schluff/Ton gilt dies für Sickerwasserraten oberhalb 313 mm/a.

Tab. 4.1: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von anorganischen Stoffen in Einbauszenarien der EBV bei Unterlagerung mit 1 Meter Sand, unterschieden nach dem Durchbruch- bzw. Anreicherungskriterium. Abkürzungen: DK: Durchbruchkriterium, AK: Anreicherungskriterium. Fett markiert: Limitierender Wert für die maximal zulässige Quelltermkonzentration zur Ableitung von ME, kursiv: GFS oder Bezugsmaßstab. Rot markierte Werte: Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a), wie oben begründet.

Einbauweisen nach AE 2 EBV, MantelV, 2011 (Ifd. Nr.)	Bahnbaubauweise H modifiziert (B4, B8, B10, B15)	Bahnbaubauweise H (B3, B7, B9, B11, B14)	Bauweisen unter Pflaster und Schutzwälle (18, 20, 22, 24, 27)	Bahnbaubauweise Standard Damm (B1, B5, B12,)	Bahnbaubauweise Standard Einschnitt (B2, B6, B13)	Hinterfüllung von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich (25, 26)	ToB, Bodenverbesserung und Unterbau u. geb. Deckschicht (11-13)	Bauweisen unter Plattenbelägen und Deckschichten ohne Bindemittel (16, 17, 19, 21, 23)	
Sickerwasser-raten [mm/a]	103	221	313	395	434	453	486	583	
Sb, As	Keine Änderungen								
Blei [µg/L]	AK, AK neu	965 345	450 161	318 113	252 90	229 82	219 78	205 73	171 61
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000
Cadmium [µg/L]	AK	5,5	2,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	DK, DK neu	13 11	4,0 3,10	2,85 2,34	2,0 2,0	2,0 2,0	2,0 2,0	2,0 2,0	2,0 2,0
Chrom, ges. [µg/L]	AK	517	241	170	135	123	118	110	91
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000
Kupfer [µg/L]	AK	448	209	147	117	106	102	95	79
	DK	>1000 >1000	417 481	199 232	125 148	104 124	96 115	85 101	62 74
Mo, Ni	Keine Änderungen								
Vanadium [µg/L]	AK	2171	1012	715	566	515	494	460	384
	DK	185 368	67 133	44 86	34 66	30 59	29 56	27 52	22 43
Zink [µg/L]	AK	1241	578	408	324	295	282	263	219
	DK	504 461	209 184	154 136	120 118	120 113	120 111	120 108	120 104

Tab. 4.2: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von anorganischen Stoffen in Einbauszenarien der EBV bei Unterlagerung mit 1 Meter Lehm/Schluff/Ton, unterschieden nach dem Durchbruch- bzw. Anreicherungskriterium. Abkürzungen: DK: Durchbruchkriterium, AK: Anreicherungskriterium. Fett markiert: Limitierender Wert für die maximal zulässige Quelltermkonzentration zur Ableitung von ME, kursiv: GFS oder Bezugsmaßstab. Rot markierte Werte: Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a), wie oben begründet.

Einbauweisen nach AE 2 EBV, MantelIV, 2011 (Ifd. Nr.)	Bahnbauweise H modifiziert (B4, B8, B10, B15)	Bahnbauweise H (B3, B7, B9, B11, B14)	Bauweisen unter Pflaster und Schutzwälle (18, 20, 22, 24, 27)	Bahnbauweise Standard Damm (B1, B5, B12,)	Bahnbauweise Standard Einschnitt (B2, B6, B13)	Hinterfüllung von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich (25, 26)	ToB, Bodenverbesserung und Unterbau u. geb. Deckschicht (11-13)	Bauweisen unter Plattenbelägen und Deckschichten ohne Bindemittel (16, 17, 19, 21, 23)	
Sickerwasserrate [mm/a]	103	221	313	395	434	453	486	583	
Sb, As	Keine Änderungen								
Blei [µg/L]	AK, AK neu	1443 950	673 443	475 313	376 248	342 226	328 216	313 201	255 168
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000
Cadmium [µg/L]	AK	28	13	9	7	7	6	6	5
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000
Chrom, ges. [µg/L]	AK	1126	525	371	294	267	256	239	199
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000
Kupfer [µg/L]	AK	704	328	232	184	167	160	149	124
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000
Mo, Ni	Keine Änderungen								
Vanadium [µg/L]	AK	2006	935	660	523	476	456	425	354
	DK, DK neu	>1000 >1000	775 >1000	440 >1000	305 776	264 668	246 629	221 560	168 422
Zink [µg/L]	AK	3203	1493	1054	835	760	728	679	566
	DK, DK neu	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000	>1000 >1000

4.2 Änderungen bei organischen Parametern

Bei den organischen Parametern ergaben sich ausschließlich Änderungen bei den Herbiziden Glyphosat und AMPA

Auswirkungen neu gemessener Verteilungskoeffizienten für Glyphosat und AMPA aus Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg

Die erhöhten Verteilungskoeffizienten aus der Fraunhofer-Studie führen lediglich bei Glyphosat im günstigen Fall Lehm/Schluff/Ton zu einer deutlichen Erhöhung der nach dem Durchbruchkriterium zulässigen Quellkonzentration (vgl. Tabelle 4.3 und 4.4).

Abbildung 4.1 verdeutlicht die Auswirkungen der Retardations- und Bioabbauprozesse auf das Durchbruchverhalten von AMPA und Glyphosat für das Szenario „Schluff“ bei einer Sickerwasserrate von 486 mm/a (EBV-Bauweise unter gebundenen Deckschichten Nr.: 11-13) und vergleicht die Ergebnisse für die Verteilungskoeffizienten von AMPA und Glyphosat aus Susset & Leuchs (2008a) und aus dem Gutachten des Fraunhofer-Instituts (2008): Die konstanten Quelltermkonzentrationen wurden für diesen Vergleich so angepasst, dass unter Berücksichtigung der Retardation und des Bioabbaus das Durchbruchkriterium erfüllt ist (GFS wird 200 Jahre eingehalten). Im Fall der stark erhöhten Retardation von Glyphosat im Schluffboden erfolgt der Durchbruch erst nach dem Beurteilungszeitraum von 200 Jahren – es sind deutlich erhöhte konstante Quelltermkonzentrationen zulässig. Die gegenüber Susset & Leuchs (2008a) erhöhten Verteilungskoeffizienten von AMPA in den Schluff- und Sandszenarien mit 54 L/kg bzw. 77 L/kg und von Glyphosat im Sandszenario mit 77 L/kg führen zwar zu einer verstärkten Retardation, der Durchbruch liegt jedoch noch innerhalb des Beurteilungszeitraums (Abbildung 5.1, oben). Deshalb sind in diesen Fällen nur aufgrund des Bioabbaus geringfügig erhöhte Quelltermkonzentrationen möglich. Die moderate Erhöhung des K_d -Wertes wirkt sich hier nur geringfügig dahingehend aus, dass infolge der höheren Verweilzeit mehr Zeit für den Bioabbau zur Verfügung steht. Die zulässige konstante Quelltermkonzentration muss nach Fachkonzept so niedrig sein, dass die maximal erreichbare Konzentration nach Durchbruch infolge des Bioabbaus auf den Zielwert der Geringfügigkeitsschwelle abgemindert werden kann und unterscheidet sich nur geringfügig von den bisherigen Ergebnissen mit K_d -Werten nach Susset & Leuchs (2008a vgl. Tab. 4.7 in Kapitel 4.1.2.3.3 Teil II dieser Bericht). Für Glyphosat in der Bodenkatégorie Lehm/Schluff/Ton wären z.B. in der Bahnbauweise H extrem hohe Quelltermkonzentrationen möglich. Hier limitiert jedoch das Anreicherungskriterium, die für die ErsatzbaustoffV zulässigen Quelltermkonzentration. Nach Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a) resultiert eine maximale Filterkapazität für Pflanzenschutzmittel von 0,23 mg/kg für Sand- oder Schluffböden, die in den Modellen zu 50 % ausgenutzt werden kann.

Glyphosat ist in den Schluffszenarien immer und AMPA bei niedrigen Sickerwasserraten durch das Anreicherungskriterium – also nicht unter Gesichtspunkten des vorsorgenden Grundwasserschutzes (Durchbruchskriterium) – sondern aus Sicht des Bodenschutzes limitiert. In den Sandszenarien sind beide Stoffe dagegen immer durch das Durchbruchskriterium limitiert. Würde man die Durchbruchskriterien für die DB-Szenarien aussetzen, wären z.B. in der Bahnbauweise H maximale Konzentrationen von ca. 1,7 – 1,8 µg/L zulässig – Sorptionsisothermen und Zielwerte (GFS, Bezugsmaßstäbe etc.) spielen dann keine Rolle mehr, da beim Anreicherungskriterium konventionell über einen Meter gemittelt wird.

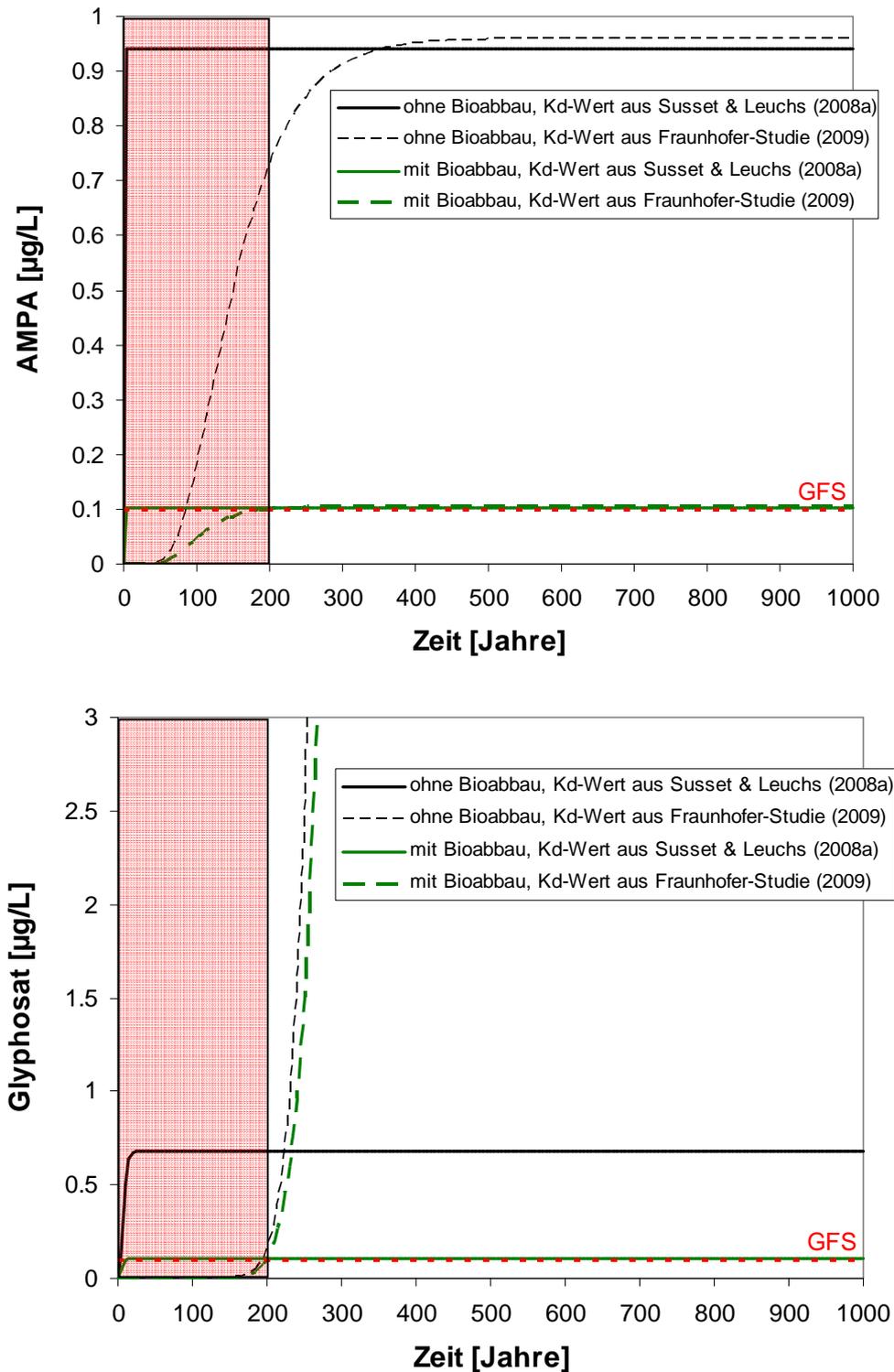


Abb. 4.1: Vergleich der Auswirkungen von Retardation und Bioabbau auf das Durchbruchverhalten von AMPA und Glyphosat im Szenario „Schluff“ (Sickerwasserrate von 486 mm/a) für die Verteilungskoeffizienten nach Susset & Leuchs (2008a) und nach Gutachten des Fraunhofer Institut Schmallenberg. Rot schraffiert: Beurteilungszeitraum des BMU von 200 Jahren für technische Bauwerke.

Tabelle 4.3 zeigt die an die neuen Verteilungskoeffizienten angepassten ME von Glyphosat und AMPA im Vergleich zu den ME aus Susset & Leuchs (2008a) für die Einbauweisen von Gleisschottern im Straßen-, Wege- und Erdbau nach AE 2 EBV. Diese Konzentrationen gelten in den günstigen Szenarien mit Sand oder Lehm-/Schluff/Ton-Unterlagerung und werden

bei den Bahnbauwerken mit den Faktoren F_{QT} aus Tabelle 3.12 aufgrund der Verdünnungseffekte beaufschlagt (siehe abschließende Listen der ME in Kapitel 5).

Tab. 4.3: Gegenüberstellung der zulässigen maximalen Quelltermkonzentrationen bei WF 2 von Glyphosat und AMPA für die Straßen-, Wege- und Erdbauweisen der ErsatzbaustoffV nach Susset & Leuchs (2008a) und mit neu abgeleiteten Verteilungskoeffizienten nach Fraunhofer Studie (2008). Für jeden Stoff und jedes Szenario werden sowohl das Durchbruchkriterium als auch das Anreicherungskriterium geprüft. Je nach Stoffeigenschaften limitieren entweder das Durchbruchkriterium oder das Anreicherungskriterium oder beide Kriterien. Fett gedruckt: Limitierender Wert für die Berechnung von ME bei Anwendung beider Kriterien. Liegt die zulässige Konzentration unterhalb der Geringfügigkeitsschwelle werden die GFS für die Berechnung der ME verwendet. Abkürzungen: GFS: Geringfügigkeitsschwelle, BM: Bezugsmaßstab nach Utermann & Fuchs (2010), A: Anreicherungskriterium, D: Durchbruchkriterium, D u. B: Durchbruchkriterium und Bioabbau A: Anreicherungskriterium; Werte in roter Schrift: Geänderte ME mit K_q -Werten aus der Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg.

Einbauweisen, laufende EBV-Nr. (Anhang 2-2 in AE 2 EBV) und der Modellierung zugrunde liegende Sickerwasserraten	zulässige maximale Quelltermkonzentrationen in WF 2- Säulenkurzeluaten nach DIN 19528, die 200 Jahre zurückgehalten werden und zu max. 50% FK angereichert werden [$\mu\text{g/L}$]			
	günstig "Sand"		günstig "Lehm/Schluff/Ton"	
	Glyphosat	AMPA	Glyphosat	AMPA
Bauweisen unter gebundener Deckschicht: Nr. 11-13; 486 mm/a	0,37/D u. B; 1,68/A 0,54/D u. B; 1,68/A	0,47/D u. B; 1,68/A 0,65/D u. B; 1,68/A	0,67/D u. B; 1,72/A >1000/D u. B; 1,72/A	0,92/D u. B; 1,72/A 0,92/D u. B; 1,72/A
Bauweisen unter Pflaster und Schutzwälle: Nr. 18, 20, 22, 24 und 27; 313 mm/a	0,69/D u. B; 2,61/A 2,08/D u. B; 2,61/A	0,95/D u. B; 2,61/A 2,57/D u. B; 2,61/A	1,56/D u. B; 2,66/A >1000/D u. B; 2,66/A	2,43/D u. B; 2,66/A 2,93/D u. B; 2,66/A
Bauweisen unter Plattenbelägen und Deckschichten ohne Bindemittel; Nr. 16, 17, 19, 21, 23; 583 mm/a	0,30/D u. B; 1,40/A 0,38/D u. B; 1,40/A	0,37/D u. B; 1,40/A 0,45/D u. B; 1,40/A	0,51/D u. B; 1,43/A >1000/D u. B; 1,43/A	0,67/D u. B; 1,43/A 0,67/D u. B; 1,43/A
Hinterfüllungen und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden: Nr. 25 und 26; 453 mm/a	0,40/D u. B; 1,80/A 0,64/D u. B; 1,80/A	0,51/D u. B; 1,80/A 0,77/D u. B; 1,80/A	0,75/D u. B; 1,84/A >1000/D u. B; 1,84/A	1,05/D u. B; 1,84/A 1,12/D u. B; 1,84/A

Für die Beurteilung von AMPA im AE 2 EBV (MantelV, 2011) wurde das Durchbruchkriterium von AMPA im Auftrag des BMU ausgesetzt (vgl. Kapitel 4.1.2.5, Teil II und Kapitel 5.1.5 in Teil I dieses Bericht, sowie Materialwerteableitung in Kapitel 6.2 dieser Anhang). Für die Berechnung der ME von AMPA gelten deshalb die in der Tabelle 4.3 genannten Werte aus dem Anreicherungskriterium (A).

5 Anhang zu Kapitel 5 Teil II „Ableitung der medienschutzbasierten Einbauwerte“ – Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)

Sämtliche Änderungen können wie folgt nachvollzogen werden:

Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen haben sich wie in Kapitel 4 begründet geändert und führen zu entsprechenden Änderungen der ME. Weitere Änderungen bei den ME gegenüber Susset & Leuchs (2008a) ergeben sich durch die numerischen Neuberechnungen der Straßendämme und die daraus resultierenden geänderten Verdünnungsfaktoren, die im Änderungsmodus in Kapitel 3.2.4 Teil II (Tab. 3.7) dargestellt sind. Abschließend wurden die ME mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 multipliziert (dies war auch für die Bewertungen in AE 1 EBV der Fall). Sämtliche Änderungen gegenüber den in Susset & Leuchs (2008a) gelisteten ME (vgl. Tabellen 4.3.1 bis 4.3.5, Kapitel 4.3 im Bericht von Susset & Leuchs, www.uba.de) sind damit vollständig nachvollziehbar.

6 Anhang zu Kapitel 6 Teil II „Ableitung von Materialwerten im WF 2- Eluat für mineralische Ersatzbaustoffe“ – Datengrundlagen und Auswertungen

Im Folgenden werden für jeden MEB die Datengrundlagen, Auswertungen sowie der Verfahrensweg zur Ableitung von Materialwerten erläutert (vgl. auch Ablaufschema in Kapitel 1, Teil I, Abb. 1.2. und Erläuterungen in Kapitel 4.1.6 Teil I und Kapitel 6 Teil II)

Das BMU hat den Projektnehmer damit beauftragt, in diesem Fachbericht alle wesentlichen Inhalte der Branchenpapiere darzustellen, um für eine transparente Nachvollziehbarkeit der Bewertungen in der ErsatzbaustoffV für alle beteiligten Kreise zu sorgen. Eine Vielzahl der in Rede stehenden Daten wurde bereits durch Branchenvertreter selbst in öffentlichen Veranstaltungen bekannt gemacht. Im Einzelnen werden im Fachbericht in Abstimmung mit dem BMU und den Dateneignern alle fachlichen Beschlüsse der Branchengespräche und die Perzentilverteilungen der Konzentrationen aller Datensätze in Form von Tabellen und die textlichen Beschreibungen der Materialwerteableitungen aus den Branchenpapieren dargestellt. Die von den einzelnen Industriebranchen erhobenen Roh-Datensätze werden nicht unmittelbar dargestellt. Zur Wahrung möglicher Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse werden die Statistiken aus den Roh-Datensätzen nicht herkunftsspezifisch (Herstellerbetriebe) sondern in Form von anonymisierten Gesamtdatensätzen dargestellt. Dabei wird in Rücksprache mit den Dateneignern nach Materialtypen, wie z.B. harz- und tongebundener Gießereirest-sand oder LD- und EO-Schlacken oder nach Ländern z.B. RC aus Fremdüberwachungen in den Ländern Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg etc. unterschieden.

6.1 Bodenmaterial

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011) ist Bodenmaterial bestimmt als:

- a) Material aus Böden im Sinne von § 2 Absatz 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und dessen Ausgangssubstraten, jedoch ohne Mutterboden,
- b) Bodenaushub aus der Gewinnung und Aufbereitung mineralischer Bodenschätze,
- c) Bodenmaterial mit mineralischen Fremdbestandteilen wie Bauschutt, Schlacke oder Ziegelbruch bis zu 10 Volumenprozent,
- d) Bodenmaterial, das in Bodenbehandlungsanlagen behandelt wurde,
- e) aufbereitetes Baggergut aus Gewässern, das aus Sanden und Kiesen besteht mit einem Feinkornanteil < 63 µm von höchstens 10 Gewichtsprozent

6.1.1 Datengrundlagen

Gegenüber dem Berichtsstand von Susset & Leuchs (2008a) liegen uns keine neuen Messergebnisse zu verschiedenen Bodenmaterialien vor. Susset & Leuchs (2008a) zeigen (vgl. Anhang 1.2.3, im Fachbericht von Oktober 2008, www.uba.de) die Ergebnisse von Elutionsversuchen mit 26 Bodenproben und stellen fest, dass Bodenmaterial je nach Genese und anthropogener Überprägung ein weites Schadstoffspektrum und eine große Varianz von Schadstoffkonzentrationen aufweisen kann. Bei Bodenmaterial wird ggf. eine anlassbezogene Untersuchung durchgeführt.

Für AE 2 EBV (BMU, 2011) wird wie bei Susset & Leuchs (2008a) deshalb vorgeschlagen, 4 verschiedene Qualitätsklassen von Bodenmaterial festzulegen. Mit dieser Differenzierung und aufgrund der ggf. anlassbezogenen Untersuchung von Bodenmaterial wird eine sehr differenzierte Zuordnung des Bodenmaterials zu den verschiedenen Einsatzgebieten der EBV erreicht. Weiter wurde wie bei Susset & Leuchs (2008a) durch die Einführung entsprechender Materialwerte für pH- und Leitfähigkeit als Grenzwerte auf eine Festlegung von Materialwerten für Chlorid und Sulfat für Bodenmaterialien verzichtet (Begründung in Susset & Leuchs, 2008a). Ebenfalls wie bei Susset & Leuchs (2008a) wird unterteilt in Materialwerte für die regelmäßige Untersuchung und Materialwerte für spezifische Belastungsparameter.

Der Verordnungsgeber hat in AE 2 EBV (BMU, 2011) zusätzlich Materialwerte für Konzentrationen im Feststoff und TOC-Werte für Bodenmaterialien eingeführt. Diese Festlegungen erfolgten durch das BMU und unabhängig von diesem Ergänzungsvorhaben

6.1.2 Ableitung von Materialwerten

Die Ableitung von Materialklassen für Bodenmaterial richtet sich wie bei Susset & Leuchs (2008a) für den offenen Einbau nach den Standortvoraussetzungen (Materialklassen BM 0-2) und für den geschlossenen Einbau (BM-3) nach den Obergrenzen der vorkommenden Belastungen. Gegenüber Susset & Leuchs (2008a) ändern sich die Materialwerte aufgrund der geänderten Bezugsmaßstäbe aus der BGR-Studie 2010 (vgl. Kapitel 4.1.2.4 Teil II dieser Bericht), der Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 bei den Materialwerten (siehe Begründung und Erläuterung in Kapitel 5.2.2. Teil I dieser Bericht) und durch die geänderten medienschutzbasierten Einbauwerte (ME) aufgrund neuer Modellierungsergebnisse (vgl. Kapitel 3, 4 und 5 Teil II dieser Bericht).

Bodenmaterial der Qualitätsklasse 0 (BM-0)

BM-0 ist in allen Einbauweisen der EBV zulässig und muss somit entweder den GFS oder den Bezugsmaßstab unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 einhalten, da hier die ungünstigen Bauweisen mit weniger als 1 Meter Grundwasserabstand und ohne bauwerksspezifische Verdünnungsfaktoren limitieren (Ifd. Nr. 16-24, und 25-27 ohne Kapillarsperreneffekte für den ungünstigen Fall).

Bodenmaterial der Qualitätsklasse 1 (BM-1)

BM-1 ist in allen Einbauweisen der EBV auf Sand zulässig ist und muss somit die ME der Bauweisen über Sand mit den höchsten Anforderungen handeln. Hierbei handelt es sich um die Einbauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder unter Plattenbelägen (Ifd. Nr. 17, 19, 21, 23), die aufgrund der hohen Sickerwasserraten und fehlender bauwerksspezifischer Verdünnung die niedrigsten ME aufweisen.

Bodenmaterial der Qualitätsklasse 2 (BM-2)

BM-2 ist in allen Einbauweisen der EBV auf Schluff/Lehm/Ton zulässig ist und muss somit die ME der zuletzt genannten Bauweisen über Lehm/Schluff/Ton einhalten (Ifd. Nr. 17, 19, 21, 23). Mit Fußnotenregelung 1) wird die Zulässigkeit von BM-2 in den Einbauweisen 11-13: „Tragschichten ohne Bindemittel, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1m ab Planum“ für den ungünstigen Fall geregelt, indem die dort limitierenden ME von Chrom, ges. mit 115 µg/L, Vanadium von 230 µg/L, Σ15 EPA PAK von 2,3 µg/L, Phenole von 90 µg/l und Chorphenole von 10 µg/L als Materialwerte festgelegt werden.

Bodenmaterial der Qualitätsklasse 3 (BM-3)

BM-3 ist ein Bodenmaterial, welches in allen geschlossenen Einbauweisen der EBV zulässig ist. Somit können aus Sicht des Medienschutzes auch höhere Materialwerte festgesetzt werden. Wie bei Susset & Leuchs (2008a) ergeben sich die Materialwerte für BM-3 i.d.R. durch Multiplikation der BM-2-Werte mit Faktor 2, Rundung und Berücksichtigung der aus den Statistiken bekannten Maximalkonzentrationen. Ausnahmen bilden die Materialwerte von Blei (Faktor 1,88), Zink (Faktor 1,86), Σ15 EPA PAK (Faktor 2,85) und Vanadium (Faktor 1,87). Die Materialwerte von Blei, Vanadium, Zink wurden an die ME der Pflasterbauweisen über Lehm/Schluff/Ton (Ifd. Nr. 18, 20, 22, 24 und 27 ohne Kapillarsperre) angepasst, um die Zulässigkeit des Einsatzes von BM-3 hinsichtlich dieser Stoffe in diesen Bauweisen ohne Fußnotenregelungen festlegen zu können. Der Materialwert für die Σ15 EPA PAK wurde entsprechend der Maximalwerte der verfügbaren Datensätze mit 20 µg/L (vgl. Susset & Leuchs, 2008a und Abb. 4.3 in Kapitel 4.1.3.1 Teil I dieser Bericht) festgelegt.

Mit Fußnotenregelung 1) wird die Zulässigkeit von BM-3 in den Bauweisen unter Pflaster für den günstigen Fall Lehm/Schluff/Ton geregelt werden, indem die dort limitierenden ME von Antimon mit 8 µg/L, Arsen mit 20 µg/L, Molybdän mit 53 µg/l, Chlorbenzole, ges. mit 2 µg/L, BTEX mit 40 µg/l und PCB, ges. mit 0,02 µg/L festgelegt werden.

Die Zulässigkeiten von BM in den Bahnbauweisen (Einbautabellen in Anhang 2.3 der EBV) ergeben sich durch Vergleich der Materialwerte mit den ME aus Kapitel 5.2 Teil II (dieser Bericht). Spezielle Einbauweisen der DB werden in Fußnoten geregelt, indem dort die jeweils limitierenden ME als Materialwerte festgelegt werden.

Im Resultat ergeben sich für BM die in Tabelle 6.1 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 und 2.3 des AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbaulisten.

Tab. 6.1: Vorschlag von Materialwerten Materialwerten in WF2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 für die Regeluntersuchungen von Bodenmaterial in AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt.

Parameter	Dimension	BM 0	BM 1	BM 2	BM 3
pH	[]	6,5–9,5	6,5–9,5	6,5–9,5	5,5-12,0
Leitfähigkeit	[μ S/cm]	350	350	350	2.000
Blei	[μ g/L]	9 35	175 90	250	300 470
Chrom, ges.	[μ g/L]	7 15	90 135	200 300	300 560
Kupfer	[μ g/L]	44 30	75 110	125 185	300 350
Nickel	[μ g/L]	20 30	20 30	125 185	300 350
Zink	[μ g/L]	120 150	120 155	550 850	1.200 1.580
Σ 15 EPA PAK	[μ g/L]	0,2 0,3	3 4,5	4,5 7,0	15 20

Tab. 6.2: Vorschlag von Materialwerten Materialwerten in WF2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 für spezifische Belastungsparameter von Bodenmaterial in AE 2 EBV (MantelIV, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt.

Parameter	Dimension	BM 0	BM 1	BM 2	BM 3
Antimon	[μ g/L]	5 7,5	5 7,5	5 7,5	15
Arsen	[μ g/L]	10 15	10 15	10 15	30
Cadmium	[μ g/L]	2,5 3,0	2,5 3,0	5 7,5	15
Molybdän	[μ g/L]	35 55	35 55	35 55	105 110
Vanadium	[μ g/L]	10 30	25 65	190 530	300 990
BTEX	[μ g/L]	20 30	20 33	20 35	60 70
MKW	[μ g/L]	100 150	100 160	100 165	300 330
Phenole	[μ g/L]	8 12	2.000	2.000	2.000
PCB, ges.	[μ g/L]	0,01 0,02	0,01 0,02	0,01 0,02	0,03 0,04
Chlorphenole, ges.	[μ g/L]	4 2	25 50	30 55	80 100
Chlorbenzole, ges.	[μ g/L]	4 2	4 2	1,2 2	4
Hexachlorbenzol	[μ g/L]	0,01 0,02	0,01 0,02	0,01 0,02	0,03 0,04

6.2 Gleisschotter der Deutschen Bahn AG

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Gleisschotter:

Bettungsmaterial, das bei Baumaßnahmen an Schienenverkehrswegen oberhalb der Trag-schicht oder des Planums anfällt sowie alle Fraktionen, die im Rahmen einer Behandlung aus diesem Material gewonnen werden

6.2.1 Datengrundlagen

In Tabelle 6.3 sind Datengrundlagen und weitere Informationen zusammengefasst, die dem BMU durch die DB für die Bewertungen von Gleisschottern im AE 2 EBV bereitgestellt wurden. Die Darstellung der Ergebnisse in dieser Form wurde durch die DB mit Mail vom 26.01.2011 an das BMU freigegeben.

Tab. 6.3: Aktuelle Datengrundlagen zur Bewertung der Materialqualitäten von Gleisschottern der DB für AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011).

Bereitsteller, Datum, Ansprechpartner, Institution	Anzahl der Einzelproben und Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
DB Netz AG, 29.01.09, Frau Klein, "Untersuchung zur Belastung der Gleisschotter-Grobfraktion", DB Bahn-Umwelt-Zentrum	4 Gleisschotter-Proben, jeweils Untersuchung von 2 verschiedenen Siebfraktionen 0/31,5 und 31,5/63	Gleisbereich: Rheinland Pfalz Weichenbereich: Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Bayern 50 kg Originalprobe; Siebung in 2 Fraktionen: 0/31,5 (14 – 21 %) und 31,5/63 (79 – 86%)	Doppelbestimmung im WF 2 –Säulenkurzeluat (DIN 19528) an jeder Siebfraktion: 4 Originalproben, 8 Fraktionsproben, 16 Säulenkurzeluate Analysen auf breites Stoffspektrum	Projektbericht 0802528 vom 18.12.2008
DB, 20.05.08, Herr Büge, „Aktuelle Untersuchungsergebnisse ausgewählter Ersatzbaustoffe – Gleisschotter, DB Bahn-Umwelt-Zentrum	10 Gleisschotter-Proben, jeweils Schotterfeinfraktion 0/22,4	5 Proben aus Gleisbereichen (freie Strecken); 5 Proben aus Weichenbereichen. Jeweils Mischproben aus Entnahmetiefen von 0,15 bis 0,7 m, Untersuchung der abgesiebten Schotterfeinfraktion	Einfachbestimmungen im Feststoff, WF 2-Säulenkurzeluat (DIN 19528), WF 2-Schütteleluat (DIN 19528), WF 10-Schütteleluat (DEV S 4) für jede Probe: 10 Originalproben, je 4 Eluate, je 1 Feststoffwert, Analysen auf breites Stoffspektrum	Excellisten am 30.11.2009 durch DB (Frau Klein) z. VfG. gestellt
DB, Abfalldeklaration 2005, Frau Henrici	8064 Gleisschotterproben	Bundesweit aus Haltestellen-, Weichen- und Streckenbereichen Gesamtfraktionen und abgesiebte Schotterfeinfraktion 0/22,4	Güteüberwachungsdaten: DEV S4 WF 10-Schütteleluat, eingeschränkte Analysendaten ohne Herbizide	Excellisten bereitgestellt durch DB
DB, Abfalldeklaration 2004, Frau Henrici	565 Gleisschotterproben	Bundesweit aus Haltestellen-, und Streckenbereichen abgesiebte Schotterfeinfraktion 0/22,4	Güteüberwachungsdaten: DEV S4 WF 10-Schütteleluat, eingeschränkte Analysendaten nur Herbizide	Excellisten bereitgestellt durch DB
DB, Abfalldeklaration 2008, Frau Klein	5179 In-situ-Gleisschotterproben, 154 Gleisschotterproben aus Haufwerken	Bundesweit aus Haltestellen-, Weichen- und Streckenbereichen sowie Haufwerken abgesiebte Schotterfeinfraktion 0/22,4	Güteüberwachungsdaten: DEV S4 WF 10-Schütteleluat, vollständige Analysendaten, weites Stoffspektrum (KW, PAK, Schwermetalle, Herbizide)	Excellisten bereitgestellt durch DB, E-Mail Frau Klein, 30.11.2009

6.2.2 Statistische Auswertungen verschiedener Datengrundlagen und Interpretation

6.2.2.1 Auswertungen auf Basis von WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (Referenzmethode ErsatzbaustoffV)

Untersuchungsdaten der DB Netz AG (unveröffentlichter Projektbericht 0802528): Nachfolgende Tabelle 6.4 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 aus der Studie der DB Netz AG für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als nicht bewertungs- und regelungsrelevant beurteilt werden. Es sind Parameter aufgeführt, für die im AE 1 EBV (BMU, 2007) Materialwerte festgelegt wurden. Die DB hat zusätzlich die Schwermetalle: Arsen, Blei, Quecksilber, Zink und die Herbizide: Desethylatrazin, 2,6-Dichlorbenzamid, Ethidimuron, Hexazinon und Terbutylazin analysiert. Auch diese Stoffe liegen immer unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die Konzentrationen von Kupfer, Molybdän und Simazin liegen in den WF 2-Säulenkurzeluaten der Grobfractionen (31,5/63) und der Schotterfeinfraktionen (0/31,5) immer unterhalb der Bestimmungsgrenzen, der GFS oder der Bezugsmaßstäbe.

Es wird darauf hingewiesen, dass die begrenzte Datenlage von nur 4 Proben mit Sicherheit keine repräsentative Aussage erlaubt. Nach Aussage der DB handelt es sich zudem um eine „Worst-case“-Studie für Proben aus eher höher kontaminierten Bahnhofs- und Weichenbereichen. Für eine weiterführende Betrachtung der Qualitäten von Gleisschottern insbesondere auch aus den weniger kontaminierten Gleisbereichen auf „freier Strecke“, wären weitere Messdaten in WF 2-Eluaten nach DIN 19528 wichtig.

Tab. 6.4: Untersuchungen der DB Netz AG (Projektbericht 0802528 vom 18.12.2008): Nicht relevante Parameter in Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 mit Grob (31,5/63)- und Feinfraktionen (0/31,5) von 4 DB-Gleisschottern. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze. Kursiv: Abweichende Werte in der Feinfraktion 0 – 31,5 mm. Dargestellt sind ausschließlich Parameter, für die im ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV (BMU, 2007) Materialwerte festgelegt wurden.

Datengrundlagen	Statistische Kenngrößen	Cadmium [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Kohlenwasserstoffe [µg/L]
4 DB Gleisschotter	n	4	4	4	4	4	4	4
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	<BG	<BG	<BG 10	<BG 10	<BG	<BG	<BG
	Mittel	<BG	<BG	<BG 7,5	<BG 2,5	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG 10	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG 10	<BG 1	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG 10	<BG 4	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG 10	<BG 7	<BG	<BG	<BG

Fortsetzung Tab. 6.4

Datengrundlagen	Statistische Kenngrößen	Atrazin [µg/L]	Bromazil [µg/L]	Simazin [µg/L]
4 DB Gleisschotter	n	4	4	4
	Min	<BG	<BG	<BG
	Max	<BG	<BG	<BG 0,12
	Mittel	<BG	<BG	<BG 0,03
	Median	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG 0,01
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG 0,05
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG 0,08

Tabelle 6.5 zeigt die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse der *WF 2*-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 aus der Studie der DB Netz AG (Projektbericht 0802528 vom 18.12.2008) für Parameter, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als bewertungs- und regelungsrelevant beurteilt werden. Die Ergebnisvergleiche bestätigen die Bewertungsrelevanz von Glyphosat, AMPA, Dimefuron, Flumioxazin, Flazasulfuron sowie der $\Sigma 15$ EPA PAK im *WF 2*-Eluat von Gleisschottern. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben damit keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.5: Untersuchungen der DB Netz AG (Projektbericht 0802528 vom 18.12.2008): Relevante Parameter in Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 mit Grob (31,5/63)- und Feinfraktionen (0-31,5) von 4 DB-Gleisschottern. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze. Kursiv: Abweichende Werte in der Schotterfeinfraktion 0 – 31,5 mm.

Datengrundlagen	Statistische Kenngrößen	pH []	Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Diuron [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Glyphosat [$\mu\text{g}/\text{L}$]	AMPA [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Di-mefuron [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Flumi-oxazin [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Flaza-sulfuron [$\mu\text{g}/\text{L}$]	$\Sigma 15$ EPA PAK [$\mu\text{g}/\text{L}$]
4 DB Gleisschotter aus Gleis- und Weichenbereichen	n	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Min	6,8	15,1	<BG	0,50 1,30	0,36 1,00	<BG 0,07	<BG	<BG	0,40 0,59
	Max	7,5	93,0	0,29 0,45	18,00 18,00	15,00 18,00	<BG 0,21	<BG 0,58	<BG 0,34	1,89 1,87
	Mittel	7,2	56,0	0,12 0,15	8,98 7,53	6,67 7,30	<BG 0,15	<BG 0,15	<BG 0,09	1,15 1,38
	Median	7,2	58,5	0,09 0,08	8,70 5,40	5,65 5,10	<BG 0,16	<BG	<BG	1,16 1,53
	70. Perz.	7,3	72,9	0,18 0,14	12,60 9,09	7,26 9,18	<BG 0,17	<BG 0,06	<BG 0,03	1,25 1,79
	80. Perz.	7,4	83,8	0,22 0,24	14,40 12,06	9,84 12,12	<BG 0,18	<BG 0,23	<BG 0,14	1,46 1,82
	90. Perz.	7,4	91,6	0,25 0,35	16,20 15,03	12,42 15,06	<BG 0,20	<BG 0,41	<BG 0,24	1,67 1,85

Untersuchungsdaten des DB Bahn-Umwelt-Zentrums (vorgestellt im Rahmen des BMU-Workshops in Dessau am 20./21.05.2008):

Im Untersuchungsprojekt des Bahn-Umwelt-Zentrums der DB wurden 10 Gleisschotterproben aus bundesweit laufenden Bauvorhaben (Stand 12/2007) aus den Bereichen Gleise der freien Strecke, Bahnhofsgleise und Weichen entnommen und jeweils die abgesiebten Schotterfeinfraktionen 0/22,4 parallel mit dem Säulenversuch nach DIN 19528 und dem Schütteltest nach DIN 19529 (DIN 19529) bei *WF 2* sowie im *WF 10* Schütteltest (DEV S 4) untersucht.

Nachfolgende Tabelle 6.6 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse der Säulenkurzeluate für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als nicht bewertungsrelevant beurteilt werden. Die Tabelle beinhaltet Parameter, für die in AE 1 EBV Materialwerte festgelegt wurden. Darüber hinaus hat die DB die Schwermetalle: Arsen, Blei, Quecksilber und Zink analysiert. Auch diese Stoffe lagen immer unterhalb der Bestimmungsgrenzen oder den GFS unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 und sind damit für die EBV nicht regelungsrelevant.

Tab. 6.6: Untersuchungen des DB Bahn-Umwelt-Zentrums: Nicht relevante Parameter in Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 mit Schotterfeinfraktionen (0/22,4) von 10 DB-Gleisschottern. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze. Dargestellt sind ausschließlich Parameter, für die im ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV (BMU, 2007) Materialwerte festgelegt wurden.

Datengrundlagen	Statistische Kenngrößen	Cadmium [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Kohlenwasserstoffe [µg/L]
10 DB Gleisschotter aus Gleis- und Weichenbereichen	n	10	10	10	10	10	10	10
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	<BG	<BG	20	20	<BG	10	<BG
	Mittel	<BG	<BG	4	4	<BG	2	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	3	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	10	4	<BG	2	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	11	20	<BG	10	<BG

Fortsetzung Tab. 6.6

Datengrundlagen	Statistische Kenngrößen	Atrazin [µg/L]	Bromazil [µg/L]	Flazasulfuron [µg/L]	Flumioxazin [µg/L]	Simazin [µg/L]
10 DB Gleisschotter aus Gleis- und Weichenbereichen	n	10	kA	10	10	10
	Min	<BG		<BG	<BG	<BG
	Max	0,3		<BG	<BG	0,2
	Mittel	<BG		<BG	<BG	<BG
	Median	<BG		<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG		<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG		<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	0,1		<BG	<BG	0,1

Tabelle 6.7 zeigt die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse der Säulenkurzeluaten aus der Studie des DB Bahn-Umwelt-Zentrums für Parameter, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als bewertungsrelevant beurteilt werden. Die Ergebnisvergleiche bestätigen die Bewertungsrelevanz von Glyphosat, AMPA, Dimefuron sowie der Σ15 EPA PAK im *WF* 2-Eluat von Gleisschottern. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben damit keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.7: Untersuchungen des DB Bahn-Umwelt-Zentrums: Relevante Parameter in Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 mit Schotterfeinfraktionen (0/22,4) von 10 DB-Gleisschottern. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze

Datengrundlagen	Statistische Kenngrößen	pH []	Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Diuron [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Glyphosat [$\mu\text{g}/\text{L}$]	AMPA [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Dimefuron [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Σ 15 EPA PAK [$\mu\text{g}/\text{L}$]
10 DB Gleisschotter aus Gleis- und Weichenbereichen	n	10	10	10	10	10	10	10
	Min	6,8	85,0	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	7,4	212,0	0,30	2,3	8,4	0,8	0,9
	Mittel	7,1	144,1	0,11	0,4	1,7	0,2	0,3
	Median	7,1	148,5	0,08	0,2	0,5	<BG	0,3
	70. Perzentil	7,2	175,0	0,18	0,4	1,8	0,1	0,4
	80. Perzentil	7,3	176,4	0,23	0,5	2,6	0,3	0,4
	90. Perzentil	7,4	185,0	0,26	1,0	3,9	0,6	0,5

Datengrundlagen auf Basis von WF 10-Schütteleluaten nach DEV S 4 aus der Abfalldeklaration

Tabelle 6.10 zeigt die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse von WF 10-Schütteleluaten (DEV S 4) aus der Güteüberwachung 2008 zur Abfalldeklaration von Altschottern (Schotterfeinfraktionen der Gleisschotter <22,4 mm) aus folgenden In-situ-Bereichen: Weichen, Gleise (freie Strecken) und Haltestellen (Bahnhofsgleise). Zu diesen Datensätzen liegen uns Analyseergebnisse im Eluat für die hydrogeochemischen Parameter pH-Wert und Leitfähigkeit, Trübung und DOC und für die Schwermetalle Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink vor. Zudem wurden folgende organische Stoffe und Summenparameter im Eluat analysiert: Phenolindex, Atrazin, Bromacil, Desethylatrazin, 2,6-Dichlorbenzamid, Dimefuron, Diuron, Ethidimuron, Flazasulfuron, Flumioxazin, Hexazinon, Simazin, Terbutylazin, Glyphosat und AMPA.

Die statistischen Kennwerte der Deklarationsdaten 2004 und 2005 sind in Susset et al. (2010, unveröffentlichter Schlussbericht zur Abstimmung mit dem Auftraggeber, Eigentum der DB) dargestellt.

Tab. 6.8: Güteüberwachung von Gleisschottern 2008 für ein breites Parameter- und Stoffspektrum (hydrogeochemische Parameter, Schwermetalle, Herbizide): Statistische Kenngrößen der Konzentrationen in WF 10-Schütteleluaten aus der Güteüberwachung der Feinfraktionen < 22,4 mm von Gleisschottern (Deklarationsanalysen von Altschottern) im Jahr 2008 (Auswertung der Datenbank der DB). Vergleich von In-situ-Untersuchungen aus den Herkunftsbereichen: Gleise (Frei Strecke), Haltestellen (Bahnhofsgleise) und Weichen. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze.

Daten- grund- lagen	Statist- ische Kenn- größen	pH-Wert []			Leitfähigkeit [µS/cm]			Trübung [FNU]			DOC [mg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklara- tion Gleis- schotter (Alt- schotter 0/22,4) 2008	n	1714	1173	2280	1714	1173	2281	266	125	252	266	125	252
	Min	5,2	4,8	5,0	20,0	4,0	2,8	0,3	0,3	0,2	<BG	<BG	<BG
	Max	12,3	10,4	10,3	489,0	517,0	554,0	6,6	11,8	4,8	21,3	33	20,2
	Mittel	7,7	7,6	7,6	95,9	98,3	91,7	1,7	1,5	1,3	2,4	2,9	2,8
	Median	7,7	7,6	7,6	84,0	86,0	80,0	1,5	1,2	1,1	2,1	2,1	2,3
	70. Perzentil	7,9	7,8	7,9	102,0	106,0	98,0	2,0	1,5	1,4	2,8	2,8	3,2
	80. Perzentil	8,1	8,0	8,0	117,4	123,0	114,0	2,3	1,7	1,7	3,3	3,5	3,8
	90. Perzentil	8,3	8,2	8,2	146,4	159,0	144,0	2,8	2,1	2,2	4,3	4,4	5,1

Fortsetzung Tab. 6.10

Daten- grund- lagen	Statist- ische Kenn- größen	Arsen [µg/L]			Blei [µg/L]			Cadmium [µg/L]			Chrom [µg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklara- tion Gleis- schotter (Alt- schotter 0/22,4) 2008	n	1714	1173	2281	1714	1173	2281	1714	1173	2281	1714	1173	2281
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	4000	<BG	100	200	1800	100	<BG	<BG	5000	100	100	100
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG

Fortsetzung Tab. 6.10

Daten- grund- lagen	Statist- ische Kenn- größen	Kupfer [µg/L]			Nickel [µg/L]			Quecksilber [µg/L]			Zink [µg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklara- tion Gleis- schotter (Alt- schotter 0/22,4) 2008	n	1714	1173	2280	1714	1173	2281	1714	1172	2273	1714	1173	2279
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	5000	200	500	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	500	1900	1200
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG

Fortsetzung Tab. 6.10

Daten- grund- lagen	Statist- ische Kenn- größen	Phenolindex [µg/L]			Atrazin [µg/L]			Bromacil [µg/L]			Desethylatrazin [µg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklara- tion Gleis- schotter (Alt- schotter 0/22,4) 2008	n	361	253	513	896	566	1120	594	302	655	594	302	655
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	100	<BG	100	0,5	0,8	0,6	0,8	2,3	3,8	0,3	1,1	0,9
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG	0,1	0,1	0,1	<BG	<BG	<BG	0,1	0,1	<BG

Fortsetzung Tab. 6.10

Daten- grund- lagen	Statist- ische Kenn- größen	2,6-Dichlorbenzamid [µg/L]			Dimefuron [µg/L]			Diuron [µg/L]			Ethidimuron [µg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklara- tion Gleis- schotter (Alt- schotter 0/22,4) 2008	n	268	125	252	896	565	1120	896	565	1117	267	125	250
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	<BG	<BG	<BG	1,3	3,6	4,6	1,2	6,2	5,9	0,9	1,7	2,8
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	<BG	0,1	0,1
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	<BG	0,1	0,1	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG	0,1	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	<BG	0,3	<BG

Fortsetzung Tab. 6.10

Daten- grund- lagen	Statist- ische Kenn- größen	Flazasulfuron [µg/L]			Flumioxazin [µg/L]			Hexazinon [µg/L]			Simazin [µg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklara- tion Gleis- schotter (Alt- schotter 0/22,4) 2008	n	896	566	1120	896	566	1120	594	302	655	889	565	1118
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	0,3	<BG	<BG	0,1	1,2	0,8	1,3	0,7	4,9	1,8	1,9	2,8
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	0,1	0,1
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	0,1	0,1	0,1
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	0,2	0,2	0,2

Fortsetzung Tab. 6.10

Daten-grund-lagen	Statist-ische Kenn-größen	Terbutylazin [µg/L]			Glyphosat [µg/L]			AMPA [µg/L]		
		Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche	Gleis	Haltest.	Weiche
Deklaration Gleisschotter (Altschotter 0/22,4) 2008	n	268	125	252	896	566	1119	896	566	1119
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	0,1	0,2	0,1	18,0	266,5	132,0	38,0	55,4	105,0
	Mittel	<BG	<BG	<BG	1,0	2,6	3,5	2,7	4,7	7,1
	Median	<BG	<BG	<BG	0,3	0,9	1,6	1,1	3,0	4,3
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	0,8	2,1	3,4	2,7	5,9	8,2
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG	1,3	3,0	4,8	4,1	8,0	11,2
	90. Perzentil	<BG	0,1	<BG	2,7	5,6	8,1	7,3	11,4	16,0

6.2.2.2 Interpretation der Messergebnisse

Nach aktueller Datenlage nicht bewertungsrelevante Parameter

Die Datensätze von *WF 2*-Säulenkurzeluaten (Referenzmethode ErsatzbaustoffV) aus - laut DB - eher höher kontaminierten Gleisbereichen weisen keine für eine Grundwassergefahrenbeurteilung relevanten Freisetzungen von Schwermetallen und der Altherbizide: Atrazin, Bromacil und Simazin auf. Flumioxazin und Flazasulfuron treten nur in den Eluaten der Schotterfeinfraktionen der eher höher kontaminierten Gleisschotter aus der Studie der DB Netz AG auf.

Die *WF 10*- Eluate aus den Abfalldeklarationen 2004, 2005 und 2008 eignen sich aufgrund des anderen Elutionsverfahrens nicht für eine direkte Beurteilung der Bewertungsrelevanz von Stoffen für die ErsatzbaustoffV, bestätigen aber qualitativ, eine Nichtrelevanz von Schwermetallen, Phenolindex und eine geringe Relevanz der Altherbizide Atrazin, Bromacil und Simazin (abgesehen von einzelnen Ausreißern eher geringe Stoffkonzentrationen).

Nach aktueller Datenlage bewertungsrelevante Parameter

Grundsätzlich bewertungsrelevante Stoffkonzentrationen wurden in den Eluaten sowohl der Fein- als auch der Grobfraction der Gleisschotter der DB Netz AG als auch aller Schotterfeinfraktionen der Studie des Bahn-Umwelt-Zentrums für das Altherbizid Diuron und die derzeit zugelassenen Herbizide Glyphosat und dessen Abbauprodukt AMPA sowie die Stoffgruppe der EPA PAK gefunden. Das Altherbizid Dimefuron und die aktuell zum Einsatz kommenden Herbizide Flumioxazin und Flazasulfuron zeigen nur in den Feinfraktionen teilweise bewertungsrelevante Stofffreisetzungen. Die Güteüberwachungsdaten in *WF 10*- Eluaten bestätigen qualitativ die Bewertungsrelevanz von Glyphosat, AMPA, Dimefuron und Diuron.

6.2.3 Ableitung von Materialwerten für die regelmäßige Güteüberwachung von Gleisschottern

6.2.3.1 Regelungsrelevante Stoffe und Parameter

Schwermetalle waren in allen 14 *WF* 2-Eluaten sowohl in der Schotterfeinfraktion als auch in der Grobfraktion und unabhängig von den Herkunftsbereichen der Gleisschotter entweder nicht nachweisbar, oder lagen in nicht bewertungsrelevanten Konzentrationen im Eluat vor. Aus der Abfalldeklaration 2005 und 2008 liegen uns Analysenergebnisse für Schwermetalle in *WF* 10 Schütteleluaten von ca. 5700 Gleisschottern aus dem Bereich "Gleise - Freie Strecken", ca. 5100 Gleisschottern aus dem Bereich "Weichen" und ca. 1200 Gleisschottern aus dem Bereich "Haltestellen – Bahnhöfe" vor, die abgesehen von wenigen Ausreißerwerten (i.d.R. weniger als 5 Werte) für Zink (Güteüberwachung 2005) und Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer und Zink (Güteüberwachung 2008) unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegen (90. Perzentile immer < BG). Nach Durchsicht der Datengrundlagen durch den Ordnungsgeber und Besprechung vom 22.06.2010 im Branchengespräch wurde angesichts der i.d.R. nicht nachweisbaren Schwermetallkonzentrationen in Eluaten kein Regelungsbedarf für die Schwermetalle in allen Materialklassen der Gleisschotter gesehen.

Sowohl *WF* 2-Untersuchungen als auch Deklarationsdaten zeigen eine Bewertungs- und Regelungsrelevanz folgender Herbizide (nach Höhe der Konzentrationen absteigende Reihenfolge) an: AMPA, Glyphosat, Diuron, Dimefuron, Simazin, Atrazin, Flumioxazin und Flazasulfuron. Neuere Daten zu Bromacil weisen auf eine Bewertungs- und Regelungsrelevanz von Bromacil hin - dies auch aufgrund neuer technisch verbesserter Analysemethoden und tieferen Bestimmungsgrenzen (mündliche Mitteilung durch die DB). Bromacil bleibt deshalb ebenfalls ein regelungsrelevanter Parameter für die Güteüberwachung in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011).

Zu den organischen Summenparametern $\Sigma 15$ EPA PAK liegen uns nur wenige *WF* 2-Eluate vor, da die PAK im Rahmen der Güteüberwachung bisher im Feststoff analysiert wurden. Zu MKW liegen nur Feststoffwerte vor. PAK zeigen regelungsrelevante Konzentrationen im *WF* 2 Eluaten. MKW sollte ebenfalls wie bisher in die regelmäßige Güteüberwachung aufgenommen werden, um spezifische Stoffbelastungen kontrollieren zu können.

Für die Materialklassen GS-1 bis GS-3 wurde durch das BMU im Ergebnis des Branchengesprächs folgender Parameterumfang für die regelmäßige Güteüberwachung festgelegt:

Indikatorparameter (ohne Grenzwertcharakter):

Ph-Wert und Leitfähigkeit

Herbizide:

Atrazin, Bromacil, Diuron, Glyphosat, AMPA, Simazin, sonstige Herbizide (Dimefuron, Flazasulfuron, Flumioxazin sowie neu zugelassene Wirkstoffe)

Sonstige Organika:

MKW, $\Sigma 15$ EPA PAK

6.2.3.2 Ableitung von Materialwerten für Gleisschotter

Im Vorfeld der Ableitung von Materialwerten wurden die marktrelevanten Einbauweisen der DB untersucht:

Marktrelevante Einbauweisen für Gleisschotter der DB

Mit E-Mail vom 22.01.2010 hat die DB dem BMU/Projektnehmer nachfolgende Abschätzung der relevanten Einbauweisen zur Verfügung gestellt:

Die Schätzung basiert laut DB auf einer Abfrage von Outputwegen und Mengenanteilen bei ca. einem Drittel der Rahmenvertragspartner der DB (Rahmenvertragspartner für die Entsorgung von aus Gleisbaustellen ausgebautem Altschotter und Bettungsreinigungsmaterial exklusive Deponien u.ä.). Die Angaben der angefragten Unternehmen sind laut DB Schätzwerte, da sowohl die tatsächlich angenommenen Abfallmengen sowie die erzielten Materialqualitäten und die Outputwege von vielen Faktoren abhängig sind und von Jahr zu Jahr schwanken. Nach Auskunft der DB wurde mit der Abfrage die Hälfte der entsorgten Jahresmenge von Altschotter unmittelbar berücksichtigt, so dass nach Auffassung der DB eine verbindliche qualitative Aussage zu den relevanten Verwertungswegen möglich ist. Die Schätzungen der DB sind in nachfolgender Tabelle 6.11 zusammengefasst.

Aufkommen und Verbleib von Gleisschotter laut Angaben durch die DB:

Aus den Gleisbaustellen fällt jährlich eine Gesamtmenge von ca. 3,5 Mio. Tonnen Altschotter/Bettungsreinigungsmaterial an, wovon ca. 3 Mio. Tonnen in Aufbereitungsanlagen verbraucht werden. Der Output dieser Anlagen, der für die Bauweisen der ErsatzbaustoffV relevant ist, wird durch die DB auf 2,2 Mio. Tonnen pro Jahr geschätzt.

Der Rest wird auf Deponien verwertet oder beseitigt (rd. 0,6 Mio. Tonnen) oder zur Verfüllung in Gruben und Brüchen, d.h. im Anwendungsbereich des geplanten Artikel 3 „Novelle BBodSchV“ in der MantelV (§12a BBodSchV) eingesetzt (ca. 0,1 Mio. Tonnen). Der Output der Entsorgungsanlagen, der nicht unter die ErsatzbaustoffV fällt ist in der Schätzung und in nachfolgender Tabelle 6.11 nicht berücksichtigt. Die DB geht davon aus, dass ein Anteil von <5% als Verfüllung in Gruben und Brüchen (künftig §12a BBodSchV) gelangt. Der Rest von <20% wird auf Deponien verwertet oder beseitigt.

Relevante Verwertungswege im Regelungsbereich der EBV laut Angaben durch die DB:

Für die Verwertung von Gleisschotter kommen nach Auskunft der DB alle in der EBV genannten Bauweisen in Frage (auch in geringem Umfang die Bauweisen Nr. 12 (Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht), 26 und 27 (Dämme im Böschungsbereich und Schutzwälle unter kulturfähigem Boden).

Hinsichtlich der nicht oder gering wasserdurchlässigen Bauweisen (in nachfolgender Tabelle 6.11 farbig markiert) sind laut DB insbesondere die Bauweisen Nr. 1 (Decke bitumen- oder hydraulische gebunden) und 2 (Tragschicht bitumengebunden) relevant und zwar für bestimmte Fraktionen aus der Aufbereitung von ausgebautem Altschotter. Deshalb ist es laut DB sinnvoll, eine eigene GS-3-Materialklasse für Gleisschotter festzulegen, die sich nicht wie bisher in AE 1 EBV an den Materialwerten von BM-3 orientiert, sondern an den Maximalwerten der Datengrundlagen zu Eluatuntersuchungen von DB-Gleisschottern.

Des Weiteren sind für Gleisschotter die Bauweisen unter gebundenen Deckschichten (insbesondere Bauweise Nr. 11b, Frostschutzschichten) sowie die Bahnbauweisen (insbesondere Nr. B1-B4, Schotteroberbau aller Bahnbauweisen) relevant. Nach Auskunft der DB (ergänzende Mail vom 01.03.2010) werden jährlich ca. 0,6 Mio. Tonnen Altschotter (Tendenz steigend) nach Aufarbeitung in stationären Aufbereitungsanlagen als RC-Gleisschotter an die DB zurück geliefert und im Gleis wieder eingebaut. Hierfür gelten die DB-internen "Technischen Lieferbedingungen Gleisschotter" (DBS 918 061). Nach Auffassung der DB sollte dieser RC-Gleisschotter von den Untersuchungspflichten der ErsatzbaustoffV befreit werden, da dieser nach Auffassung der DB entsprechend seiner ursprünglichen Zweckbestimmung verwendet wird und durch den Aufarbeitungsprozess eine qualitative Verbesserung und Abtren-

nung von Schadstoffen erzielt wurde. Die GS-2-Materialwerte sollten nach Auffassung der DB an den medienschutzbasierten Einbauwerten der Bauweise Nr. 11b orientiert werden. Die DB bittet um Prüfung, ob über Fußnotenregelung bei GS-2 und GS-1 auch weitere Bauweisen (z.B. Pflasterbauweisen 18, 29, 22, 24 sowie die Bahnbauweisen B6-B8 (Planumsschutzschichten) und B9-B10 (Frostschutzschichten) ermöglicht werden können indem die dort limitierenden medienschutzbasierten Einbauwerte als Materialwerte festgelegt werden.

Tab. 6.9: Abschätzung der marktrelevanten Einbauweisen nach AE 2 EBV (BMU, 2011) für DB-Gleisschotter durch die DB (Originaltabelle der DB, Mail vom 21.01.2010)

Bauweisen der geplanten ErsatzbaustoffVO (gem. Entwurf ZAG-Bericht vom 24.11.2009, Bahnbauweisen vereinfacht)		Mengenanteil ^{*1} in %
1	Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden	10
2	Tragschicht bitumengebunden	18
3	Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten	3
4	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht	2
5	Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht	1
6	Verfüllung von Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht	1
7	Verfüllung von Baugruben unter gebundener Deckschicht	1
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen	<0,5
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) unter Pflaster und Platten	<0,5
10	Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung	1
11a	Schottertragschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	1
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	11
12	Bodenverbesserung unter geb. Deckschicht	<0,5
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	2
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-F nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	1
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	<0,5
16	Deckschicht ohne Bindemittel	<0,5
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	<0,5
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	<0,5
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	<0,5
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	<0,5
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	<0,5
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	<0,5
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	<0,5
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	<0,5
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	<0,5
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	<0,5
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	<0,5
14a	Unterbau (Damm) für Bahnbauweisen	<0,5
14c	PSS (KG1) für Bahnbauweisen	2
14d	FSS (KG2) für Bahnbauweisen	2
14e	Schotteroberbau für Bahnbauweisen (RC-Schotter nach DBS 918061)	20
Erläuterung:		
	Nicht / schlecht wasserdurchlässige Bauweisen sowie Bauweisen mit techn. Sicherungsmaßnahmen analog Entwurf ZAG-Bericht vom 24.11.2009	
Fett:	Wichtigste Bauweisen für Gleisschotter	
^{*1} :	Der Anteil bezieht sich auf den Output der Aufbereitungsanlagen	

Susset & Leuchs (2008a) hatten mangels näherer Erkenntnisse zu den Materialqualitäten von Gleisschottern mit Bodenmaterial identische Materialklassen vorgeschlagen. Aufgrund der deutlich verbesserten Datengrundlagen ist für AE 2 EBV eine differenzierte Zuordnung zu marktrelevanten Einbauweisen möglich ist.

Gleisschotter der Qualitätsklasse 0 (GS-0)

Im Branchengespräch vom 22.06.2010 wurde seitens DB nochmals betont, dass die Materialklasse GS-0 insbesondere vor dem Hintergrund der Innovationsförderung beibehalten werden soll.

GS-0 ist in allen Einbauweisen der EBV zulässig ist und muss somit entweder den GFS oder den Bezugsmaßstab unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 einhalten. Eine Ausnahme bildet AMPA: Für AMPA wurde im Auftrag des BMU ein Konventionswert von 2,5 µg/L als Materialwert von GS-0 festgelegt (da wie in Kapitel 5.1.5 begründet, das Durchbruchkriterium ausgesetzt wurde, gibt es kein fachliches Bewertungskriterium für die Festlegung eines Materialwertes von AMPA im ungünstigen Fall. Im günstigen Fall limitieren die Anreicherungskriterien, aus Kapitel 4.1.3.3 Teil II dieser Bericht).

Gleisschotter der Qualitätsklasse 1 (GS-1)

Entsprechend der Relevanz der Bauweisen PSS KG 1 und FSS KG 2 der Bahnbauweisen mit lfd. Nr.: B5 - B10 sowie 11 b (FSS (ToB) unter geb. Deckschicht) wurden die Materialwerte von GS-1 an die jeweils limitierenden ME dieser Bauweisen angepasst. Da die ME der nächst limitierenden Bahnbauweise „Unterbau (Damm) Standard Einschnitt“ auf Sand mit lfd. Nr.: B13 (mit den höchsten Anforderungen aller Bahnbauweisen) nur geringfügig niedriger und gut einhaltbar sind, wurden diese als Materialwerte festgelegt. Damit können alle Bahnbauweisen auf Sand ohne weitere Fußnotenregelungen positiv beurteilt werden. Der Materialwert der $\Sigma 15$ EPA PAK wurde an den limitierenden ME der Bauweise „FSS unter geb. Deckschicht“ Nr. 11b für den ungünstigen Fall mit 2,3 µg/L orientiert (vgl. ME in Tabelle 5.4 in Kapitel 5 Teil II dieser Bericht). Der Materialwert von MKW wurde an die Bauweisen „unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten“ auf Sand mit 160 µg/L orientiert. (Zum Verständnis: Der Materialwert der $\Sigma 15$ EPA PAK könnte auch an die Bauweise unter Plattenbelägen auf Sand mit ME = 4,6 µg/L orientiert werden. In diesem Fall müsste aber eine zusätzliche Fußnote für die Bauweise 11b eingeführt werden. Da der ME der Bauweise 11b gut einhaltbar ist wird dieser festgelegt, um auf eine weitere Fußnote verzichten zu können.)

Mit Fußnote 1 kann die Zulässigkeit von GS-1 in der speziellen Bodenschicht der Bahnbauweise H (Nr. B11) auch für den ungünstigen Fall geregelt werden, indem die limitierenden ME für sonstige Herbizide, Simazin und Glyphosat festgelegt werden (alle anderen Materialwerte unterschreiten die dort geltenden ME). Damit resultieren die in Tabelle 6.12 gelisteten Materialwerte.

Mit weiteren Fußnotenregelungen können Zulässigkeiten von GS-1 in Einbauschichten des Straßenbaus geregelt werden.

Gleisschotter der Qualitätsklasse 2 (GS-2)

Entsprechend der Relevanz der Bauweise 11b für die DB wurden die Materialwerte von GS-2 mit der Ausnahme von Bromacil, AMPA und MKW an die ME der Einbauweise 11b, Frostschutzschichten (ToB) unter gebundener Deckschicht auf Sand angepasst. Die Materialwerte von Bromacil und AMPA wurden an die ME der Bahnbauweise Nr. 14: Unterbau (Damm) Bauweise H auf Sand angepasst. Der Materialwert von MKW wurde an den ME der Bahnbauweise Nr. B13: Unterbau (Damm) Standard Bestand Einschnitt auf Sand angepasst. Damit resultieren die in Tabelle 6.12 gezeigten Materialwerte. Mit Fußnoten können weitere Zulässigkeiten geregelt werden (vgl. Einbautabellen).

Gleisschotter der Qualitätsklasse 3 (GS 3)

Die Materialwerte von GS-3 wurden nicht wie bisher an den BM 3 – Werten orientiert. GS-3 wird in einer separaten Einbautabelle bewertet, und auf geschlossene Bauweisen bzw. teildurchströmte Bauweisen beschränkt. Hiermit können die Materialwerte der Herbizide und anderer Stoffe einerseits an den 90. Perzentilen oder Maximalwerten der Statistiken orientiert und andererseits an Bauweisen mit hohen zulässigen Konzentrationen angepasst werden. Die GS 3-Werte für Herbizide wurden an die ME der Bauweise 11a (Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht) auf Sand bzw. die limitierenden ME der Bahnbauweise B8: Bauweise H modifiziert PSS auf Lehm/Schluff/Ton angepasst. Damit resultieren Materialwerte von 14,5 µg/L für Atrazin (limitiert durch STS, Nr. 11a), 5,3 µg/L für Bromacil (limitiert durch PSS, Nr. B8), 4,85 µg/L für Diuron (limitiert durch STS, Nr. 11a), 26,7 µg/L für Glyphosat, Simazin und für sonstige Herbizide (limitiert durch PSS, Nr. B8). Diese Materialwerte liegen allesamt oberhalb der 90. Perzentile der Statistik für WF 2 – Eluate und der jüngsten Güteüberwachungsdaten aus 2008. Für AMPA wurde ein Materialwert von 50 µg/L festgelegt. In den teildurchströmten Bauweisen sind sehr hohe PAK und MKW-Konzentrationen zulässig, die weit oberhalb der zu erwartenden Konzentrationen in Eluaten von Gleisschottern liegen. Die Materialwerte für PAK und MKW wurden entsprechend auf 50 bzw. 500 µg/L begrenzt.

Im Resultat ergeben sich für GS die in Tabelle 6.12 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhänge 2.2 und 2.3 des AE 2 EBV in Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbaulisten.

Tab. 6.10: Vorschlag von Materialwerten in WF2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 für Gleisschotter im AE 2 EBV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt.

Parameter	Dimension	GS-0	GS-1	GS-2	GS-3
pH	[]	6,5–9,5 10	6,5–9,5 10	6,5–9,5 10	5,5 5-12
Leitfähigkeit	[µS/cm]	350 500	350 500	350 500	1.000
Atrazin	[µg/L]	0,4 0,15	0,25 0,7	0,36 3,1	4,4 14,5
Bromacil	[µg/L]	0,4 0,15	0,15 0,4	0,18 1,3	0,6 5,3
Diuron	[µg/L]	0,05 0,08	0,09 0,24	0,4 1,0	0,3 4,85
Glyphosat	[µg/L]	0,4 0,15	0,35 1,7	0,5 6,2	4,5 26,7
AMPA	[µg/L]	2,5	4,5	17,2	50,0
Simazin	[µg/L]	0,4 0,15	0,4 1,5	0,8 6,0	2,4 26,7
sonstige Herbizide, Abbauprodukte ¹	[µg/L]	0,4 0,15	0,15 2,1	0,18 7,5	0,6 26,7
MKW	[µg/L]	400 150	400 160	400 310	300 500
Σ15 EPA PAK	[µg/L]	0,2 0,3	3 2,5	4,5 42,7	45 50

1) Einzelwerte jeweils für Dimefuron, Flazasulfuron, Flumioxazin AMPA sowie für neu zugelassene Wirkstoffe

6.3 RC-Baustoffe

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) sind RC-Baustoffe *gewonnene Gesteinskörnungen durch Aufbereitung von Abfällen, die bei Bautätigkeiten wie Rückbau, Abriss, Umbau, Ausbau und Erhaltung von Hoch- und Tiefbauten, Straßen, Wegen, Flugplätzen und sonstigen Verkehrswegen angefallen sind und zuvor als natürliche oder künstliche mineralische Baustoffe in gebundener oder ungebundener Form im Hoch- und Tiefbau eingesetzt waren*

6.3.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), die Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe e.V. (BRB), den Industrieverband Steine & Erden Baden-Württemberg e.V. (ISTE), das Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg e.V. (QRB), den Baustoffrecycling Bayern e.V. und die Bundesgütegemeinschaft Recycling-Baustoffe e.V. (BGRB) weiterführende Untersuchungen zu den Qualitäten von RC-Baustoffen durchgeführt und dem BMU zur Verfügung gestellt. Der Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (BVZ) stellte umfangreiche Untersuchungen zu sortenreinen Ziegelprodukten (Vormauerziegel (VMz), Dachziegel (Dz), Hintermauer- oder Hochlochziegel (Hlz)) und RC-Baustoffen mit definierten Splittanteilen verschiedener Ziegelprodukte (VMz, Hlz, Dz) zur Verfügung. Letztere eignen sich für eine Bewertung der Qualität von Recycling-Baustoffen mit einem für den klassifizierten Straßenbau zulässigen Anteil der Stoffgruppe Ziegel von 30 M.-% (TL Gestein-StB, 2004). In der EBV sollen RC-Ziegel-Gemische mit den genannten technisch zulässigen Anteilen unter dem Überbegriff RC-Baustoffe mit geregelt werden. Weiter stellt der BVZ einige Messergebnisse zur Qualität von Bestandsbaustoffen vor, die eine erste Abschätzung der zukünftig zu erwartenden Materialqualitäten von RC-Baustoffen erlauben.

Basierend auf diesen Datengrundlagen und Ergebnissen von Gutachten zum Stofffreisetzungsverhalten von sortenreinen Ziegeln und RC-Baustoffen mit verschiedenen Anteilen von Ziegelmaterial wurde ein Branchenpapier erarbeitet, welches Grundlage mehrerer Branchengespräche des BMU mit den betroffenen Kreisen war (vgl. Kapitel 1.1.2.4, Teil II dieser Bericht). Für eine vollständige und transparente Nachvollziehbarkeit der Bewertungen von RC-Baustoffen in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) werden im Folgenden die zugrunde liegenden Modellierungsergebnisse, Messdatengrundlagen und statistischen Auswertungen dargestellt. Der Veröffentlichung industrie-eigener Daten in nachfolgender Form haben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.11: Aktuelle Datengrundlagen zur Bewertung der Materialqualitäten von RC-Baustoffen für AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011). Abkürzungen: LUBW: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; BRB: Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe e.V., KM: Ingenieurbüro Dr.-Ing. Klaus Mesters für Straßenbau- und Umwelttechnik (KM GmbH), BGRB: Bundesgütegemeinschaft Recycling-Baustoffe; QRB: Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg.

Kurztitel, Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner, Studie/durchführende Institution	Anzahl der Einzelproben n, Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
Ökoinstitut 2007; 22.01.2007, Ökoinstitut, 2007, Herr Dr. Susset (UBA-BMU-F&E Susset & Leuchs, 2008a), Herr Dr. Mesters (KM), KM GmbH Bochum, ZAG Tübingen	50, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen: 37 × NRW; 1 × RP; 7 × Sachsen; 2 × HH; 2 × Hessen; 1 × Thüringen	ausführlicher SV nach BAM (2006) C _{w, kum} bei WF 2 berechnet; WF 2- und WF 10-Schütteleluat in Anlehnung an TL Gestein-STB; PAK Feststoffgehalte; weites Stoffspektrum; stoffliche Zusammensetzung nach TL Gestein	Dehoust et al. (2007); ausgewertet für AE 1 EBV durch Susset & Leuchs (2008a)
LUBW 2008, 03.07.2008; Herr Dr. Schäfer, jährliche Untersuchungskampagne 2007-2008, LUBW Karlsruhe	97 RC-Baustoffe (im WF 2 Säuleneluat) für Lf, pH und PAK wurden 60 zusätzliche RC-Proben untersucht (also insgesamt 157)	Bauschutt-Recyclinganlagen mit den höchsten Durchsatzmengen aus BW (keine QRB-Mitglieder, auch ungünstigere Qualitäten)	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN E 19528; WF 2-Schütteleluat nach DIN E 19529; WF 10-Schütteleluat nach DIN 38414 (DEV-S4); weites Stoffspektrum; PAK Feststoffgehalte; stoffliche Zusammensetzung nach TL Gestein	Vortrag von Herrn Nagel, BMU-WS; LUBW-Bericht: "Analytische Untersuchung von Bauschutt-recycling-material in Baden-Württemberg 2007 / 2008"
BRB I 2008; 04.07.2008; Herr Fischer, Herr Dr. Mesters, Screeningtest/ KM, BRB Duisburg	30, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen aus NRW	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN E 19528; WF 2-Schütteleluat nach DIN E 19529; weites Stoffspektrum; WF 10-Schütteleluat nach TL Gestein-STB; keine PAK Feststoffgehalte	Vortrag von Herrn Fischer BMU-WS (2008)
RC Bayern 2008, Baustoffrecycling Bayern e.V., Herr Weber, 2009, Untersuchungskampagne 2008/Teil 1, München	20, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen aus BY	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN E 19528 WF 2-Schütteleluat nach DIN E 19529 WF 10-Schütteleluat nach DIN 38414 (DEV-S4); nur regelmäßige Güteüberwachungsparameter; PAK Feststoffgehalte	Ergebnistabelle, bereitgestellt im März 2009
LUBW 2009, 03.07.2009; Herr Schmerbeck, jährliche Untersuchungskampagne 2008-2009, LUBW Karlsruhe	34, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen mit den höchsten Durchsatzmengen aus BW, Betriebe mit den ungünstigsten Qualitäten aus jährlicher Untersuchungskampagne 2007-2008 nachbeprob	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528; Säulenversuch nach CEN TS 14405; WF 2-Schütteleluat nach DIN 19529; WF 10-Schütteleluat nach DIN 38414 (DEV-S4); nur regelmäßige Güteüberwachungsparameter; PAK Feststoffgehalte; Phenolindex	Vortrag von Herrn Schmerbeck, 11. RC-Tag ISTE; LUBW-Bericht: "Analytische Untersuchung von Bauschutt-recycling-material in Baden-Württemberg 2008 / 2009"

BGRB 2009 ; 03.10.2010; Herr Fischer, Herr Dr. Mesters, FÜ Herbst/Winter, Bundesgütegemeinschaft Berlin	5, RC-Baustoffe	unbekannt	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528; WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529; z.T. PAK Feststoffgehalte; nur regelmäßige Güteüberwachungsparameter	Ergebnistabelle, bereitgestellt im Oktober 2010
BRB II 2009 ; 03.10.2010; Herr Fischer, Herr Dr. Mesters, FÜ Herbst/Winter NRW, BRB Duisburg	44, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen aus NRW	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528; WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529 und WF 10- Schütteleuat in Anlehnung an TL Gestein-STB; PAK Feststoffgehalte; nur regelmäßige Güteüberwachungsparameter	Ergebnistabelle, bereitgestellt im Oktober 2010
FÜ Norddeutschland 2009 ; 03.10.2010; Herr Fischer, Herr Dr. Mesters, FÜ Herbst/Winter, BRB Duisburg	9, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen aus Norddeutschland n= 9	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528; WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529; und WF 10- Schütteleuat in Anlehnung an TL Gestein-STB; nur Vanadium z.T. PAK Feststoffgehalte, pH und Lf	Ergebnistabelle, bereitgestellt im Oktober 2010
FÜ Hessen 2009 ; 03.10.2010; Herr Fischer, Herr Dr. Mesters, FÜ Herbst/Winter, BRB Duisburg	1, RC-Baustoffe	Bauschutt-Recyclinganlagen aus Hessen n=1	WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528; WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529; und WF 10- Schütteleuat in Anlehnung an TL Gestein-STB; nur Vanadium pH, Lf, Vanadium, PAK	Ergebnistabelle, bereitgestellt im Oktober 2010
QRB 2010 ; 07.10.2010; Herr Albrich, FÜ Sommer 2010 BaWü, QRB, Ostfildern	28, RC-Baustoffe		WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528; WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529; PAK Feststoffgehalte; weites Stoffspektrum	Ergebnistabelle, bereitgestellt im Oktober 2010
alle Daten	319 bis max. 379			

Tab. 6.12: Aktuelle Datengrundlagen zur Bewertung der Materialqualitäten von verschiedenen sortenreinen Ziegelprodukten, von RC-Baustoffe mit definierten Ziegelanteilen und von i.d.R. sortenreinen Bestandsbaustoffen. Abkürzungen: BVZ: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., GIU: Gewerbliches Institut für Umweltanalytik Teningen GmbH, KM: Ingenieurbüro Dr.-Ing. Klaus Mesters für Straßenbau- und Umwelttechnik GmbH, IZF: Institut für Ziegelforschung Essen e.V., Keramlabor: Keramisch-Technologisches Baustofflaboratorium Hamburg e. V..

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner, Studie/durchführende Institution	Anzahl der Einzelproben und Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
BVZ, 06.03.09, Herr Rosen, Screeningtests Ziegelsplitte/ GIU GmbH	78 Hintermauerziegel bzw. Hochlochziegel, 15 Vormauerziegel, 17 Dachziegel	verschiedene Ziegelhersteller, frische Ziegel auf Körnung 0 – 2 mm gebrochen	Einfachbestimmung WF 2-Schütteleuat in Anlehnung an DIN E 19529	Ergebnistabelle, bereitgestellt durch BVZ am 06.03.09
BVZ, 06.03.09, Herr Rosen, Vergleichsuntersuchung/IZF	13 Hochlochziegel aus Probensatz der GIU GmbH (siehe oben)	verschiedene Ziegelhersteller, frische Ziegel gebrochen und auf Sieblinie 0/8 (0 – 8 mm) fraktioniert	Einfachbestimmung WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529, WF 10-Schütteleuat nach DIN 38414 (DEV S4), WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528	Laborbericht IZF Nr. CH 6477 v. 14.07.08
BVZ, 06.03.09, Herr Rosen, Vergleichsuntersuchungen/ Keramlabor GmbH	2 Hochlochziegel, 1 Vormauerziegel, 6 Dachziegel, 2 Pflasterklinker aus Probensatz der GIU GmbH (siehe oben)	verschiedene Ziegelhersteller, frische Ziegel gebrochen und auf Standard-Sieblinie B 8 (0 – 8 mm) n. DIN 1045-2 fraktioniert	Einfachbestimmung WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN E 19528, WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529, WF 10-Schütteleuat nach DIN 38414 (DEV S4)	Laborbericht Keramlabor vom 09.05.08
BVZ, 06.03.09, Herr Rosen, Screening Bestandsbaustoffe/IZF e.V.	19 verschiedene Bestandsbaustoffe: Ziegel (Hochlochziegel), Kalksandsteine, Bauprodukte (Gipsplatten, Steagstein, Mörtel, Beton, Liapor, Steinwolle, Zementstrich)	Proben aus Baubestand, Materialien gebrochen, abgesiebte Körnung 0/2 wurde untersucht	Einfachbestimmung WF 2 -Schütteleuat nach DIN E 19529	Laborbericht IZF Nr. CH 6477 v. 19.01.09
BVZ, 06.03.09, Herr Rosen, Einfluss Ziegelsplittanteile in RC-Baustoffen/KM GmbH	Insgesamt 14 Proben: 1 Beton RC, 1 Asphalt RC; Beton RC und Beton Asphalt mit jeweils 3 Ziegelbruchqualitäten (Dachziegel, Vormauerziegel, Hintermauerziegel) und jeweils 2 verschiedenen Ziegelanteilen (30 M.-%, 80 M.-%) .	Qualitätsgesicherter, fremdüberwachter RC Beton bzw. RC Asphalt der Körnung 0/45 wurde auf 0/22 abgesiebt; "produktionsfrische" Ziegelsplitte der Körnung 0/22 aus Probensatz der GIU (siehe oben); Zusammensetzung der Gemische gemäß Typ-Körnungslinie 0/22 (Fuller-Parabel)	RC Beton bzw. RC Asphalt und Gemische: Einfachbestimmung WF 10-Schütteleuat nach TP GesteinstB Teil 7.1.1; RC-Ziegelgemische: Dreifachbestimmung WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN E 19528	Gutachten B 080910 der KM von 09/08
BVZ, 06.03.09, Herr Rosen, Vergleichsuntersuchung Abklingverhalten in Ziegeln/GIU, KM/Keramlabor/IZF	1 Hintermauerziegel, 1 Vormauerziegel, 1 Dachziegel aus Probensatz der GIU GmbH (siehe oben)	"produktionsfrischer" Ziegelsplitt der Körnung 0/22 (0-22,4 mm) aus Probensatz der GIU GmbH (siehe oben)	laborübergreifende Dreifachbestimmung im ausführlichen Säulenversuch nach DIN E 19528 (4 WF-Fraktionen)	Ergebnistabelle, bereitgestellt durch BVZ am 06.03.09
BVZ, 17.10.2010, Herr Rosen/ Herr Susset, „Umweltrelevanz von dünn-schichtigen Bauweisen mit Ziegelmehlen im Tennendeckenbau“ Gutachten Susset (2010b)	6 Dachziegel	Dachziegelprodukte für den Tennendeckenbau (produktionsfrische Ziegelmehle)	ausführliche Säulenversuche nach DIN 19528	Ergebnistabellen der GIU GmbH am 10.09.2010 z. VfG. gestellt.

6.3.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen

Nachfolgende Tabelle 6.13 zeigt die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 (2009) (z. T. auch DIN E 19528, Entwurf von 2008) für den Gesamtdatensatz von RC-Baustoffen mit unbestimmten Ziegelanteilen für Parameter, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als nicht regelungsrelevant beurteilt werden. Da die Nichtrelevanz für alle Einzeldatensätze gleichermaßen gilt, wurde hier nicht nach Herkunft unterschieden. Die Anzahl (n) der Analyseergebnisse schwankt, weil nicht in jedem Probensatz alle Stoffe gemessen wurden. Die Ergebnisse der neuen Untersuchungen bestätigen bis auf wenige Ausreißerwerte, dass Chlorid, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Molybdän, Nickel und Zink im WF 2-Eluat von RC-Baustoffen nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind (die 90. Perzentilwerte unterschreiten entweder die Bestimmungsgrenze, den GFS oder den Bezugsmaßstab - also per Definition keine Bewertungsrelevanz, oder sie unterschreiten die Materialwerte der günstigsten Materialklasse – also per Definition keine Regelungsrelevanz).

Tab. 6.13: Nicht relevante Parameter, RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen, Gesamtdatensatz: Statistische Kenngrößen der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze, kA = keine Analyse.

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
alle RC-Baustoffdaten aus Tabelle 6.10	n	205	80	206	205	206	206	206	206
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	687	34	19	9	<BG	95	38	212
	Mittel	21	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	15	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Pez.	22	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perz.	28	<BG	<BG	<BG	<BG	113	<BG	<BG
	90. Perz.	41	<BG	<BG	<BG	<BG	18	<BG	<BG

Nachfolgende Tabelle 6.14 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als regelungsrelevant beurteilt werden. Um die Unterschiede der Konzentrationsverteilungen verschiedener Datenherkünfte (z.B. verschiedener Ländern) darzustellen, wurden die Kennwerte nach Einzeldatensätzen separiert und für den Gesamtdatensatz gelistet. Die Ergebnisvergleiche bestätigen die Regelungsrelevanz von Sulfat, Chrom, ges., Kupfer, Vanadium und der Σ15 EPA PAK im WF 2-Eluat von RC-Baustoffen wie nach Susset & Leuchs (2008a). Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter. PAK-Feststoffgehalte sind nachrichtlich mit aufgeführt.

Tab. 6.14: Relevante Parameter, RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen - verschiedene Datengrundlagen: Statistische Kenngrößen der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze, kA = keine Analyse.

Daten- grund- lagen	Stat. Kenn- größen	pH- Wert []	Lf [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Vanadi- um [µg/L]	Σ15 EPA PAK	
								[µg/L]	[mg/kg]
Öko- institut 2007	n	49	50	50	49	50	50	50	50
	Min	9,0	370	8	<BG	10	<BG	0,1	1
	Max	12,4	7799	1169	46	73	100	36,3	64
	Mittel	11,1	2298	306	16	35	34	3,0	16
	Median	11,3	1750	167	13	34	32	1,9	9
	70. Perz.	11,8	2369	338	21	42	42	2,6	18
	80. Perz.	12,0	2930	567	23	48	47	3,2	22
	90. Perz.	12,2	4932	788	30	54	58	4,7	49
LUBW 2008	n	157	157	97	97	96	97	157	157
	Min	6,8	62	4	<BG	3	<BG	0,1	<BG
	Max	13,4	5164	3255	110	82	51	10,2	149
	Mittel	10,7	1371	376	18	16	14	1,4	10
	Median	11,1	1255	62	13	10	11	1,0	3
	70. Perz.	11,6	1655	281	22	17	17	1,6	7
	80. Perz.	11,8	2041	580	28	22	25	2,0	13
	90. Perz.	12,0	2592	1375	36	42	35	3,2	24
BRB I 2008	n	30	30	30	29	30	30	0	0
	Min	7,2	66	10	10	10	<BG	kA	kA
	Max	11,6	3130	987	81	99	85	kA	kA
	Mittel	9,5	890	280	26	24	39	kA	kA
	Median	9,4	777	233	20	19	39	kA	kA
	70. Perz.	10,1	862	300	34	25	50	kA	kA
	80. Perz.	10,5	1026	374	43	26	53	kA	kA
	90. Perz.	11,3	1598	710	47	46	64	kA	kA
RC Bayern 2008	n	20	20	20	20	20	20	20	0
	Min	10,0	270	<BG	7	<BG	<BG	<BG	kA
	Max	12,6	7040	1600	110	86	92	19	kA
	Mittel	11,8	3046	312	45	30	18	3	kA
	Median	12,0	2435	40	30	24	7	2	kA
	70. Perz.	12,1	3722	187	62	33	19	2	kA
	80. Perz.	12,4	4216	560	87	40	22	3	kA
	90. Perz.	12,4	6290	1220	95	78	41	9	kA

Fortsetzung Tabelle 6.14:

Daten- grund- lagen	Stat. Kenn- größen	pH- Wert []	Lf [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Vanadi- um [µg/L]	Σ15 EPA PAK	
								[µg/L]	[mg/kg]
LUBW 2009	n	34	34	34	34	34	34	34	34
	Min	7,6	253	<BG	2	6	<BG	<BG	<BG
	Max	12,0	3350	1957	80	100	79	1,9	44
	Mittel	9,6	1683	579	31	25	35	0,3	7
	Median	9,2	1460	154	27	20	30	0,2	5
	70. Perz.	10,4	2501	858	48	28	57	0,3	8
	80. Perz.	11,0	2708	1447	51	31	67	0,4	9
	90. Perz.	11,7	3044	1568	58	40	74	0,6	12
BGRB 2009	n	4	4	5	5	5	5	1	2
	Min	10,8	1000	47	13	7	14	<BG	13
	Max	11,7	2470	234	26	56	80	<BG	15
	Mittel	11,4	1635	144	19	39	28	<BG	14
	Median	11,5	1535	176	18	46	15	<BG	14
	70. Perz.	11,7	1723	190	20	49	15	<BG	15
	80. Perz.	11,7	1972	201	21	51	28	<BG	15
	90. Perz.	11,7	2221	218	23	53	54	<BG	15
BRB II 2009	n	44	44	44	44	44	44	44	44
	Min	9,3	326	10	5	10	4	<BG	1
	Max	12,2	2890	850	46	149	140	3,3	19
	Mittel	11,0	1141	214	16	26	34	0,8	6
	Median	11,1	1020	91	14	16	30	0,7	5
	70. Perz.	11,4	1352	257	20	29	40	0,9	6
	80. Perz.	11,8	1576	377	21	32	47	1,1	11
	90. Perz.	12,1	2038	537	24	54	62	1,5	14
FÜ Nord- dt., Hes- sen 2009	n	4	1	0	0	0	10	3	0
	Min	10,3	2370	kA	kA	kA	0	0,9	kA
	Max	11,9	2370	kA	kA	kA	110	1,1	kA
	Mittel	11,1	2370	kA	kA	kA	41	1,0	kA
	Median	11,1	2370	kA	kA	kA	41	1,1	kA
	70. Perz.	11,9	2370	kA	kA	kA	51	1,1	kA
	80. Perz.	11,9	2370	kA	kA	kA	56	1,1	kA
	90. Perz.	11,9	2370	kA	kA	kA	69	1,1	kA

Fortsetzung Tabelle 6.14:

Daten- grund- lagen	Stat. Kenn- größen	pH- Wert []	Lf [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Vanadi- um [µg/L]	Σ15 EPA PAK	
								[µg/L]	[mg/kg]
QRB/ ISTE 2010	n	28	28	28	28	28	28	28	23
	Min	8,6	101	2	0	2	3	<BG	<BG
	Max	12,6	8730	1465	90	149	33	8,5	27
	Mittel	11,3	2514	211	24	28	12	1,7	7
	Median	11,8	2044	31	18	26	8	0,7	4
	70. Perz.	12,1	2802	67	30	32	14	1,6	7
	80. Perz.	12,2	3764	182	38	37	22	2,3	14
	90. Perz.	12,4	5127	848	45	50	27	5,2	20

Tabellen 6.17 und 6.18 zeigen die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse der Screeningtests von sortenreinen Ziegeln, die mit einem vereinfachten *WF 2*-Schütteluat in Anlehnung an DIN 19529 durchgeführt wurden, für Stoffe, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als regelungsrelevant (Tab. 6.17) bzw. als nicht regelungsrelevant (Tab. 6.18) beurteilt werden.

Anhand einer Auswertung der Vergleichsstudien der GIU, des IZF und des Keramlabors in Säulenversuchen und vereinfachten Schütteltests aus dem Screeningtestdatensatz kann gezeigt werden, dass für die Mehrheit der vereinfachten Schütteluate deutliche Überbefunde gegenüber den *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 und den *WF 2*-Schütteluaten nach DIN 19529 resultieren. Da sich die *WF 2*-Schütteluate der Screeningtests von den Schütteltest nach DIN 19529 methodisch kaum unterscheiden, werden die Überbefunde insbesondere auf die im Screeningtest eingesetzte feinere Körnung von 0-2 mm gegenüber 0-8 mm bei den Schütteltests nach DIN 19529 zurückgeführt (durch das Brechen der Originalprobe entstehen höhere innere Oberflächen, die für den diffusiven Stoffaustausch zur Verfügung stehen und es können feinste Partikel < 0,45 µm entstehen, die zum partikelgetragenen Stofftransport beitragen können).

Insgesamt ist also anzunehmen, dass die in den nachfolgenden Tabellen gezeigten Stoffkonzentrationen und Kenndaten die Stofffreisetzung aus sortenreinen Ziegeln gegenüber der Referenzmethode nach DIN 19528 deutlich überschätzen.

Tab. 6.15: Nicht relevante Parameter, sortenreine Ziegel unterschieden nach Hz, Dz und VMz: Statistischen Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Schütteleluaten in Anlehnung an DIN 19529 aus den Screeningtests der GIU GmbH und von 4 Hz-Proben aus der Studie des IZF (vgl. Tabelle 6.12). Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze.

Hintermauerziegel (Hz)								
Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]	
Screeningtest Ziegelsplitte der GIU sowie HLZ-Proben aus Screening der Bestands- baustoffe des IZF	n	13	78	84	78	78	78	78
	Min	0,8	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	22	15	11	12,0	34	385	
	Mittel	7	<BG	0,4	1	1,6	9	
	Median	6	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	7	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	5
	80. Perzentil	8	<BG	1	2	2	8	
	90. Perzentil	15	<BG	1	3	4	12	
Vormauerziegel (VMz)								
Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
Screening- test Zie- gelsplitte der GIU	n	0	15	15	15	15	15	15
	Min	kA	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	kA	5	<BG	<BG	26	<BG	39
	Mittel	kA	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	kA	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	kA	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	kA	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	kA	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	16
Dachziegel (Dz)								
Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Antimon [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]
Screening- test Zie- gelsplitte der GIU	n	<BG	17	17	17	17	17	17
	Min	kA	3	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	kA	313	13	11	<BG	23	<BG
	Mittel	kA	73	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	kA	31	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	kA	74	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	kA	91	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	kA	197	6	6	<BG	13	<BG

Tab. 6.16: Relevante Parameter, sortenreine Ziegel unterschieden nach Hz, Dz, VMz: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Schütteleluaten in Anlehnung an DIN 19529 der Screeningtests der GIU GmbH und der 4 Hz der IZF-Studie. BG = Bestimmungsgrenze. Bei Hz wurde 1 Ausreißerwert von Chrom, ges und Vanadium ausgeklammert.

Hintermauerziegel (Hz)									
Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähig- keit [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Molyb- dän [µg/L]	Vana- dium [µg/L]
Screening- test Ziegel- splitte der GIU sowie Hz-Proben aus Scee- ning der Bestands- baustoffe des IZF	n	84	84	84	78	84	83	84	83
	Min	7.6	17	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	12.4	9190	2538	77	237	3036	783	5326
	Mittel	10.7	2143	631	6	30	506	135	1109
	Median	10.8	1910	324	<BG	17	244	87	487
	70. Perz.	11.3	2662	794	7	30	630	154	1365
	80. Perz.	11.7	2874	1440	12	47	1064	201	2058
	90. Perz.	12.1	3874	1671	15	87	1258	306	3558
Vormauerziegel (Vmz)									
Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähig- keit [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Arsen [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Molyb- dän [µg/L]	Vana- dium [µg/L]	
Screening- test Zie- gelsplitte der GIU	n	15	15	15	15	15	15	15	
	Min	8.3	67	1	5	<BG	9	20	
	Max	10.6	1385	773	95	53	72	684	
	Mittel	9.5	464	197	38	11	41	272	
	Median	9.5	299	51	36	6	38	246	
	70. Perz.	9.8	525	220	56	11	60	335	
	80. Perz.	10.3	712	309	65	22	64	437	
	90. Perz.	10.5	1206	639	80	27	67	504	
Dachziegel (Dz)									
Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähig- keit [µS/cm]	Arsen [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Vanadium [µg/L]		
Screening- test Zie- gelsplitte der GIU	n	17	17	17	17	17	17		
	Min	7.8	27	<BG	<BG	26	35		
	Max	10.4	732	193	84	276	2388		
	Mittel	9.4	260	62	19	75	776		
	Median	9.6	214	39	11	72	769		
	70. Perz.	9.9	302	84	16	77	864		
	80. Perz.	10.1	413	104	30	84	993		
	90. Perz.	10.2	551	132	46	112	1530		

Für die Regelungen der EBV im klassifizierten Straßenbau interessiert jedoch der technische zulässige Anteil der Stoffgruppe Ziegel von 30 M.-% (TL Gestein-StB, 2004) in RC-Baustoffen und das Stofffreisetzungsverhalten solcher Gemische.

Der BVZ hat für die Untersuchung der Fragestellung der Stofffreisetzung aus Ziegeln im RC-Baustoffgemisch eine fundierte, repräsentative Datengrundlage erhoben. Hierzu wurden neben den sortenreinen Ziegeln (vgl. Tabellen 6.15 und 6.16, detailliert in Gutachten GIU GmbH und Susset, 2009) auch RC-Baustoffgemische mit definierten Ziegelanteilen (Gutachten der KM GmbH, Probenfraktionen wurden zusammengesetzt) mit Säulenversuchen nach DIN 19528 untersucht und die Ergebnisse dem BMU vorgelegt. Das Stofffreisetzungsverhalten von RC-Ziegel-Gemischen mit definierten Ziegelanteilen von 30 M.-% bis 80 M.-% zeigt, dass die in sortenreinen Ziegeln bewertungsrelevanten Konzentrationen von Arsen und Molybdän keine Rolle mehr spielen (vgl. Ergebnisse der Untersuchungen der KM GmbH, 2008 zum „Einfluss der Ziegelsplittanteile in RC-Baustoffen“). Sulfat ist nur bei Beimischung von Hlz bewertungsrelevant. Der bisherige Materialwert von Vanadium mit 30 µg/L in AE1 EBV (BMU, 2007) hätte den Mengenanteil von sortenreinen Ziegeln in RC-Baustoffen der Materialklasse 1 allerdings sehr stark limitiert.

In einer weiteren Studie wurde auf der Grundlage einer empirischen Funktion die Stofffreisetzung aus RC-Ziegel-Gemischen prognostiziert (Susset, 2010 a, b, siehe Tabelle 6.12). Danach wurden auf der Grundlage verschiedener linearer Regressionsmodelle Eluatqualitäten von RC-Baustoffen mit Ziegelanteilen bis 30 M.-% für die bewertungsrelevanten Stoffe berechnet und mit Messergebnissen der KM GmbH (siehe vorhergehender Abschnitt) validiert. Tabelle 6.19 zeigt die nach verschiedenen linearen Regressionsmodellen berechneten Eluatqualitäten von RC-Baustoffen für die relevanten Stoffe Sulfat, Chrom, ges. und Vanadium in Abhängigkeit der Eluatqualitäten der sortenreinen Ziegel aus dem Screeningtestdatensatz der GIU GmbH für verschiedene statistische Kennwerte. Berechnungsgrundlage sind gewichtet gemittelte Perzentile von Konzentrationen in Eluaten der Screeningtests für eine typische Ziegelmischung aus Hlz, VMz und Dz. Das Regressionsmodell 1 überschätzt tendenziell die zu erwartenden Stofffreisetzungen, Regressionsmodell 2 führt eher zu realistischen Ergebnissen (detailliert in Susset, 2010a, b). Zusätzlich wurde eine Korrektur der Ergebnisse aufgrund der oben genannten Überschätzung der WF 2-Eluatkonzentrationen durch Screeningtests gegenüber Säulenversuchen nach DIN 19528 durchgeführt (Modelle 1 a und 2 a, Werte in Klammern).

Lesehilfe zur Tabelle 6.19: Zeile Maximalwerte: Bei Zumischung von sortenreinen Ziegeln (in einem typischen Ziegelgemisch aus Hlz, VMz und Dz) mit den ungünstigsten bekannten Eluatqualitäten der verfügbaren Datengrundlage (Maximalwerte aus dem Screeningtestdatensatz, Tabelle 6.16) in einem Massenanteil von 30 M.-% zu einem RC-Baustoff, werden die in Tabelle 6.17 gelisteten Konzentrationen im WF 2-Eluat des RC-Baustoffgemisches prognostiziert (unterschiedliche Modelle). Die Ergebnisse dieser theoretischen Betrachtung in Tabelle 6.16 bestätigen, dass die Verwertung von RC-Baustoffen mit maximal zulässigen Ziegelanteilen bis 30 M.-% in der günstigen Materialklasse RC-1 insbesondere durch Vanadium limitiert werden kann, sofern der Materialwert entsprechend niedrig ist. Sulfat und Chrom, ges. sind im Gemisch voraussichtlich kaum verwertungslimitierend. Die Modelle eignen sich zur Abschätzung der einhaltbaren Perzentile durch RC-Ziegel-Gemische in Abhängigkeit der Materialwerte (vgl. Kapitel 6.3.3).

Tab. 6.17: Statistische Kenngrößen der Eluatqualitäten repräsentativer RC-Ziegel-Gemischen für technisch zulässige Ziegelanteile von 30 M.-%: Nach verschiedenen linearen Regressionsmodellen (Modell 1 und Modell 2) berechnete Eluatqualitäten von RC-Baustoffen für die relevanten Stoffe Sulfat, Chrom, ges. und Vanadium. Berechnungsgrundlage sind gewichtet gemittelte Perzentile von Konzentrationen in Eluaten der Screeningtests für eine typische Ziegelmischung aus Hz, VMz und Dz. Werte in Klammern (Modell 1a und 2a, Korrektur): Aufgrund der Überschätzung der Screeningtests gegenüber der Referenzmethode Säulenversuch nach DIN 19528 korrigierte Werte (aus Susset , 2010).

Statistische Kenngrößen	Konzentrationen im Eluat der Screeningtests für eine repräsentative Ziegelmischung, gewichtet nach Aufkommen von Hz (49,7 M.-%), VMz (13,4 M.-%) und Dz (36,9 M.-%)			Berechnete Konzentrationen in WF 2-Eluaten von RC-Ziegel-Gemischen					
				Modell 1 (Modell 1a, Korrektur)			Modell 2 (Modell 2a, Korrektur)		
	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Vanadium [µg/L]
Maximum	1438	2568	4614	431 (302)	770 (539)	1384 (969)	237 (139)	485 (291)	1038 (639)
Mittel	366	287	911	110 (77)	86 (60)	273 (191)	60 (35)	54 (33)	205 (126)
Median	180	129	567	54 (38)	39 (27)	170 (119)	30 (17)	24 (15)	128 (79)
70. Perzentil	450	336	1050	135 (94)	101 (71)	315 (220)	74 (43)	63 (38)	236 (145)
80. Perzentil	781	549	1561	234 (164)	165 (115)	468 (328)	129 (75)	104 (62)	351 (216)
90. Perzentil	987	676	2489	296 (207)	203 (142)	747 (523)	163 (95)	128 (77)	560 (345)

Weiter stellt der BVZ einige Messergebnisse zur Qualität von Bestandsbaustoffen vor, die eine erste Abschätzung der zukünftig zu erwartenden Materialqualitäten von RC-Baustoffen erlauben. Dabei handelt es sich um 13 verschiedene Bestandsbaustoffe: Kalksandsteine und verschiedene Bauprodukte: Gipsplatten, Steagstein, Mörtel, Beton, Liapor, Steinwolle, Zementestrich. Hierzu wurden Proben aus dem Baubestand entnommen, die Materialien gebrochen und die abgesiebte Körnung 0/2 im WF 2 -Schütteleluat nach DIN E 19529 untersucht.

Nachfolgende Tabelle 6.18 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Schütteleluate in Anlehnung an DIN 19529 der Screeningtests des IZF mit Bestandsbaustoffen für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant wären. Die Ergebnisse bestätigen, dass bis auf wenige Ausreißerwerte Arsen, Cadmium, Molybdän und Zink im WF 2 - Eluat von RC-Baustoffen nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind. Chlorid, Antimon, Blei, Kupfer, Nickel, Zink und die Σ15 EPA PAK wurden in dieser Studie nicht analysiert.

Tab. 6.18: Nicht relevante Parameter, verschiedene Bestandsbaustoffe (ohne Ziegel): Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Schütteleluaten in Anlehnung an DIN 19529 der Screeningtests des IZF. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze; kA = keine Analyse.

Daten- grundlagen	Statistische Kenn- größen	Arsen [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Molybdän [µg/L]
Screening- test Bestandsbau- stoffe IZF	n	13	13	13
	Min	<BG	<BG	<BG
	Max	25	<BG	50
	Mittel	<BG	<BG	13
	Median	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	14
	80. Perzentil	<BG	<BG	27
	90. Perzentil	12	<BG	33

Nachfolgende Tabelle 6.19 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Schütteleluate in Anlehnung an DIN 19529 der Screeningtests des IZF für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Die Ergebnisvergleiche bestätigen die Regelungsrelevanz von Sulfat, Chrom, ges. und Vanadium im WF 2-Eluat von RC-Baustoffen. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.19: Relevante Parameter, verschiedene Bestandsbaustoffe (ohne Ziegel): Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Schütteleluaten in Anlehnung an DIN 19529 der Screeningtests des IZF. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze; kA = keine Analyse.

Daten- grundlagen	Statistische Kenn- größen	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Vanadium [µg/L]
Screening- test Bestandsbau- stoffe IZF	n	13	13	13
	Min	2	<BG	<BG
	Max	2100	380	350
	Mittel	766	60	68
	Median	380	18	29
	70. Perzentil	1500	29	40
	80. Perzentil	1680	71	42
	90. Perzentil	1880	132	241

Die Perzentilverteilungen der WF 2 –Eluatkonzentrationen der bewertungsrelevanten Stoffe Sulfat, Chrom, ges. und Vanadium sind mit den bekannten Konzentrationsverteilungen in WF 2-Säulenkurzeluaten der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen vergleichbar (vgl. Tabelle 6.14, nur Ausreißerwerte von Vanadium und Chrom, ges. sind deutlich erhöht). Das sehr hohe Sulfatniveau in Bestandsbaustoffen, insbesondere in Mörtel und Gipsplatten findet sich bereits jetzt in den 80. Perzentilen der Eluate der RC-Baustoff-Gemische wieder. Dies bedeutet allerdings, dass auch zukünftig mit zum Teil sehr hohen Sulfatausträgen aus RC-Baustoffgemischen gerechnet werden muss. Es ist anzunehmen, dass die Zielwerte 2020 für

Sulfat nach AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011) die Verwertung von RC-Baustoffen auch zukünftig stark limitieren können.

6.3.3 Ableitung von Materialwerten

Indikatorparameter pH und Lf

Die Parameter pH-Wert und Leitfähigkeit haben keinen Grenzwertcharakter sondern sind Orientierungswerte. Die pH-Werte wurden an die Min.- und Max.-Werte der Gesamtdatengrundlage (alle Messdaten der RC- und Bestandsbaustoffe, RC-Baustoffe mit definierten Ziegelanteilen und der sortenreinen Ziegel) mit 6 - 13 angepasst (geringfügige Änderung gegenüber AE 1 EBV, BMU 2007).

Für die Leitfähigkeit wurde ebenfalls bezogen auf den Gesamtdatensatz im Fall von RC-3 der Maximalwert von 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ herangezogen (keine Änderung gegenüber AE 1 EBV). Für RC-2 wurde der 90. Perzentilwert von 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (leichte Erhöhung gegenüber AE 1 EBV) und für RC-1 der 80. Perzentilwert von 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (leichte Erhöhung gegenüber AE 1 EBV) herangezogen.

Materialwerte der Qualitätsklasse 1 (RC-1)

Die Materialwerte für RC-1 könnten wie bei AE 1 EBV nach Susset & Leuchs (2008a) an die ME der Bauweisen über Sand mit den höchsten Anforderungen an den Medienschutz angepasst werden, um ohne weitere Einschränkungen alle offenen Bauweisen über Sand zu regeln. Hierbei handelt es sich um die Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder unter Plattenbelägen (Ifd. Nr.: 17, 19, 21, 23) mit ME für die hier zu betrachtenden Schwermetalle Chrom, ges. (ME: 137 $\mu\text{g}/\text{L}$), Kupfer (ME: 111 $\mu\text{g}/\text{L}$), Vanadium (ME: 65 $\mu\text{g}/\text{L}$). Bezüglich Sulfat limitiert aufgrund der höheren Schichtmächtigkeit die Bauweise Verfüllung von Baugruben unter Deckschichten ohne Bindemittel bzw. unter Plattenbelägen (Ifd. Nr.: 23) mit einem ME von 220 mg/L . Die genannten ME der Schwermetalle sind bezogen auf die Einzelkonzentrationen des Gesamtdatensatzes der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen (Tabelle 6.14) mindestens im 93. Perzentil (Vanadium und $\Sigma 15$ EPA PAK) einhaltbar. Der ME von Kupfer und Chrom, ges. wird durch diesen Datensatz immer unterschritten. Der Maximalwert liegt bei 149 $\mu\text{g}/\text{L}$ für Kupfer (1 Ausreißerwert) und 110 $\mu\text{g}/\text{L}$ für Chrom, ges. Die stärkste Limitierung ergibt sich demnach durch den ME von Sulfat, der bezüglich des Gesamtdatensatzes der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen im 63. Perzentil eingehalten wird. Der per Übergangsregelung des BMU bis zum Jahr 2020 zulässige Sulfatwert von 350 mg/L kann bezogen auf die Einzelkonzentration im 73. Perzentil eingehalten werden.

Die Verwertung von sortenreinen Ziegeln wäre durch die genannten ME von Vanadium, Chrom, ges. und Sulfat stark limitiert. Die oben genannten ME sind durch sortenreine Ziegel bezogen auf den Gesamtdatensatz (vgl. Tabelle 6.16, ohne Unterscheidung nach Ziegelart), nur im 24. (Vanadium), 56. (Chrom, ges.) und 63. Perzentil (Sulfat Übergangswert 350 mg/L) einhaltbar. Die ME von Kupfer und $\Sigma 15$ EPA PAK werden dagegen durch alle sortenreinen Ziegelproben deutlich unterschritten. Für den klassifizierten Straßenbau interessiert wiederum der technisch maximal zulässige Anteil der Stoffgruppe Ziegel von 30 M.-% nach TL Gestein-StB (2004) in RC-Baustoffen: Nach den in Tabelle 6.17 gelisteten Berechnungsergebnissen wäre bezogen auf die Sulfat- und Chrom, ges.-Austräge aus Ziegeln eine Verwertung in den günstigen RC-Klassen selbst bei Beimischung von sehr ungünstigen sortenreinen Ziegelmischungen in hohen Anteilen (30 M.-%) in RC-Baustoffen auch zukünftig noch möglich. Nur bei wenigen Ausnahmen könnten Sulfat und Chrom, ges. zusätzlich verwertungslimitierend sein. Praktisch alleine verwertungslimitierend wirkt hier wiederum Vanadium: Der oben genannte ME von Vanadium mit 65 $\mu\text{g}/\text{L}$ wäre durch die berechneten RC-Ziegel-Gemische mit Anteilen von 30 M.-% je nach Berechnungsmodell nur im 20. Perzentil einhaltbar (vgl. Tabelle 6.17).

Der ME von Vanadium in den Bauweisen unter Pflasterdecken über Sand (Ifd. Nr.: 18, 22, 24, 28) mit aufgrund der geringeren medienschutzbasierten Anforderungen höheren ME von 130 µg/L (vgl. Tabellen mit ME in Kapitel 5.2 Teil II dieser Bericht), wäre dagegen je nach Randbedingungen des empirischen Modells mit hohen Werten vom 50. bis 70. Perzentil für RC-Baustoffe mit maximalen Ziegelanteilen einhaltbar.

Kommt man einerseits zu der Einschätzung, dass Bauweisen unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten bezüglich ihrer technischen Bedeutung und Marktrelevanz nicht als verwertungslimitierende Bauweise für die Ableitung von Materialwerten geeignet sind, andererseits - im Sinne zukünftiger Innovationen - dieser Verwertungsweg auch zukünftig ermöglicht werden soll, können die Materialwerte auch an die nächst höheren ME der Pflasterbauweisen (Ifd. Nr.: 18, 22, 24, 28) angepasst werden und die Bauweise unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten über eine Fußnotenregelung zugelassen werden. Mit Schreiben vom 30.10.2010 des BRB an das BMU wurde das BMU gebeten diese Vorgehensweise im Rahmen des medienschutzbasierten Einbaukonzepts zu prüfen. Im Ergebnis wurde für AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) der Materialwert von Vanadium an den ME der Pflasterbauweisen (Ifd. Nr.: 18, 22, 24, 28) von 130 µg/L orientiert. Mit Fußnotenregelung 3) wird die Zulässigkeit in den Plattenbelagsbauweisen und unter ungebundenen Deckschichten geregelt, indem hier der bisherige Materialwert von Vanadium mit 65 µg/L festgelegt wird. Alle anderen Materialwerte bleiben wie bisher an den ME der Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder Plattenbelägen angepasst, da diese nach den Statistiken sehr gut einhaltbar sind: Der Maximalwert von Kupfer des Gesamtdatensatzes von RC-Baustoffen mit unbestimmten Ziegelanteilen und sortenreinen Ziegeln beträgt 149 µg/L und unterschreitet den ME von Kupfer von 221 µg/L. Der Maximalwert von Chrom, ges. mit 110 µg/L und die 90. Perzentilwerte von Chrom, ges. der empirisch berechneten Eluatqualitäten von RC-Ziegel-Gemische mit 30 M.-% Ziegel von je nach Modell 77 – 142 µg/L (vgl. Tabelle 6.17) liegen deutlich unterhalb des ME von 255 µg/L. Für AE 2 EBV wurden deshalb ein Materialwert von Kupfer mit 110 µg/L und von Chrom, ges. mit 135 µg/L - orientiert an den ME - der Bauweisen unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten vorgeschlagen. Für die Σ15 EPA PAK wären theoretisch Materialwerte entsprechend dem limitierenden ME von 30 µg/L in Plattenbelagsbauweisen möglich. Es wird vorgeschlagen den Materialwert mit dem 80. Perzentilwert des Gesamtdatensatzes (RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen und sortenreine Ziegel) von 6 µg/L zu begrenzen.

Die statistische Verteilung der Eluatkonzentrationen der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen verdeutlicht, dass hohe Perzentilanteile noch wesentlich niedrigere Eluatkonzentrationen einhalten. Deshalb ist es sinnvoll für diese hochqualitativen RC-Baustoffe per Fußnotenregelung die Verwertung in den ungünstigen Fällen zu regeln (die ME von Sulfat unterscheiden sich nicht zwischen ungünstigem und günstigem Fall und bleiben unverändert):

Um die Zulässigkeit der Verwertung von RC-1 auch im ungünstigen Fall für die Bauweisen (11b) FSS unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht zu regeln, müssen mit Fußnotenregelung 1) die dort limitierenden ME von Chrom, ges. =114 µg/L bzw. ME der Σ15 EPA PAK = 2,3 µg/L als Materialwerte festgelegt werden. Die rückgerechneten Perzentilwerte für diese Materialwerte bezogen auf die Einzelkonzentrationen und den Gesamtdatensatz der RC-Baustoffe liegen für Chrom, ges. beim 100. Perzentil und für die Σ15 EPA PAK beim 80. Perzentil.

Um die Zulässigkeit der Verwertung von RC-1 auch im ungünstigen Fall für die restlichen umweltoffenen Bauweisen ohne bauwerksspezifische Verdünnung zu regeln, müssen mit Fußnotenregelung 2) die dort limitierenden GFS- oder Bezugswerte (multipliziert mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5) als Materialwerte festgelegt werden (Chrom, ges. = 15 µg/L, Kupfer = 30 µg/L, Vanadium = 30 µg/L und Σ15 EPA PAK = 0,3 µg/L). Die rückgerechneten Perzentilwerte für diese Materialwerte bezogen auf die Einzelkonzentrationen und den Ge-

samt datensatz der RC-Baustoffe liegen für Chrom, ges. beim 40. Perzentil, für Kupfer beim 70. Perzentil, für Vanadium beim 63. Perzentil und für die $\Sigma 15$ EPA PAK beim 20. Perzentil.

Mit weiteren Fußnotenregelungen können spezielle Bahnbauweisen geregelt werden (vgl. Anhang 2.3 in der EBV).

Materialwerte der Qualitätsklasse 2 (RC-2)

Die Materialwerte für RC 2 können an die ME für die Schwermetalle Chrom, ges. (ME: 557 $\mu\text{g/L}$), Kupfer (ME: 348 $\mu\text{g/L}$) und Vanadium (ME: 990 $\mu\text{g/L}$) und für die $\Sigma 15$ EPA PAK (ME: 47 $\mu\text{g/L}$) der Bauweisen unter Pflaster für den günstigen Fall Lehm/Schluff/Ton (Ifd. Nr.: 18, 20, 22 und 24) orientiert werden. Der ME von Kupfer und der $\Sigma 15$ EPA PAK wird von keinem der Eluate (sortenreine Ziegel, RC-Baustoffe mit unbestimmten und definierten Ziegelanteilen) erreicht. Die Maximalwerte der gesamten Datengrundlage liegen für Kupfer bei 149 $\mu\text{g/L}$ und das 99. Perzentil für die $\Sigma 15$ EPA PAK bei 12 $\mu\text{g/L}$ (nur ein Ausreißer mit 36 $\mu\text{g/L}$). Die Materialwerte für Kupfer und PAK werden mit 185 $\mu\text{g/L}$ (Aufschlag auf den Maximalwert zur Berücksichtigung von Qualitätsschwankungen und zur Unterscheidung von RC 1) und 12 $\mu\text{g/L}$ an den statistischen Werten orientiert. Der Materialwert von Sulfat wird an den ME von 300 mg/L der Bauweise 22 unter Pflaster bis 1 Meter Mächtigkeit orientiert (Leitungsgräben unter Pflaster).

Bezogen auf die Einzelkonzentrationen des Gesamtdatensatzes der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen können die Materialwerte der Schwermetalle und der PAK durch 100 % der RC-Baustoffproben der verfügbaren Datengrundlage eingehalten werden. Der Sulfatwert wird im 70. Perzentil eingehalten. Hieraus würde sich folglich eine Limitierung ergeben. Allerdings kann mit der Übergangsregelung des BMU, nach der bis zum Jahr 2020 ein Sulfatwert von 700 mg/L für RC-2 zulässig ist, bezogen auf die Einzelkonzentration ein Perzentilwert von 83 % erreicht werden.

RC-Baustoffe mit 30 M.-% Ziegelanteil halten nach den empirischen Modellen (vgl. 6.17) alle genannten Materialwerte den Übergangswert von Sulfat abgesehen von Ausreißern zu 100 % ein.

Um die Zulässigkeit der Verwertung von RC-2 auch im moderat günstigen Fall "Sand" für die Bauweisen (11b) FSS unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht zu regeln, wird die Fußnotenregelung 1) zur Festlegung des limitierenden ME von Vanadium mit 593 $\mu\text{g/L}$ als Materialwert vorgeschlagen. Alle anderen Materialwerte von RC-2 unterschreiten die ME der genannten Bauweisen und müssen deshalb nicht zusätzlich in einer Fußnote geregelt werden. Bis auf einen Ausreißer bei einem RC-Ziegel-Gemisch mit 30 M.-% Hz halten auch alle Einzelkonzentrationen des Gesamtdatensatzes diesen Vanadiumwert ein.

Um die Zulässigkeit der Verwertung von RC-2 in den Pflasterbauweisen auch für den moderat günstigen Fall "Sand" zu regeln, werden in der Fußnotenregelung 2 die dort limitierenden ME von Chrom, ges. mit 255 $\mu\text{g/L}$ und Vanadium mit 130 $\mu\text{g/L}$ als Materialwerte festgesetzt. Der Chrom, ges.-Wert und der Vanadium-Wert kann durch alle RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen eingehalten werden. RC-Ziegel-Gemische mit technisch maximal zulässigen Ziegelanteilen können nach den empirischen Modellen den Materialwert von Chrom, ges. je nach Modell i.d.R. im 70. Perzentil einhalten und den Materialwert von Vanadium im Median.

Mit den Fußnoten 3) und 4) werden spezielle Bauweisen mit Kapillarsperren im moderat günstigen Fall "Sand" geregelt. Der in Fußnote 3) festgelegte Materialwert von Vanadium mit 355 $\mu\text{g/L}$ (orientiert an den ME der Bauweisen Hinterfüllungen von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigen Böden bei Ausbildung einer Kapillarsperre, Ifd. Nr. 25 25-26K) wird durch alle RC-Baustoffe eingehalten. Dies gilt auch für die in Fußnote 4) festgelegten Materialwerte von Vanadium mit 220 $\mu\text{g/L}$ und von Chrom, ges. mit 435 $\mu\text{g/L}$.

Die RC-Ziegel-Gemische mit 30 M.-% Ziegel halten nach den empirischen Modellen den Chrom, ges.-Wert i.d.R. zu 100 % und den Vanadiumwert im 70. Perzentil ein.

Mit Fußnote 5) wird die Zulässigkeit von RC-2 in den Bauweisen unter ungebundener Deckschicht oder unter Plattenbelägen für den günstigen Fall Schluff/Lehm/Ton durch Festlegung ME von Chrom, ges. mit 300 µg/L, Vanadium mit 530 µg/L und $\Sigma 15$ EPA PAK mit 7 µg/L als Materialwerte. Diese Materialwerte sind durch 100% der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen und nach den empirischen Modellen durch 90 % der RC-Ziegel-Gemische mit 30 M.-% Ziegel einhaltbar.

Mit weiteren Fußnotenregelungen können spezielle Bahnbauweisen geregelt werden (vgl. Anhang 2.3 in der EBV)..

Recyclingbaustoff der Qualitätsklasse 3 (RC-3)

Die Materialwerte für RC-3 können an die ME der Bauweisen: (11) ToB unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht für den günstigen Fall (Lehm, Schluff, Ton) orientiert. Der Sulfatwert von 3500 mg/L wurde statistisch ermittelt und liegt etwas oberhalb des Maximalwertes der Gesamtdatenbasis, um auch zukünftige Schwankungen auffangen zu können. Er unterschreitet die in den genannten Bauweisen nach den Modellen zulässigen Sulfatkonzentrationen. Für Chrom, ges. und Vanadium wären Materialwerte entsprechend der ME der genannten Bauweisen mit 2725 µg/L bzw. 4845 µg/L zulässig. Beide Werte werden nur durch sortenreine Hochlochziegel erreicht. Da in den marktrelevanten technischen Bauweisen nur RC-Gemische mit technisch max. zulässigen Anteilen 30 M.-% von sortenreinen Ziegeln eingesetzt werden müssen jedoch die nach den empirischen Modellen (vgl. Tabelle 6.17) berechneten Werte betrachtet werden: Im ungünstigsten Fall werden Maximalwerte von Chrom, ges. bis 770 µg/L und von Vanadium bis 1384 µg/L im Eluat von RC-Ziegel-Gemischen abgeschätzt. Es wird deshalb vorgeschlagen Obergrenzen von 1000 µg/L bzw. 1500 µg/L festzulegen. Für Kupfer wird ein gegenüber RC-2 erhöhter Materialwert mit 300 µg/L vorgeschlagen, um zukünftige Qualitätsschwankungen auffangen zu können (der theoretische zulässige ME von Kupfer liegt bei 1700 µg/L). Die statistische Verteilung der Eluatkonzentrationen der RC-Baustoffe mit unbestimmten Ziegelanteilen sowie der sortenreinen Ziegel und RC-Ziegel-Gemische verdeutlichen, dass hohe Perzentilanteile der Gesamtdatenbasis aber auch der RC-Baustoffe mit den höchsten technisch zulässigen Ziegelanteilen bis 30 M.-% auch deutlich niedrigere Materialwerte einhalten können. Es wird deshalb empfohlen die Zulässigkeit solcher höherqualitativer RC-3 Baustoffe in den Bauweisen ToB, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht auch für den moderat günstigen Fall (Sand) mit Fußnote 1) zu regeln, indem der dort limitierende ME von 593 µg/L für Vanadium festgesetzt wird. Alle RC-Baustoffproben mit unbestimmten Ziegelanteilen und 90 % der empirisch abgeschätzten RC-Ziegelgemische halten diesen Materialwert ein. Mit Fußnote 2) kann die Zulässigkeit der Verwertung von RC-3 in den Bauweisen Hinterfüllung von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich bei Ausbildung einer Kapillarsperre im günstigen Fall (Lehm, Schluff, Ton) geregelt werden, indem der dort limitierende Sulfatwert mit 1165 mg/L festgelegt wird. Dieser Sulfatwert ist durch 90% der RC-Baustoffen mit unbestimmten Ziegelanteilen und durch alle empirisch abgeleiteten Qualitäten von RC-Baustoffen mit den maximalen technisch zulässigen Ziegelanteilen bis 30 M.-% einhaltbar.

Für die $\Sigma 15$ EPA PAK wäre ein ME in den Bauweisen 11-13 auf Sand von 42,7 µg/L zulässig. Es wurde ein Materialwert von 20 µg/L vorgeschlagen, der bis auf einen Ausreißer durch alle Eluate der Gesamtdatenbasis eingehalten wird.

Im Resultat ergeben sich für RC-Baustoffe die in Tabelle 6.20 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 und 2.3 des AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbaulisten.

Tab. 6.20: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Recyclingbaustoffe in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt.

Parameter	Dimension	RC 1	RC 2	RC 3
pH		7-12,5 6-13	7-12,5 6-13	7-12,5 6-13
Leitfähigkeit	[µS/cm]	2.000 2.500	2.500 3.200	10.000
Sulfat ¹	[mg/L]	200 220	350 300	4.400 3.500
Chrom, ges.	[µg/L]	50 135	60 555	400 1.000
Kupfer	[µg/L]	40-110	70 185	400 300
Vanadium	[µg/L]	30 130	50 990	400 1.500
Σ15 EPA PAK	[µg/L]	3 6	4,5 12	45 20

6.4 Mineralische Ersatzbaustoffe aus Verbrennungsprozessen

6.4.1 Hausmüllverbrennungsasche (HMVA)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Hausmüllverbrennungsasche:

aufbereitete und gealterte Asche aus Anlagen zur Verbrennung von Siedlungsabfällen und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen

6.4.1.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch die Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken e.V. (IGAM) sowie eine Arbeitsgruppe der Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (ITAD) und des VGB PowerTech e.V. umfassende Untersuchungen zu den Qualitäten von Hausmüllverbrennungsaschen durchgeführt (Tab. 6.21).

Auf der Grundlage dieser Datensätze wurde ein Branchenpapier für die Branchengespräche des BMU mit den betroffenen Kreisen erarbeitet (vgl. Kapitel 1.1.2.4, Teil II dieser Bericht). Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form haben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.21: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von HMVA für den zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner (Organisation)	Anzahl der Einzelproben	Herkunft	Untersuchungsprogramm	Quellen (mit z. T. detaillierten Informationen zur Probenzusammensetzung)
Ökoinstitut, 2007, Dr. Susset (UBA-F&E), Dr. Mesters (KP Mesters GmbH)	16	HMVA-Aufbereitung : 10 × NRW; 1 × RP; 1 × HH; 1 × Bayern; 3 × Saarland	ausf. SV nach BAM (2006) $C_{w, \text{kum}}$ bei WF 2 berechnet; WF 2- und WF 10 - Schütteltest in Anlehnung an TL Gestein-STB WF 2 -	Dehoust et al., 2007; ausgewertet für ErsatzbaustoffV in Susset & Leuchs, 2008a
VGB, ITAD, BDEW, 20.05.2008, Puch (VGB PowerTech)	6	HMVA-Aufbereitung	Säulenkurzeltest nach DIN E 19528 WF 2 – Schütteltest nach DIN E 19529 WF 2 -	Vortragsunterlagen von Herrn Puch zum BMU-WS am 20./21.05.2008 in Dessau
IGAM, 12.06.2008, Fischer (IGAM); Dr. Mesters (KP Mesters GmbH)	24	HMVA-Aufbereitung	Säulenkurzeltest nach DIN 19528 WF 2 – Schütteltest nach DIN 19529 WF 10 – Schütteltest nach TL Gestein-STB	Vortrag von Dr. Mesters zur BMU-Besprechung vom 12.06.2008

6.4.1.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.22 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeltest bis WF 2 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Die Ergebnisvergleiche bestätigen, dass Blei, Cadmium, Nickel und Zink im Eluat von HMVA nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind

Tab. 6.22: Nicht relevante Parameter, Hausmüllverbrennungsasche, Gesamtdatensatz: Statistische Kenngrößen der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze, kA = keine Analyse.

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
alle HMVA-Daten aus Tabelle 6.21	n	46	46	46	46	46
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	36	85	0,5	8	43
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perz.	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perz.	5	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perz.	9	5	<BG	<BG	<BG

Nachfolgende Tabelle 6.23 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528, auf Basis der oben genannten Datengrundlagen, für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Die Ergebnisse bestätigen die Bewertungsrelevanz von Chlorid, Sulfat, Chrom, ges., Kupfer, Antimon, Molybdän und Vanadium nach Susset & Leuchs (2008a). Arsen ist bei den neueren Untersuchungsergebnissen dagegen i. d. R. unauffällig. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.23: Relevante Parameter, Hausmüllverbrennungsasche, Gesamtdatensatz: Statistische Kenngrößen der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze, kA = keine Analyse.

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Antimon [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]
alle HMVA-Daten aus Tabelle 6.21	n	46	46	46	46	46	46	46
	Min	7,8	1082	135	100	7	<BG	11
	Max	11,9	9435	2687	1727	126	459	7032
	Mittel	9,6	4233	938	746	43	94	469
	Median	9,5	3840	862	640	37	53	191
	70. Perz.	10,5	5025	1092	951	57	102	347
	80. Perz.	10,9	6500	1380	1207	68	128	526
	90. Perz.	11,2	7612	1638	1415	82	238	809

Fortsetzung Tab. 6.23

Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	Molybdän []	Vanadium [µS/cm]
alle HMVA- Daten aus Tabelle 6.21	n	46	46
	Min	10	<BG
	Max	1034	149
	Mittel	196	26
	Median	132	19
	70. Perz.	198	26
	80. Perz.	299	31
	90. Perz.	351	43

6.4.1.3 Ableitung von Materialwerten

Hausmüllverbrennungsasche der Qualitätsklasse 1 (HMVA-1)

Susset & Leuchs (2008a) hatten für AE 1 EBV die Materialwerte von HMVA-1 an die ME der Einbauweisen über Sand orientiert, um verbesserte Einbaumöglichkeiten von HMVA im umweltoffenen Einsatzbereich aufzuzeigen. Die neueren Datengrundlagen zeigen, dass diese Materialwerte in der Praxis der Güteüberwachung kaum erreichbar sind. Im Laufe des Anhörungsverfahrens zum ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV hat sich herausgestellt, dass der Haupteinsatzbereich von HMVA in den teildurchströmten Einbauweisen unter gebundener Deckschicht liegt: ToB unter gebundener Deckschicht, Bodenverbesserung unter gebundener Schicht, Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht (Ifd. Nr. 11-13). Die HMVA-Klasse mit hohen und in der Praxis nicht erreichbaren Anforderungen wurde deshalb gestrichen.

Bezogen auf die Einzelkonzentrationen halten mindestens die 72. Perzentile der HMVA-Eluatkonzentrationen (bezogen auf alle Datensätze) die ME der zuletzt genannten Bauweisen bereits für den moderat günstigen Fall „Sand“ ein. Es wird folglich vorgeschlagen eine HMVA-1 Materialklasse zu definieren, deren Materialwerte sich grundsätzlich an den ME des günstigen Falls Sand für die Bauweisen 11-13 orientieren (vgl. Tabellen mit ME in Kapitel 5.2 in Teil II dieser Bericht): Übersteigen die zulässigen ME-Werte in den oben genannten Bauweisen die maximal vorkommenden Konzentrationen im Eluat der hier untersuchten HMVA-Proben werden entweder die Maximalwerte oder die 90. Perzentile der Datenbasis oder die ME-Werte der nächstmöglichen Einbauweise mit höheren Anforderungen (also niedrigeren ME) als Materialwerte für HMVA-1 festgelegt. Dies gilt für Chlorid mit dem Maximalwert von 3000 mg/L gegenüber theoretischen ME > 100000 mg/L, Sulfat mit dem Maximalwert von 2000 mg/L gegenüber theoretischen ME > Sättigungskonzentration und Chrom, ges. mit dem Maximalwert von 460 µg/L gegenüber einem ME von 1254 µg/L. Für Kupfer wäre hier ein ME von 1083 µg/L zulässig und es wurde der 90. Perzentilwert von 850 µg/L als Materialwert festgelegt. Die Vanadiumkonzentrationen in den Eluaten von HMVA liegen deutlich unterhalb der zulässigen ME von 593 mg/L und werden am Maximalwert der Statistik von 150 µg/L für Vanadium orientiert (vgl. Tabelle 6.23).

Für Antimon wird der ME von 57 µg/L als Materialwert festgelegt, der bezogen auf den Gesamtdatensatz im 70. Perzentil eingehalten werden kann. Für Molybdän wird der ME von 399 µg/L festgelegt, der nur durch einzelne Ausreißer überschritten wird. Arsen spielt in allen Einbaukonstellationen von HMVA nach verfügbarer Datenlage keine Rolle ist per Definition

nicht regelungsrelevant und kann deshalb aus der regelmäßigen Güteüberwachung gestrichen werden.

Um die Zulässigkeit der Verwertung von HMVA-1 auch im ungünstigen Fall für die Bauweisen ToB unter gebundener Deckschicht, Bodenverbesserung unter gebundener Schicht, Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht zu regeln wird die Fußnotenregelung 1) zur Festlegung der dort limitierenden Stoffe Kupfer mit ME = 228 µg/L und Chrom, ges. mit ME = 114 µg/L als Materialwerte vorgeschlagen. Die rückgerechnete Perzentilwerte von Kupfer für den hier relevanten ME von 228 µg/L und von Chrom, ges. für ME von 114 µg/L liegt beim 52. bzw. 76. Perzentil des Gesamtdatensatzes.

Für die Einsatzgebiete Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigen Böden bei Ausbildung einer Kapillarsperre im günstigen Fall Sand (Nr. 25, 26K), limitiert neben Chlorid mit ME = 1165 mg/L und Sulfat mit ME = 1355 mg/L, Kupfer mit ME = 643 µg/L, Antimon mit ME = 32 µg/L und Molybdän mit ME = 221 µg/L. Die ME von Chlorid und Sulfat sind bezogen auf den Gesamtdatensatz im 76. bzw. 84. Perzentil einhaltbar, der ME von Kupfer und Molybdän ist bezogen auf den Gesamtdatensatz im 86. bzw. im 72. Perzentil einhaltbar. Die stärkste Limitierung geht hier von Antimon aus, dessen ME bezogen auf den Gesamtdatensatz im 41. Perzentil einhaltbar ist Mit der entsprechenden Fußnotenregelung 2) wird die Zulässigkeit dieser Bauweise geregelt.

Mit Fußnotenregelung 3) wird die Zulässigkeit von HMVA-1 in den genannten Bauweisen auch im ungünstigen Fall und bei Ausbildung einer Kapillarsperre geregelt. Hier limitiert zusätzlich Chrom, ges. mit ME = 63 µg/L, Kupfer mit ME = 126 µg/L und Vanadium mit ME = 126 µg/L. Die ME sind im 54. (Cr, ges.) und 34. Perzentil (Cu) einhaltbar. Der ME von Vanadium wird durch alle Proben der verfügbaren Datengrundlagen eingehalten. Entsprechende Materialwerte werden in Fußnote 3) festgelegt.

Hausmüllverbrennungsgasche der Qualitätsklasse 2 (HMVA-2)

Die Materialwerte für HMVA-2 aus Susset & Leuchs (2008a) wurden an die statistischen Kenngrößen der neuen Datengrundlagen angepasst. Da hier nur ein geschlossener Einbau in Frage kommt können Materialwerte auch angehoben werden (z. B. Vanadium und Chrom, ges.). Bei Leitfähigkeit und Antimon sind die Qualitäten statistisch gut belegbar besser und die Materialwerte wurden etwas oberhalb der Maximalwerte der Statistik mit 10.000 µS/cm und 150 µg/L festgelegt und liegen damit deutlich unterhalb der Werte nach Susset & Leuchs (2008a). Die Materialwerte von Chrom, ges., Kupfer, Molybdän und Vanadium wurden oberhalb der Maximalwerte der Statistik orientiert. Der Ausreißerwert von Kupfer von 7035 µg/L wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Mit Fußnote 1) kann die Zulässigkeit von HMVA-2 in der Bauweise STS unter gebundener Deckschicht (Ifd. Nr. 11a) für den ungünstigen Fall geregelt werden, indem die dort limitierenden ME von Chrom, ges. mit 540 µg/L und von Kupfer mit 1080 µg/L als Materialwerte festgelegt werden.

Arsen ist für HMVA-1 und HMVA-2 nach den neuen deutlich verbesserten Datengrundlagen und innerhalb der zugelassenen Einbaukonstellationen nicht regelungsrelevant, liegt i.d.R. unterhalb der GFS und wurde deshalb aus der regelmäßigen Güteüberwachung in AE 2 EBV gestrichen.

Im Resultat ergeben sich für HMVA die in Tabelle 6.24 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbaulisten.

Tab. 6.24: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Hausmüllverbrennungsgaschen in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt

Parameter	Dim	HMVA 1	HMVA 2
pH	[]	7-13	7-13
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
Antimon	[µg/L]	5 55	200 150
Arsen	[µg/L]	40	60
Chrom, ges.	[µg/L]	90 460	250 600
Kupfer	[µg/L]	75 850	2.000
Molybdän	[µg/L]	35 400	1.000
Vanadium	[µg/L]	25 150	120 200

6.4.2 Schmelzkammergranulat (SKG)

Gemäß Begriffsbestimmung nach AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist

Schmelzkammergranulat ein aus der Schmelzfeuerung von Steinkohle durch schockartige Abkühlung entstehendes glasiges Granulat, das bei der Verbrennung von Steinkohle in Schmelzfeuerungen (Kohlenstaubfeuerung mit flüssigem Ascheabzug) anfällt.

6.4.2.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und den VGB PowerTech e.V. Untersuchungen zu den Qualitäten von Schmelzkammergranulaten durchgeführt (vgl. Tab. 6.25). Auf der Grundlage dieser Datengrundlagen wurde ein Branchenpapier erarbeitet, welches Grundlage mehrerer Branchengespräche des BMU mit den betroffenen Branchen war (vgl. Kapitel 1.1.2.4, Teil II dieser Bericht). Der Veröffentlichung Industrie-eigener Daten in nachfolgender Form haben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.25: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Schmelzkammergranulaten für AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011)

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner (Firma)	Anzahl der Einzelproben	Herkunft	Untersuchungsprogramm	Veröffentlichungen (mit z. T. detaillierten Informationen zur Probenzusammensetzung)
Ökoinstitut, 2007, Dehoust (UBA-F&E)	> 100	Güteüberwachung	DEV S 4 Schütteltests bei WF 10 ausf. SV nach DIN 19528; WF 2 –Säulenkurz-eluat nach DIN 19528 (Durchführung: ZAG Tübingen)	Dehoust et al. (2007)
BDEW-, VGB-, ZAG-Projekt, 20.05.2008, Lüder (BDEW), Puch (VGB PowerTech)	5	Kraftwerke		Vortragsunterlagen von Herrn Lüder und Herrn Puch zum BMU-WS am 20./21.05.2008 in Dessau

6.4.2.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.26 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeluat bis WF 2 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht bewertungs- und regelungsrelevant sind. Die Ergebnisse der neuen Untersuchungen bestätigen die Ergebnisse von Susset & Leuchs (2008a), nach welchen keine bewertungsrelevant erhöhten Schadstoffkonzentrationen im WF 2-Säulenkurzeluat von Schmelzkammergranulaten gefunden wurden. Schmelzkammergranulat wird nach Susset & Leuchs (2008a) schon seit vielen Jahren als Abstumpfungsmittel ohne Anwendungsbeschränkungen im Winterdienst eingesetzt.

Tab. 6.26: Nicht relevante Parameter, Schmelzkammergranulat: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]
SKG-Daten aus Tabelle 6.25	n	5	5	5	5	5	5	5
	Min	7,3	17	<BG	1	<BG	<BG	<BG
	Max	9,2	47	3	7	4	7	<BG
	Mittel	8,4	33	1	3	<BG	<BG	<BG
	Median	8,3	38	1	2	<BG	<BG	<BG
	70. Pez.	8,9	40	1	3	<BG	<BG	<BG
	80. Perz.	9,1	41	1	4	<BG	<BG	<BG
	90. Perz.	9,1	44	2	5	<BG	4	<BG

Fortsetzung Tab. 6.26

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	Cadmium [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
SKG-Daten aus Tabelle 6.25	n	5	5	5	5	5	5	5
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	3	<BG
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Pez.	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perz.	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perz.	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG

6.4.2.3 Ableitung von Materialwerten

Nach Susset & Leuchs (2008a) wurden für eine Güteüberwachung von Schmelzkammergranulaten in Anlehnung an die LAGA Eckpunktwerte Grenzwerte für die elektrische Leitfähigkeit und den pH-Wert vorgeschlagen. Diese wurden an die statistischen Kenngrößen der neuen Datengrundlage angepasst. Nach LAGA Eckpunkten (2004) war der pH-Wert nur Indikatorparameter ohne Grenzwertcharakter, in AE 1 EBV haben der Wert der elektrischen Leitfähigkeit und der pH-Wert dagegen Grenzwertcharakter. Ob diese als Indikatorparameter oder als Grenzwerte festgelegt werden, muss durch den Bundesverordnungsgeber entschieden werden.

den werden. Als Entscheidungsgrundlage könnte die Vorgehensweise nach LAGA Eckpunkt-papier (2004) dienen. Demnach müssen grundsätzlich bei Nichteinhaltung von Indikatorpa-rametern die Ursachen untersucht werden. Eine Nichteinhaltung der Indikatorparameter führt aber nicht unmittelbar zum Ausschluss der SKG, sondern es kann im Rahmen der Güte-überwachung (z. B. erweiterte Fremdüberwachung zur Bestimmung eines breiten Schad-stoffspektrums) nachgewiesen werden, dass die restlichen Parameter unauffällig sind.

Im Resultat ergeben sich für SKG die in Tabelle 6.27 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbaulisten.

Tab. 6.27: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Schmelzkammergranulat in AE 2 EBV (MantelV, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt

Parameter	Dimension	SKA
pH ¹		6 – 9 10
Leitfähigkeit ²	[µS/cm]	200 10-60

1: bei SKG Grenzwert stoffspezifischer Orientierungswert, bei Abweichungen vom stofftypischen Orientierungs-wert ist die Ursache zu prüfen.

2: bei SKG Grenzwert stoffspezifischer Orientierungswert, bei Abweichungen ist die Ursache zu prüfen.

6.4.3 Steinkohlenkesselasche (SKA)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Steinkohlenkessel-asche

bei der Trockenfeuerung von Steinkohle am Kesselboden über einen Wasserbehälter nass abgezogene Asche

6.4.3.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und den VGB PowerTech e.V. Untersuchungen zu den Qualitäten von Steinkohle-kesselaschen durchgeführt (Tab. 6.28). Basierend auf dieser Datengrundlage wurde ein Branchenpapier für die Branchengespräche des BMU mit den betroffenen Kreisen erarbeitet (vgl. Kapitel 1.1.2.4, Teil II dieser Bericht). Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form haben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.28: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Steinkohlekessel-aschen für den zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, An-sprechpartner (Firma)	Anzahl der Einzel-proben	Herkunft	Untersuchungs-programm	Veröffentlichungen (mit z. T. detaillier-ten Informationen zur Probenzusam-men-setzung)
BDEW-, VGB-, ZAG-Projekt, 20.05.2008, Lüder (BDEW), Puch (VGB PowerTech)	9	verschiedene Kraftwerke	ausf. SV nach DIN 19528; WF 2 - Säulenkurz-eluat nach DIN 19528 (Durchführung: ZAG Tübingen)	Vortragsunterlagen von Herrn Lüder und Herrn Puch zum BMU-WS am 20./21.05.2008 in Dessau

6.4.3.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.29 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeluat bis *WF 2* für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Die Ergebnisse der neuen Untersuchungen bestätigen wie bei Susset & Leuchs, dass die Stoffe Chlorid, Antimon, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink im *WF 2* - Säulenkurzeluat von Steinkohlekesselaschen nicht regelungsrelevant sind. Zwar zeigen Antimon, Arsen und Chrom, ges. bewertungsrelevante Konzentrationen im 90. Perzentil oberhalb des GFS bzw. Bezugsmaßstabs. Innerhalb der zulässigen Einbaukonstellationen von SKA in geschlossenen und teildurchströmtem Einbauweisen sind die genannten Stoffe aber nicht regelungsrelevant, weil die ME deutlich oberhalb der hier gefundenen Maximalwerte liegen (vgl. Kapitel 6.4.3.3).

Tab. 6.29: Nicht relevante Parameter, Steinkohlenkesselaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im *WF 2* - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Daten- grund- lagen	Stat. Kenn- größen	Chlorid [mg/L]	Arsen [µg/L]	Anti- mon [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmi- um [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Kup- fer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
SKA- Daten aus Tabelle 6.28	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Min	4	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	123	29	99	<BG	0,6	58	41	10	50
	Mittel	39	8	15	<BG	<BG	24	7	<BG	<BG
	Median	27	5	3	<BG	<BG	22	5	<BG	<BG
	70. Perz.	33	9	4	<BG	<BG	25	6	<BG	<BG
	80. Perz.	54	12	11	<BG	<BG	30	6	<BG	<BG
	90. Perz.	88	17	12	<BG	<BG	41	13	<BG	14,0

Nachfolgende Tabelle 6.32 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeluat bis *WF 2* für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) als regelungsrelevant beurteilt wurden. Die Ergebnisvergleiche bestätigen die Regelungsrelevanz von Sulfat, Molybdän und Vanadium im *WF 2* Säulenkurzeluat nach Susset & Leuchs (2008a). Arsen ist für die zulässigen Einbaukonstellationen und nach den neuen Datengrundlagen dagegen nicht regelungsrelevant. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.30: Relevante Parameter, Steinkohlenkesselaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Daten- grund- lagen	Stat. Kenn- größen	pH []	Lf [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Molybdän [µg/L]	Vanadium [µg/L]
SKA- Daten aus Tabelle 6.24	n	9	9	9	9	9
	Min	7,8	206	13	19	17
	Max	11,8	2090	469	297	149
	Mittel	10,5	896	155	97	83
	Median	10,9	737	115	79	76
	70. Perz.	11,0	1050	205	110	136
	80. Perz.	11,3	1283	224	126	144
	90. Perz.	11,7	1511	276	167	149

6.4.3.3 Ableitung von Materialwerten

Für Steinkohlenkesselaschen sind i.d.R. Molybdän und Vanadium verwertungslimitierend. Die neuen Messungen zeigen auch relativ starke Schwankungen der Mo- und V-Konzentrationen mit gegenüber den 90. Perzentilen und den Maximalwerten deutlich niedrigeren 50. Perzentilen. Hier bietet sich entweder eine Klassenunterteilung in zwei unterschiedliche Qualitäten oder eine Fußnotenregelung an. Die Materialwerte der ungünstigsten Qualität werden grundsätzlich so gewählt, dass abgesehen von Ausreißern 100 % der Proben der verfügbaren Datengrundlage verwertet werden können.

Die Materialwerte für SKA aus Susset & Leuchs (2008a) wurden an die statistischen Kenngrößen der neuen Datengrundlagen angepasst und an den ME der Bauweisen ToB unter gebundener Deckschicht, Bodenverbesserung unter gebundener Schicht, Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht (Ifd. Nr. 11-13) für den ungünstigen Fall orientiert.

Da die ME in den genannten Bauweisen die maximal vorkommenden Eluatkonzentrationen zum Teil deutlich übersteigen, wurden Materialwerte zwischen den Maximalwerten der Datenbasis für SKA und den ME vorgeschlagen. Damit resultieren Materialwerte von Molybdän = 350 µg/L (gegenüber ME von 400 µg/L) und von Sulfat = 600 mg/L (gegenüber ME > Sättigungskonzentration). Der Materialwert von Vanadium wurde an den ME von 228 µg/L der Bauweisen ToB, Bodenverbesserung und Unterbau unter geb. Deckschicht im ungünstigen Fall (Nr. 11-13) angepasst.

Weitere Verwertungsmöglichkeiten für Steinkohlenkesselasche ergeben sich in den Bauweisen Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigen Böden bei Ausbildung einer Kapillarsperre (25K-26K). Im günstigen Fall limitiert Molybdän mit einem ME = 221 µg/L, der mit der Ausnahme eines Ausreißers einhaltbar ist. Dieser muss als Materialwert mit Fußnote 1) festgelegt werden. Im ungünstigen Fall und Ausbildung einer Kapillarsperre limitiert zusätzlich Vanadium mit einem ME = 126 µg/L, der im 62. Perzentil einhaltbar ist. Diese Bauweise wird mit Fußnote 2) geregelt, indem der limitierende ME als Materialwert festgelegt wird. Antimon, Arsen und Chrom, ges. sind nach verfügbarer Datengrundlage mit 90. Perzentilen und Maximalwerten von 12 µg/L, 29 µg/L und 58 µg/L für die regelmäßige Güteüberwachung von SKA innerhalb der zugelassenen Einbaukonstellationen nicht regelungsrelevant, da die ME nach verfügbarer Datenlage immer deutlich unterschritten werden. Tabelle 6.33 zeigt die vorgeschlagenen Materialwerte für AE 2 EBV und Änderungen gegenüber AE 1 EBV.

Im Resultat ergeben sich für SKA die in Tabelle 6.31 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV in der MantelV

(BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.31: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Steinkohlenkesselaschen in AE 2 EBV (MantelV, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt

Parameter	Dimension	SKA
pH		4 7 – 12
Leitfähigkeit	[μ S/cm]	2000 2100
Sulfat	[mg/L]	500 600
Arsen	[μ g/L]	25
Molybdän	[μ g/L]	80 350
Vanadium	[μ g/L]	65 230

6.4.4 Steinkohlenflugasche (SFA)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Steinkohlenflugasche bestimmt als

aus der Trocken- und Schmelzfeuerung mit Steinkohle im Rauchgasstrom mitgeführten und mit Elektrofiltern abgeschiedenen Mineralstoffpartikel

6.4.4.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und den VGB PowerTech e.V. Untersuchungen zu den Qualitäten von Steinkohlenflugaschen durchgeführt (Tabelle 6.32). Basierend auf dieser Datengrundlage wurde ein Branchenpapier für die Branchengespräche des BMU mit den betroffenen Kreisen erarbeitet (vgl. Kapitel 1.1.2.4, Teil II dieser Bericht). Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form haben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.32: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Steinkohlenflugaschen für den zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner (Firma)	Anzahl der Einzelproben	Herkunft	Untersuchungsprogramm	Veröffentlichungen (mit z. T. detaillierten Informationen zur Probenzusammensetzung)
BDEW-, VGB-, ZAG-Projekt, 20.05.2008, Lüder (BDEW), Puch (VGB PowerTech)	10	Kraftwerke	ausf. SV nach DIN 19528; WF 2 – Säulenkurzeluat nach DIN 19528 (Durchführung: ZAG Tübingen)	Vortragsunterlagen von Herrn Lüder und Herrn Puch zum BMU-WS am 20./21.05.2008 in Dessau

6.4.4.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.33 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeluat bis WF 2 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) bewertungsrelevant sind. Die Ergebnisse der neuen Untersuchungen bestätigen die Ergebnisse von Susset & Leuchs (2008a), nach welchen die Stoffe Chlorid, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink im WF 2

- Säulenkurzeluat von Steinkohlenflugaschen nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind. Zwar zeigen Antimon, Arsen und Kupfer bewertungsrelevante Konzentrationen im 90. Perzentil oberhalb des GFS bzw. Bezugsmaßstabs. Innerhalb der zulässigen Einbaukonstellationen von SFA in geschlossenen und teildurchströmtem Einbauweisen sind die genannten Stoffe aber nicht regelungsrelevant (vgl. Kapitel 6.4.4.3).

Tab. 6.33: Nicht relevante Parameter, Steinkohlenflugaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
SFA-Daten aus Tabelle 6.34	n	12	11	13	13	13	13	10	13
	Min	1	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	Max	47	54	53	65	13	33	< BG	49
	Mittel	12	11	12	8	2	6	< BG	8
	Median	3	7	5	3	< BG	< BG	< BG	< BG
	70. Perz.	12	9	18	7	< BG	< BG	< BG	< BG
	80. Perz.	20	12	21	8	< BG	< BG	< BG	< BG
	90. Perz.	39	15	24	10	10	27	< BG	37

Nachfolgende Tabelle 6.34 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeluat bis WF 2 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Die Ergebnisvergleiche bestätigen die Regelungsrelevanz von Sulfat, Chrom, ges., Molybdän und Vanadium im WF 2-Säulenkurzeluat nach Susset & Leuchs (2008a). Cadmium war bei keiner der neu untersuchten Proben nachweisbar. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.34: Relevante Parameter, Steinkohlenflugaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Vanadium [µg/L]
SFA-Daten aus Tabelle 6.34	n	13	10	13	11	11	10
	Min	9,7	1865	276	129	1000	<BG
	Max	12,4	8960	4299	900	10300	300
	Mittel	11,6	5201	1212	495	3152	75
	Median	12,0	4895	1056	537	2000	14
	70. Perz.	12,2	6535	1274	718	2160	46
	80. Perz.	12,3	7010	1445	771	4810	133
	90. Perz.	12,3	8789	1658	830	6550	298

6.4.4.3 Ableitung von Materialwerten

Für Steinkohleflugaschen sind die Stoffe Sulfat, Chrom, ges., Molybdän und Vanadium verwertungslimitierend. Da die Konzentrationen dieser Stoffe auch im 50. Perzentil auf einem ähnlich hohen Niveau liegen wie die Maximalwerte ist eine Unterteilung in unterschiedliche Qualitätsklassen von SFA nicht sinnvoll (es kann keine in der Praxis zu erwartende Materialqualität identifiziert werden, mit der verbesserte Verwertungsmöglichkeiten verbunden sind). Die Materialwerte für SFA aus Susset & Leuchs (2008a) wurden an die statistischen Kenngrößen der neuen Datengrundlage angepasst. Da hier i. d. R. nur ein geschlossener Einbau in Frage kommt können die Materialwerte aus Sicht des Medienschutzes auch angehoben werden (in geschlossenen Bauweisen fällt kein Sickerwasser an). Im Branchengespräch hat sich herausgestellt, dass insbesondere die Bauweisen Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht (Ifd. Nr. 12 und 13) marktrelevante Einbauweisen für SFA darstellen. Mit der Ausnahme von Molybdän halten die Maximalwerte im Eluat von SFA alle ME für die genannten Einbauweisen für den günstigen Fall (Sand oder Lehm/Schluff/Ton) ein. Der ME von Molybdän mit 399 µg/L ist jedoch nach derzeitiger Datenlage nicht einhaltbar. Eine Verbesserung der SFA-Qualitäten hinsichtlich der mobilen Molybdänanteile wird jedoch seitens der Verwerter und Anlagenbetreiber nicht ausgeschlossen. Um die Zulässigkeit der Verwertung von SFA für die genannten Bauweisen für den günstigen Fall zu regeln, wird die Festlegung des ME von Molybdän als Materialwert in Fußnote 1) vorgeschlagen. Die Materialwerte von Chrom, ges und Vanadium wurden geringfügig oberhalb der Maximalwerte des BDEW-/VGB-Datensatzes mit 1000 µg/L (Cr, ges.) und 300 µg/l (V) herabgesetzt und liegen damit noch deutlich unterhalb der ME von 1254 µg/l bzw. 593 µg/L. Antimon, Cadmium und Arsen sind in den Eluaten der SFA entweder nicht nachweisbar oder sind angesichts der sonstigen sehr hohen Konzentrationsniveaus anderer Schwermetalle und resultierenden Beschränkung auf geschlossene und teildurchlässige Einbauweisen nicht regelungsrelevant. Die in AE 1 EBV für die regelmäßige Güteüberwachung vorgesehenen Stoffe Arsen und Cadmium könnten deshalb aus der regelmäßigen Güteüberwachung für AE 2 EBV gestrichen werden.

Tabelle 6.35 listet die resultierenden gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.35: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Steinkohlenflugaschen in AE 2 EBV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt

Parameter	Dimension	SFA
pH		8 - 13
Leitfähigkeit	[µS/cm]	43.000 10.000
Sulfat	[mg/L]	4.500
Arsen	[µg/L]	400
Cadmium	[µg/L]	35
Chrom ges.	[µg/L]	4.700 1.000
Molybdän	[µg/L]	3.000 7.000
Vanadium	[µg/L]	4.000 300

6.4.5 Braunkohlenflugasche (BFA)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Braunkohleflugasche bestimmt als

die aus der Feuerung mit Braunkohle im Rauchgasstrom mitgeführten und mit Elektrofiltern abgetrennten Mineralstoffpartikel

6.4.5.1 Datengrundlagen

Der Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und der VGB Power-Tech e.V. haben dem BMU frühzeitig den Regelungsbedarf von Braunkohleflugaschen in der ErsatzbaustoffV angezeigt und zwischenzeitlich umfassende Untersuchungen zu den Qualitäten von Braunkohleflugaschen (Tabelle 6.36) durchgeführt. Basierend auf dieser Datengrundlage wurde ein Branchenpapier erarbeitet, welches Grundlage mehrerer Branchengespräche des BMU mit den betroffenen Kreisen war (vgl. Kapitel 1.1.2.4 Teil II dieser Bericht). Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form haben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.36: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Braunkohlenflugaschen für AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011)

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner (Organisation)	Anzahl der Einzelproben	Art und Herkunft	Untersuchungsprogramm	Quellen (mit z. T. detaillierten Informationen zur Probenzusammensetzung)
BDEW-, VGB-, ZAG-Projekt, 04.08.2008, Lüder (BDEW), Puch (VGB PowerTech)	4	Kraftwerke	ausf. SV nach DIN 19528; WF 2 – Säulenkurzeluat nach DIN 19528 (Durchführung: ZAG Tübingen)	
VGB-, Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG-Projekt, 04.08.2008, Puch (VGB PowerTech)	7	Kraftwerke	WF 2 - Säulenkurzeluat nach DIN 19528 WF 2 – Schütteltest nach DIN 19529 WF 10 – Schütteltest nach DIN 38414 S 4 (Durchführung: Auftragslabor Vattenfall)	

6.4.5.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.37 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse aller Untersuchungskampagnen mit dem Säulenkurzeluat bis WF 2 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Demnach sind die Stoffe Chlorid, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink und Vanadium im Eluat von Braunkohleflugaschen nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant.

Tab. 6.37: Nicht relevante Parameter, Braunkohlenflugaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
BFA-Daten aus Tabelle 6.38	n	4	4	11	11	11,0	11	11	11	11
	Min	5	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	Max	14	< BG	< BG	18	0,8	18	< BG	< BG	16
	Mittel	10	< BG	< BG	4	0,2	< BG	< BG	< BG	4
	Median	11	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	70. Perz.	13	< BG	< BG	5	0,6	< BG	< BG	< BG	< BG
	80. Perz.	13	< BG	< BG	7	0,6	< BG	< BG	< BG	< BG
	90. Perz.	14	< BG	< BG	11	0,7	< BG	< BG	< BG	10

Nachfolgende Tabelle 6.38 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse im Säulenkurzeluat bis WF 2 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Die Ergebnisse zeigen eine Regelungsrelevanz von Sulfat, Chrom, ges und Molybdän im WF 2 Säulenkurzeluat. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.38: Relevante Parameter, Braunkohlenflugaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Molybdän [µg/L]
BFA-Daten aus Tabelle 6.38	n	11	11	11	11	11
	Min	11,8	3610	1153	<BG	74
	Max	12,7	13200	2100	104	572
	Mittel	12,4	10598	1698	15	220
	Median	12,5	11000	1742	<BG	188
	70. Perz.	12,6	12000	1880	<BG	283
	80. Perz.	12,6	12100	1930	17	301
	90. Perz.	12,6	13000	2032	37	314

6.4.5.3 Ableitung von Materialwerten

Für Braunkohleflugaschen sind die Parameter Sulfat und Molybdän und nur nachgeordnet Chrom, ges. verwertungslimitierend. Im Vergleich zu Steinkohleflugaschen sind die Konzentrationsniveaus deutlich niedriger. Für Sulfat finden sich um den Faktor 2, für Molybdän um den Faktor 50 und für Chrom um den Faktor 10 niedrigere Konzentrationsniveaus. Da die Konzentrationsschwankungen von Sulfat und Molybdän innerhalb der Materialklasse sehr gering sind (die 50. Perzentile unterscheiden sich nicht signifikant von den 90. Perzentilen) ist eine Unterteilung in unterschiedliche Materialklassen nicht sinnvoll (es kann keine in der

Praxis erreichbare Materialqualität identifiziert werden, mit der verbesserte Verwertungsmöglichkeiten verbunden sind). Für Chrom, ges. ergeben sich unterschiedliche Befunde. Der Datensatz des VGB zeigt Chromkonzentrationen bis 100 µg/L, während durch Vattenfall für einen größeren Probensatz kein Chrom nachgewiesen werden konnte.

Die Materialwerte werden grundsätzlich so festgelegt, dass abgesehen von Ausreißern 100 % der Proben der verfügbaren Datengrundlage verwertet werden können.

Der Maximalwert von Sulfat mit 2100 mg/L, von Chrom, ges. mit 104 µg/L und das 90. Perzentil von Molybdän mit < 400 µg/l (ein Ausreißer) halten die nach den neuen Modellierungen in den Bauweisen ToB, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1m ab Planum unter gebundenen Deckschichten für den günstigen Fall Sand zulässigen ME für Sulfat mit > Sättigungskonzentration mg/L, für Chrom, ges. mit > 1254 µg/L bzw. für Molybdän mit 399 µg/L ein. Der Materialwert von Molybdän wurde dem ME gleichgesetzt. Die Materialwerte von Sulfat und Chrom, ges. wurden mit 2500 mg/L bzw. 150 µg/L etwas oberhalb der Maximalwerte festgelegt, um zukünftige Qualitätsschwankungen aufzufangen (Materialwerte liegen noch deutlich unterhalb der dort zulässigen Sulfat- und Chrom, ges. - Werte).

Mit Fußnotenregelung 1) kann die Zulässigkeit von Braunkohlenflugaschen in den oben genannten Bauweisen auch für den ungünstigen Fall geregelt werden, in dem der limitierende ME von Chrom, ges. von 114 µg/L als Materialwert festgelegt wird. Alle verfügbaren Proben halten diesen Wert ein.

Im Resultat ergeben sich für BFA die in Tabelle 6.39 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.39: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für die in den AE 2 EBV (BMU, 2011) neu aufgenommenen Braunkohlenflugaschen.

Parameter	Dimension	BFA
pH		11 - 13
Leitfähigkeit	[µS/cm]	15.000
Sulfat	[mg/L]	2.500
Chrom ges.	[µg/L]	150
Molybdän ³	[µg/L]	400

6.5 Ersatzbaustoffe der Gießereiindustrie

6.5.1 Gießereirestsand (GRS)

Gemäß Begriffsbestimmung in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Gießereirestsand *rieselfähiger Sand, der in Eisen-, Stahl-, Temper- und Nichteisenmetall - Gießereien anfällt*

6.5.1.1 Datengrundlagen und fachlicher Hintergrund

Unter Gießereirestsand wird abgegossener Kern- und Formsand oder deren Gemisch verstanden. Formsande sind in der Regel bentonitgebunden und enthalten Glanzkohlenstoffbildner. Kernsande sind meist harzgebunden. Die Ableitungen von Materialwerten und Einsatzmöglichkeiten von Gießereirestsanden nach Susset & Leuchs (2008a) basieren im Wesentlichen auf im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes am LANUV NRW durchgeführten Feldlysimeter – und Laboruntersuchungen an einem bentonitgebundenen und einem harzgebundenen Gießereirestsand und wurde wie folgt begründet (aus Susset & Leuchs, 2008a):

“Zur materialspezifischen Festlegung von Güteüberwachungswerten fehlen bisher bewertbare Daten. Hinzu kommt, dass je nach Art des Gießverfahrens und des Gusswerkstücks verschiedene Legierungsstoffe relevant sein können. Als Standarduntersuchungsumfang werden pH, Lf und DOC sowie Cr, ges., Ni, Mo, V und PAK vorgeschlagen. DOC, pH und Lf dienen dazu, problematische harzgebundene Gießereirestsande auszuschließen. Chrom, ges., Ni, Mo und V sind häufig Bestandteil von Stählen; Chrom wird darüber hinaus über Chromitsande zugeführt. Da PAK im Formsand in höheren Gehalten auftreten können, sollten diese ebenfalls regelmäßig im Eluat kontrolliert werden, ob sie wasserverfügbar sind. Sofern in den Gießereien weitere Legierungselemente eingesetzt werden, sollten diese im Rahmen des Eignungsnachweises gemessen werden. Die Festlegung der Materialwerte wurde an den Materialwerten für Boden orientiert. Bei Überschreitung der BM 0-Werte, wird eine regelmäßige Güteüberwachung empfohlen. Die Bewertung der Metalle/Legierungselemente sowie der PAK erfolgt analog Bodenmaterial. Tongebundener Gießereirestsand kann nach den vorliegenden Erkenntnissen in vielen Einsatzgebieten eingesetzt werden. Der vom LANUV untersuchte tongebundene Gießereirestsand aus einer Stahlgießerei weist eine vergleichsweise gute Qualität auf. Nach den Lysimeterergebnissen sind nur Chrom und Molybdän in etwas erhöhten Konzentrationen zu finden. Die Bedeutung der bisher im Feststoff bewerteten PAK, die Gehalte bis 20 mg/kg aufweisen können, ist überschätzt worden. Dies wird darauf zurückgeführt, dass der abgegossene Glanzkohlenstoffbildner gute Sorptionseigenschaften aufweist und PAK bei den hier gefundenen TOC-Gehalten von 1,5 – 2% nur in sehr geringen Konzentrationen freigesetzt werden. Der vom LANUV untersuchte tongebundene Gießereirestsand wies im Lysimeterablauf nur sehr geringe Konzentrationen auf (1/20 des Bezugswertes, detaillierte Beschreibung der Ergebnisse für Gießereisande in Susset & Leuchs, 2008b).“

Im Endergebnis wurden harzgebundenen Gießereirestsande in Susset & Leuchs (2008a) und in AE 1 EBV vollständig von der Verwertung ausgeschlossen.

Zwischenzeitlich hat der Bundesverband der deutschen Gießereiindustrie (BDG) am 08.05.2009 dem BMU neue Datengrundlagen für Gießereirestsande zur Verfügung gestellt (Tabelle 6. 40). Auf dieser Basis können nun statistisch besser abgesicherte Materialwerte abgeleitet werden. Basierend auf diesem Datensatz wurde ein Branchenpapier für das Branchengespräch des BMU mit der betroffenen Branche erarbeitet (vgl. Kapitel 1.1.2.4 Teil II dieser Bericht). Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form hat der aben die Branchenvertreter auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Der BDG führt im Schreiben vom 08.05.2009 an das BMU aus, dass neben den phenol- oder furanharzhaltigen harzgebundenen Sandsystemen mit sehr negativen Elutionseigenschaften auch harzgebundene Systeme anfallen, die z.B. das so genannte „Urethan Coldbox“- oder „Resol Ester-Verfahren“ durchlaufen und deshalb neutral oder alkalisch eluieren und folglich die hier gemessenen Kennwerte nicht auffallend schlechter ausfallen als bei tongebundenen

Gießereisanden. Ein allgemeiner Ausschluss harzgebundener Systeme wäre deshalb nicht zielführend insbesondere weil auch eine strikte Trennung zwischen betonit- und harzgebundenen GRS in der Praxis nicht möglich sei (es gibt auch „Mischfraktionen“). Prüfungen des BDG zeigen allerdings, dass auch „produktionsseitig“ anhand des Produktionsverfahrens die phenol- oder furanharzhaltigen harzgebundenen Sandsystemen von den „Urethan Coldbox“- oder „Resol Ester-Verfahren“ in der Praxis nicht immer unterschieden werden können. Eine Bestimmung der Art des Harzes mit Labormessungen im Feststoff sei nicht praktikabel.

Letztlich bleibt nur der „messtechnische“ Ausschluss problematischer Harzsysteme im Rahmen der Güteüberwachung. Voraussetzung für einen nicht grundsätzlichen, sondern „messtechnischen“ Ausschluss bestimmter Harzsysteme im Einzelfall ist eine Labormethode und Messkriterien, die eindeutige und justitiable Ergebnisse liefern und eine hinreichende Datengrundlage zur Identifizierung von Parametergrenzwerten als Ausschlusskriterien. Um dies zu prüfen wurden die durch den BDG erhobenen neuen Messdaten für AE 2 EBV dahingehend ausgewertet.

Tab. 6.40: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Gießereirestsanden für AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011).

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner (Organisation)	Anzahl der Einzelproben	Art und Herkunft	Untersuchungs-programm	Quelle
Bundesverband der Deutschen Gießereindustrie (BDG), 08.05.2009, Frau Schwind, BDG Düsseldorf	22	12 harzfreie/harzarme und 10 harzgebundene Gießereisande von 10 verschiedenen Betrieben (anonymisiert)	WF 2 – Säulenkurzeluate nach DIN 19528; WF 2 – Schütteleluate nach „DIN 38414 (S4)“; WF 10 – Schütteleluate nach DIN 38414 (S4) weites Stoffspektrum inklusive $\Sigma 15$ EPA PAK	Datentabelle dem BMU z. Vfg. gestellt
Bundesverband der Deutschen Gießereindustrie (BDG), 15.12.2010, Frau Schwind, BDG Düsseldorf	26	verschiedene tongebundene und harzgebundene Gießereirestsande von verschiedenen Betrieben (anonymisiert)	WF 2 – Säulenkurzeluate nach DIN 19528; WF 2 – Schütteleluate nach DIN 19529; WF 10 – Schütteleluate nach DIN 38414 (S4), regelmäßige Güteüberwachungsparameter nach AE 2 EBV	Datentabelle dem BMU z. Vfg. gestellt

6.5.1.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.41 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2 - Säulenkurzeluate für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Die neuen Messdatengrundlagen bestätigen die Ergebnisse von Susset & Leuchs (2008a), nach welchen die Bedeutung der PAK bisher überschätzt wurde. Dies wird darauf zurückgeführt, dass der abgegossene Glanzkohlenstoffbildner gute Sorptionseigenschaften aufweist und PAK bei den hier gefundenen TOC-Gehalten von 1,5 – 2% nur in sehr geringen Konzentrationen freigesetzt werden. Bei keiner der Proben des BDG waren PAK im Eluat nachweisbar. Antimon und Cadmium wurden nur im Eluat einer Probe in relevanten Konzentrationen nachgewiesen.

Tab. 6.41: Nicht relevante Parameter, Gießereirestsande: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Daten- grund- lagen	Stat. Kenn- größen	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Antimon [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Σ 15 EPA PAK [µg/L]
GRS- Daten aus 2009/ 2010 aus Tabelle 6.40	n	siehe Susset & Leuchs (2008a)		22	22,0	22
	Min			< BG	< BG	< BG
	Max			120	28,0	< BG
	Mittel			8	1,9	< BG
	Median			< BG	< BG	< BG
	70. Perz.			< BG	0,7	< BG
	80. Perz.			8	1,0	< BG
	90. Perz.			18	2,0	< BG

Nachfolgende Tabelle 6.42 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2 - Säulenkurzeluate für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Demnach sind pH, DOC, Fluorid, Arsen, Blei, Chrom, ges., Kupfer, Molybdän, Nickel, Vanadium und Zink regelungsrelevant. PH-Wert und DOC haben bei den Gießereirestsanden Grenzwertcharakter und dienen als Unterscheidungskriterium zwischen harzfreien/harzarmen bzw. Harzsystemen mit unproblematischen Elutionsverhalten und Harzsystemen die zur Versauerung und damit verbundenen hohen Schwermetallfreisetzungen neigen (siehe Kapitel 6.5.1.3). Die Leitfähigkeit kann aufgrund der Verteilung nur eine grobe Orientierung geben und dient als Indikatorparameter.

Tab. 6.42: Relevante Parameter, Gießereirestsande: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	DOC [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]
GRS-Daten aus Tabelle 6.40	n	48	48	48	48	48	48
	Min	2,8	105,0	1	< BG	< BG	< BG
	Max	11,5	4070,0	1117	79,1	145	560
	Mittel	8,7	936,6	66	6,7	17	17
	Median	9,1	711,5	8	1,8	12	2
	70. Perz.	9,4	942,0	19	2,9	20	2
	80. Perz.	9,8	1342,0	38	5,2	25	3
	90. Perz.	10,7	2010,0	110	16,7	42	19

Fortsetzung Tabelle 6.42

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
GRS-Daten aus Tabelle 6.42	n	48	48	48	48	48	48
	Min	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	Max	53	4400	330	5120	180	6800
	Mittel	11	109	48	150	32	224
	Median	8	6	16	5	17	9
	70. Perz.	13	10	32	7	30	17
	80. Perz.	20	15	43	15	46	31
	90. Perz.	29	67	150	85	75	278

6.5.1.3 Ausschlusskriterien für harzgebundene Gießereirestsande mit problematischen Stofffreisetzungspotentialen

6.5.1.3.1 Fachlicher Hintergrund – Ergebnisse aus BMBF-Sickerwasserprognose

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts Sickerwasserprognose des Landesamts für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz NRW wurden Feld- und Labormessungen mit einem harzgebundenen Gießereirestsand (Feldlysimeter versus Laborelutionen) durchgeführt (detailliert in Susset & Leuchs, 2008b).

Während der durch das LANUV NRW untersuchte bentonitgebundene Gießereirestsand sowohl im Feld also auch in Laboreluaten eine durchweg gute Eluatqualität aufweist sinken die pH-Werte beim harzgebundenen Gießereisand im Lysimeterablauf vorübergehend von neutralen Bedingungen auf saure Werte von pH = 3 - 5 ab und führen dann zu einer "abrupten" Mobilisierung von Metallen, wobei die "sauren Elutionsphasen" mehrere Monate anhalten können. Beim harzgebundenen Gießereisand schließt sich gegen Versuchende eine +/- konstante saure Elutionsphase an. Es resultieren massive Überschreitungen der Geringfügigkeitsschwellen durch Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel, Selen und Zink im Sicker-

wasser des harzgebundenen Gießereisands (vgl. Abbildungen in Susset & Leuchs, 2008b). Nach Susset & Leuchs (2008b) können, neben Phenolen, auch Paratoluolsulfonsäure und Phosphorsäure als lösliche Bestandteile der verfahrensspezifisch enthaltenen Furanharze (Härtesubstanzen bestehen aus einer Mischung der genannten Säuren) in das Sickerwasser freigesetzt werden. Die Säurefreisetzung in das Sickerwasser kann zu den hier beobachteten pH-Wert-Absenkungen führen. Warum zunächst eine abrupte und vorübergehende und nachfolgend eine konstant saure Elution stattfindet und ob dieses Phänomen einheitlich bei der Materialklasse der harzgebundenen Gießereisande auftritt, konnte nicht abschließend geklärt werden. Möglicherweise werden infolge der instationären und differenziellen Fließbedingungen nur sporadisch Säuren durch das Sickerwasser erreicht. Infolge der Abreicherung der mobilen Metallanteile im Feststoff des harzgebundenen Gießereisandes nehmen die Maximalkonzentrationen während zeitlich aufeinander folgenden „sauren Elutionsphasen“ ab (der größte Unterschied zeigt sich zwischen dem erstem Peak und dem nachfolgenden Peak).

Die vorwiegend wasserungesättigten Bedingungen von Freilandlysimeterversuchen unterscheiden sich von den wassergesättigten Laborsäulenversuchen und Schüttel eluaten hinsichtlich des Bioabbaus, dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (PCO_2) und dem pH-Wert. Dies kann dazu führen, dass Laborbefunde stark von den Feldlysimeterbefunden abweichen. Die „sauren Elutionsphasen“ im Feld können durch die Labormethoden nicht exakt beschrieben werden. Letztlich steht derzeit keine praktikable Laborelutionsmethode zur Verfügung, die die tatsächlichen geochemischen Randbedingungen nachbilden und den exakten Elutionsverlauf im Gelände simulieren kann. Allerdings stellen sich auch beim Säulenversuch zu Versuchsbeginn niedrige pH-Werte ein (vgl. Susset & Leuchs, 2008a). Damit korrelieren hohe Metallausträge zu Versuchsbeginn, so dass im Säulenkurztest bis *WF 2* (kumuliert) noch hohe Metallkonzentrationen gemessen werden können, die deutlich oberhalb der GFS und der in verschiedenen Einbaukonstellationen der EBV zulässigen medienschutzbasierten Einbauwerte liegen. Ein ähnliches initiales Auswaschungsverhalten zeigt der DOC, so dass im Säulenkurzeluat bis *WF 2* noch moderat hohe DOC-Werte vorliegen. Der durch das LANUV NRW untersuchte betonitgebundene Gießereisand zeigt dagegen schwach alkalische Eluate mit $\text{pH} > 9$ und maximale DOC-Werte bis *WF 2* von 20 mg/L.

Die Problematik Säure-gekoppelter Schwermetallausträge war grundsätzlich bekannt. In der LAGA Mitteilung 20 (LAGA, 1997) hat man versucht, den Anteil der harzgebundenen Sande (überwiegend Kernsande) am Restsandgemisch über den pH-Wert (min. 5,5) zu begrenzen. Bei der Identifizierung des harzgebundenen Gießereisandes über niedrige pH-Werte tritt jedoch das Problem auf, dass im Säulenkurzeluat bis *WF 2* der pH-Wert bereits auf Werte von 6-7 ansteigt. Bei Erstellung des UBA-Ableitungskonzepts für den AE 1 der EBV lagen dem LANUV NRW keine ausreichenden Datengrundlagen vor, um Ausschlusskriterien anhand von pH-Werten und DOC-Werten zu definieren und die Grenzwerte zu verifizieren. Dies führte zur Empfehlung, harzgebundene Systeme grundsätzlich aus der Verwertung auszuschließen.

6.5.1.3.2 Auswertung von Datengrundlagen des BDG zur Ableitung „messtechnischer Ausschlusskriterien“ für Gießereirestsande mit problematischen Stoffträgern im Rahmen der Güteüberwachung

Abhängigkeit pH versus DOC

Nachfolgende Abbildung 6.1 zeigt die im Säulenkurzeluat bis WF 2 nach DIN 19528 gemessenen pH-Werte und DOC-Konzentrationen von 22 verschiedenen Gießereirestsanden (Untersuchungen des BDG, 2009 vgl. Tabelle 6.41). Bei 10 der 22 GRS-Proben handelt es sich laut BDG nachweislich um harzgebundene Systeme, deren Eluatkonzentrationen im rechten Teil der Abbildung dargestellt sind (ab Probe A 4, rot hinterlegt). Die harzgebundenen Systeme weisen tendenziell tiefere pH-Werte < 9,0 bis minimal 4,5 und höhere DOC-Konzentrationen > 30 mg/L als die harzfreien Systeme auf.

5 der 10 harzgebundenen Gießereirestsande weisen allerdings neutrale bis schwach alkalische und mit einer Ausnahme auch unauffällige DOC-Konzentrationen auf. I.d.R. können für die vorhandene Datengrundlage alle harzgebundenen Systeme mit den kombinierten Grenzwerten aus pH und DOC mit einer pH-Grenze von 9,0 und einer DOC-Grenze von 30 mg/L identifiziert werden.

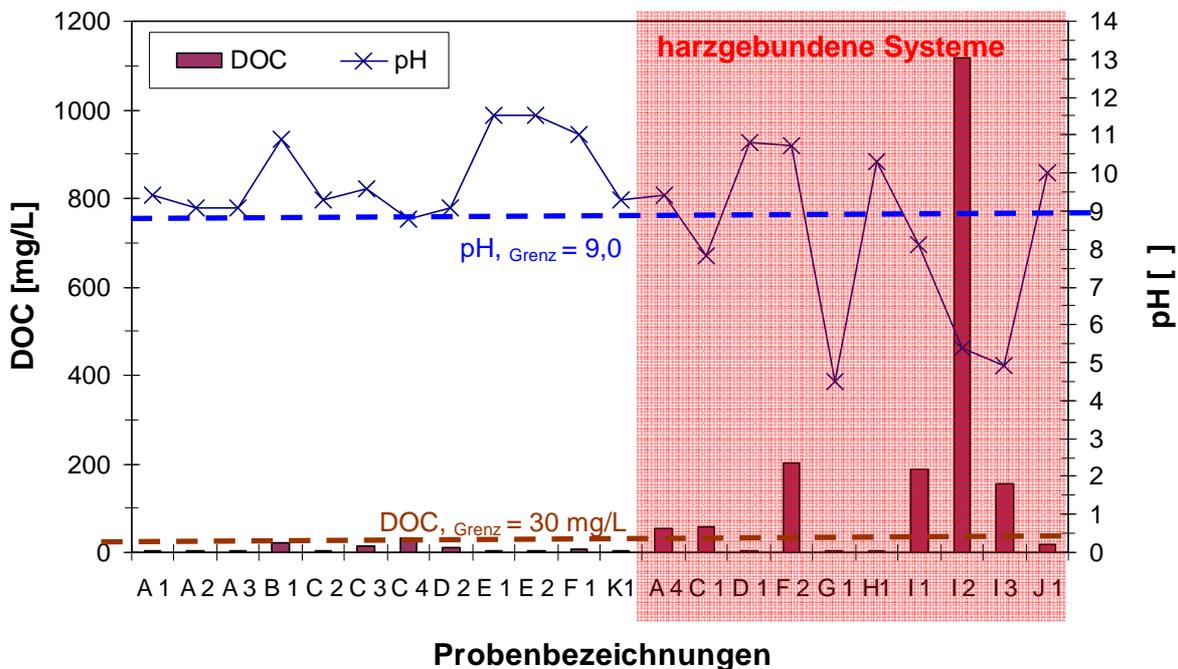


Abb. 6.1: PH-Werte und DOC-Konzentrationen in Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 von 22 Gießereirestsandproben. In der rechten Bildhälfte sind die Ergebnisse von harzgebundenen Systemen dargestellt (Messergebnisse des BDG freundlich z.Vfg. gestellt)..

Abbildung 6.2 zeigt die Konzentrationen der relevanten Schwermetalle in Säulenkurzeluaten der 12 harzfreien Systeme (oberes Bild) und der harzgebundenen Systeme (unteres Bild).

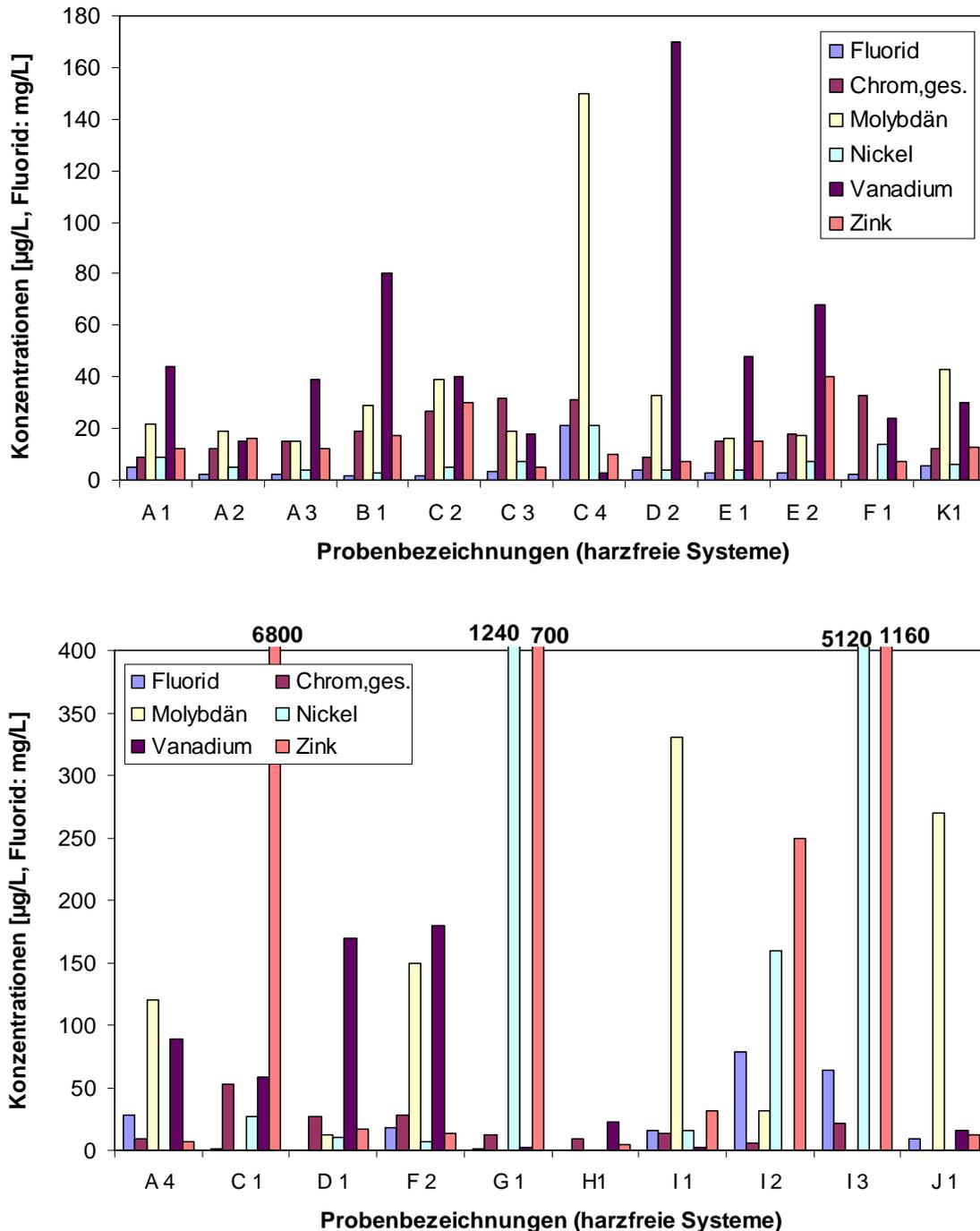


Abb. 6.2: Konzentrationen relevanter Schwermetalle in Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 von 22 Gießereirestsandproben. Oben: harzfreie oder harzarme Systeme, unten: harzgebundene Systeme (Messergebnisse des BDG freundlich z.Vf.g. gestellt).

Es wird verdeutlicht, dass die harzfreien/harzarmen Systeme nur moderate Schwermetallfreisetzungen aufweisen, die im Bereich der ME von offenen Bauweisen für die günstigen Fälle (Sand- oder Lehm-/Schluff-/Tonunterlagerung) liegen. Bei den harzgebundenen Systemen fallen die Proben C 1, G 1, I1, I2 und I 3 mit z. T. extrem hohen Schwermetallkonzentrationen im Säulenkurzeluat auf. G 1, I2 und I3 weisen extrem niedrige pH-Werte im Säulen-

kurzeluat auf (vgl. Abbildung 6.2). C1 und I1 zeigen zwar +/- neutrale pH-Werte, liegen mit 7,8 bzw. 8,1 aber noch deutlich unter der oben definierten pH-Grenze von 9,0. I1, I2 und I3 zeigen zusätzlich hohe DOC-Werte > 150 mg/L. Insgesamt zeigt sich, dass alle harzgebundene Systeme mit pH-Werten oberhalb 9,0 (vgl. Abb. 6.2: A 1, D1, F 2, H 1, J1) auch nur moderate Schwermetallausträge aufweisen, die im Bereich der harzfreien/harzarmen Proben liegen. Die Probe A 4 mit nur moderaten Schwermetallausträgen und schwach alkalischen pH-Werten würde durch einen DOC-Grenzwert von 30 mg/L aus der guten Kategorie ausgeschlossen werden.

Fazit:

Ob die durch den BDG untersuchten Gießereirestsande mit unauffälligen DOC- und pH-Werten im Laboreluat im Feld zur Versauerung und damit verbundenen Schwermetallfreisetzung neigen, kann mit dieser Analyse nicht abschließend geklärt werden, da vergleichende Feldversuche fehlen. Für die zur Verfügung gestellte Datengrundlage lassen sich jedoch die durch BDG als harzgebundene Gießereirestsande gekennzeichneten Proben i.d.R. durch erhöhte DOC-Konzentrationen oberhalb 30 mg/L und i.d.R. durch niedrigere pH-Werte < 9,0 von den harzfreien/harzarmen Systemen unterscheiden. Einige der harzgebundenen Systeme weisen jedoch auch pH-Werte > 9,0, unauffällige DOC-Werte sowie geringe bis moderate Schwermetallausträge auf. Möglicherweise handelt es sich hier um die weniger problematischen Harzsysteme, die z.B. das so genannte „Urethan Coldbox“- oder „Resol Ester-Verfahren“ durchlaufen haben und deshalb neutral oder alkalisch eluieren und folglich die hier gemessenen Kennwerte nicht auffallend schlechter ausfallen als bei den harzfreien Systemen. Diese wären auch bei Zugrundlegung der scharfen pH- und DOC –Kriterien zulässig.

Bei der Beurteilung von Gießereirestsanden über Laboreluate besteht immer ein Restrisiko, dass sich im Feld andere niedrigere pH-Werte und damit höhere Schwermetallfreisetzungen einstellen. Dieses Restrisiko muss durch den Bundesverordnungsgeber abgewogen werden. Soll das Ziel einer Verwertung von Gießereirestsanden weiter verfolgt werden, müssen die Sandsysteme über Güteüberwachungsparameter unterschieden werden. Anderenfalls müssten Gießereirestsande grundsätzlich aus dem Verwertungskreislauf ausgeschlossen werden, da die harzgebundenen und harzfreien Systeme produktionsseitig in der Praxis nicht getrennt werden können und auch Mischungen anfallen.

Als messtechnische Ausschlusskriterien müssen pH und DOC als Materialwerte (Grenzwerte) festgelegt werden (also nicht nur als Indikatorparameter). Leitfähigkeitswerte sind aufgrund der Verteilung nicht als Unterscheidungsmerkmal zwischen verschiedenen Harzsystemen geeignet. Es wird deshalb empfohlen, die Leitfähigkeit als Indikatorparameter einzuführen. Bei der Grenzwertableitung gilt: Je lückenhafter die Datengrundlage, umso enger müssen die pH- und DOC-Grenzen gesetzt werden.

Mit der pH-Grenze > 9,0 und DOC-Grenze \leq 30 mg/L können für die hier verfügbare Datengrundlage harzgebundene Systeme mit extrem hohen Schwermetallfreisetzungen sicher ausgeschlossen werden. Im Auftrag des Bundesverordnungsgebers wurde für Gießereirestsande der pH-/DOC-Kategorie II: pH > 6,0 und DOC \leq 200 mg/L eine ungünstigere GRS-Qualitätsklasse GRS-2 abgeleitet für die ausschließlich geschlossene Einbauweisen resultieren. Mit der pH-Untergrenze und der DOC-Obergrenze können harzgebundene Systeme mit extremen Schwermetallfreisetzungen von vornherein aus der Verwertung ausgeschlossen werden. Weiter ist es sinnvoll, die Schwermetallgrenzwerte an den harzgebundenen Systemen mit moderaten Freisetzungspotenzialen zu orientieren.

Die günstige Qualitätsklasse GRS-1 kann mit der pH-/DOC-Kategorie I: pH > 9,0 und DOC \leq 30 mg/L abgegrenzt werden.

Zuordnung von Proben des Gesamtdatensatzes zu pH/DOC-Kategorien:

Tabelle 6.43 zeigt die statistischen Kenngrößen der Konzentrationsverteilungen relevanter Parameter in Säulenkurzeluaten von 25 Proben aus dem Gesamtdatensatz des BDG (n = 48), die der pH/DOC-Kategorie I zugeordnet werden können: Gießereisande mit pH > 9,0 und DOC ≤ 30 mg/L.

Durch das pH/DOC-Kriterium I können i.d.R. Sandsysteme mit auffällig guten Eigenschaften, also moderaten Stofffreisetzungen separiert werden. Bis auf jeweils einen Ausreißerwert bei Arsen und Molybdän können alle Proben einer Verwertung in der Qualitätsklasse GRS-1 zugeführt werden. Nur zwei Proben müssten aufgrund hoher Molybdän- bzw. Arsen-Werte oberhalb der Materialwerte von GRS-1 (vgl. nachfolgendes Kapitel 6.5.1.4) der Qualitätsklasse GRS-2 zugeordnet werden.

Tab. 6.43: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten von GRS-Proben der pH/DOC-Kategorie I mit pH > 9,0 und DOC ≤ 30 mg/L (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	DOC [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]
25 von 48 GRS-Proben aus Tabelle 6.42 mit pH/DOC-Kategorie I	n	25	25	25	25	25	25
	Min	9,0	184,0	3	< BG	< BG	< BG
	Max	11,5	2680,0	22	9,4	73	24
	Mittel	9,7	774,2	8	2,6	15	4
	Median	9,3	683,0	7	1,8	12	2
	70. Perz.	9,7	923,2	9	2,5	20	2
	80. Perz.	10,4	1046,0	12	3,6	24	2
	90. Perz.	11,0	1472,0	15	5,2	39	14

Fortsetzung Tabelle 6.43

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
25 von 48 GRS-Proben aus Tabelle 6.42 mit pH/DOC-Kategorie I	n	25	25	25	25	25	25
	Min	< BG	< BG	< BG	< BG	2	4
	Max	33	51	289	14	170	40
	Mittel	10	9	39	4	39	11
	Median	9	6	17	4	22	7
	70. Perz.	14	8	24	5	40	12
	80. Perz.	18	11	32	7	52	15
	90. Perz.	27	18	41	8	76	17

Tabelle 6.44 zeigt die statistischen Kenngrößen der Konzentrationsverteilungen relevanter Parameter in Säulenkurzeluaten von 17 Proben aus dem Gesamtdatensatzes des BDG (n = 48), die der der pH/DOC-Kategorie II: Gießereisande mit pH > 6,0 und DOC ≤ 200 mg/L zugeordnet werden können.

Die Perzentilverteilungen verdeutlichen, dass durch das pH/DOC-Kriterium II i.d.R. Sandsysteme mit eher ungünstigen Eigenschaften, also hohen Stofffreisetzungen separiert werden können. Bis auf jeweils einen Ausreißerwert bei Arsen und Molybdän können alle Proben einer Verwertung in der Qualitätsklasse GRS-2 zugeführt werden. Nur zwei Proben würden aufgrund extrem hoher Kupfer- und Zinkwerte bzw. aufgrund extrem hoher Nickel- und Zinkwerte oberhalb der Materialwerte von GS-2 (vgl. nachfolgendes Kapitel, 6.5.1.4) deponiert werden.

Tab. 6.44: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten von GRS-Proben der pH/DOC-Kategorie II mit pH > 6,0 und DOC ≤ 200 mg/L (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	DOC [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]
17 von 48 GRS-Proben aus Tabelle 6.42 mit pH/DOC-Kategorie I	n	17	17	17	17	17	17
	Min	4,5	105,0	1	0,6	< BG	< BG
	Max	10,7	4070,0	200	28,2	48	560
	Mittel	8,4	1105,8	39	5,8	14	36
	Median	8,5	438,0	9	1,5	11	2
	70. Perz.	8,8	1280,0	37	1,8	18	2
	80. Perz.	8,9	1640,0	52	13,2	20	2
	90. Perz.	9,6	3060,0	109	19,3	29	18

Fortsetzung Tabelle 6.44

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
17 von 48 GRS-Proben aus Tabelle 6.42 mit pH/DOC-Kategorie I	n	17	17	17	17	17	17
	Min	< BG	2	< BG	< BG	< BG	< BG
	Max	53	4400	330	1240	180	6800
	Mittel	10	287	67	79	25	460
	Median	3	4	6	2	3	9
	70. Perz.	10	23	58	9	16	14
	80. Perz.	13	89	144	16	29	28
	90. Perz.	29	134	208	23	70	390

Tabelle 6.45 zeigt die statistischen Kenngrößen der Konzentrationsverteilungen relevanter Parameter in Säulenkurzeluaten der 6 verbleibenden Proben aus dem Gesamtdatensatz des BDG von 48 Proben, die keine der beiden pH/DOC-Kategorien einhalten können und nach AE 2 EBV keiner Verwertung zu geführt, sondern deponiert werden müssten.

Die Perzentilverteilungen verdeutlichen, dass durch die Nichteinhaltung beider pH/DOC-Kriterien i.d.R. Sandsysteme identifiziert werden, die hohe- und damit verbunden extreme Schwermetallfreisetzungen aufweisen.

Lediglich eine Probe würde aufgrund der pH/DOC-Kriterien aus der Verwertung ausgeschieden werden, obwohl im Eluat die Materialwerte von GRS-2 für Schwermetalle einhaltbar sind.

Insgesamt kann anhand des Praxisdatensatzes gezeigt werden, dass die Systematik aus pH/DOC-Grenzwerten und Materialwerten sehr gut für die Bewertung von verschiedenen Sandsystemen von Gießereirestsanden in AE 2 EBV geeignet ist.

Tab. 6.45: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten von 6 GRS-Proben die keine der nach AE 2 EBV zulässigen pH/DOC-Kategorien einhalten (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	DOC [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]
17 von 48 GRS-Proben aus Tabelle 6.42 mit pH/DOC-Kategorie I	n	6	6	6	6	6	6
	Min	2,8	769,0	4	0,4	< BG	< BG
	Max	5,4	2480,0	1117	79,1	34	53
	Mittel	4,2	1350,5	383	24,8	11	15
	Median	4,7	919,0	123	2,6	4	2
	70. Perz.	4,9	1575,5	505	34,2	16	19
	80. Perz.	4,9	2220,0	854	63,7	26	35
	90. Perz.	5,2	2350,0	985	71,4	30	44

Fortsetzung Tabelle 6.45

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	Chrom, ges. [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
17 von 48 GRS-Proben aus Tabelle 6.42 mit pH/DOC-Kategorie I	n	6	6	6	6	6	6
	Min	6	< BG	< BG	80	< BG	184
	Max	30	114	61	5120	36	1160
	Mittel	17	39	16	1161	13	556
	Median	17	11	2	214	8	521
	70. Perz.	21	56	17	754	20	701
	80. Perz.	21	98	32	1240	25	701
	90. Perz.	26	106	47	3180	31	931

6.5.1.4 Ableitung von Materialwerten

Gemäß der in Kapitel 6.5.1.3 abgeleiteten Unterscheidungskriterien zwischen harzfreien/harzarmen Systemen, Harzsystemen mit unproblematischem Elutionsverhalten und Harzsystemen mit problematischem Elutionsverhalten werden zunächst Materialwerte für die pH/DOC-Kategorie I mit $\text{pH} \geq 9,0$ und $\text{DOC} \geq 30 \text{ mg/L}$ als Materialklasse GS-1 abgeleitet. Bei den Perzentilberechnungen für Einzelparameter werden im Folgenden nur Proben berücksichtigt, die diese pH/DOC-Kriterien einhalten (vgl. Kennwerte in Tabelle 6.43).

Separat werden Materialwerte für eine ungünstige Klasse abgeleitet GS-2, die die pH- und DOC-Kriterien der pH/DOC-Kategorie II einhalten (vgl. Kennwerte in Tabelle 6.44). Für diese Klasse resultieren nur geschlossene und teildurchströmte Einbauweisen.

Indikatorparameter:

Der Parameter Leitfähigkeit besitzt keinen Grenzwertcharakter sondern ist ein Orientierungswert. Für die Leitfähigkeit wurden Orientierungswerte festgelegt, die mit $2700 \mu\text{S/cm}$ für die Gießereirestsande der Kategorie I (GS-1) und $4200 \mu\text{S/cm}$ für die Gießereisande der Kategorie II (GS-2) etwas oberhalb der Maximalwerte der jeweiligen Datenbasis liegen.

Gießereirestsande der Qualitätsklasse 1 (GRS-1)

Da die Konzentrationsschwankungen in den Eluaten von Gießereirestsanden der pH-/DOC-Kategorie I sehr gering sind (die 50. Perzentile unterscheiden sich i.d.R. nicht deutlich von den 90. Perzentilen) bietet sich keine weitere Unterteilung in unterschiedliche Materialklassen an.

Die Materialwerte für GRS-1 werden grundsätzlich so abgeleitet, dass abgesehen von Ausreißern 100 % der Proben der verfügbaren Datengrundlage verwertet werden können. Der Maximalwert von DOC mit 22 mg/L und die pH-Werte von $9,1 - 11,4$, halten die festgelegten DOC- und pH-Grenzen der Kategorie I ein. Eine offene Verwertung von Gießereisanden der pH-/DOC-Kategorie I im ungünstigen Fall ($< 1 \text{ Meter GW-Abstand}$) ist nicht möglich, da keine der Proben den dort zulässigen ME für Arsen von $15 \mu\text{g/L}$ einhält. Der ME für Vanadium von $30 \mu\text{g/L}$ wird nur im 30. Perzentil erreicht.

Maximalwerte von Blei mit $24 \mu\text{g/L}$, Chrom, ges. mit $33 \mu\text{g/L}$, Kupfer mit $51 \mu\text{g/L}$, Nickel mit $14 \mu\text{g/L}$, Molybdän mit $43 \mu\text{g/L}$ (1 Ausreißer bis $270 \mu\text{g/L}$) und Zink mit $40 \mu\text{g/L}$ liegen deutlich unterhalb der ME der Bauweisen mit den höchsten Anforderungen im günstigen Fall „Sand“ (Einbauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder unter Plattenbelägen, lfd. Nr. 17, 19, 21, 23). Die Materialwerte der zuletzt genannten Stoffe wurden an die ME dieser Bauweisen angepasst (Blei: $92 \mu\text{g/L}$, Kupfer: $111 \mu\text{g/L}$, Molybdän: $53 \mu\text{g/L}$, Nickel: $30 \mu\text{g/L}$, Zink: $156 \mu\text{g/L}$). Da Chrom, ges. mit Maximalwerten von $33 \mu\text{g/L}$ auch den ME der nächst limitierenden Bauweisen: (11) ToB unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht für den ungünstigen Fall ($< 1 \text{ Meter GW-Abstand}$) von $114 \mu\text{g/L}$ einhält wird dieser ME als Materialwert für Chrom, ges festgelegt. Der Materialwert von Arsen wird an den ME der nächst limitierenden Bauweise „Hinterfüllung von Bauwerken und Damme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden bei Ausbildung einer Kapillarsperre“ (lfd. Nummern 25, 26) mit $63 \mu\text{g/L}$ orientiert. Der Materialwert von Vanadium wird an den ME der nächst limitierenden Bauweisen: (11) ToB unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht für den ungünstigen Fall ($< 1 \text{ Meter GW-Abstand}$) von $228 \mu\text{g/L}$ orientiert. Der Materialwert von Fluorid wurde an den Maximalwert mit 9 mg/L angepasst.

Die Stoffe Fluorid, Arsen und Vanadium limitieren die Einsatzmöglichkeiten der Gießereisande der pH-/DOC-Kategorie I in den offenen Bauweisen im günstigen Fall „Sand“ (Bauweisen unter Plattenbelägen und Pflasterdecken, lfd. Nr.: 16 – 24, vgl. AE 2 EBV).

Mit Fußnote 1) wird die Zulässigkeit von GS-1 in den Bauweisen unter Pflasterdecken (Ifd. Nr. 17, 19, 21 und 23) geregelt, indem die dort limitierenden ME von Arsen mit 15 µg/L, von Vanadium mit 65 µg/L und Fluorid mit 1,1 mg/L festgelegt werden. Letztere sind wiederum im 63. Perzentil (Arsen), im 82. (Vanadium) und für Fluorid durch 24 % der Proben der Kategorie I einhaltbar. Damit resultiert auch hier eine Limitierung der Verwertung von GRS-1 in den offenen Bauweisen unter Pflasterdecken durch Fluorid.

Mit Fußnote 2) wird die Zulässigkeit von GS-1 in den Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten und unter Plattenbelägen (Ifd. Nr. 18, 20, 22 und 24) geregelt, indem die dort limitierenden ME von Arsen mit 15 µg/L, von Vanadium mit 130 µg/L und von Fluorid mit 1,1 mg/L festgelegt werden. Letztere sind im 63. Perzentil (Arsen), im 98. (Vanadium, ein Ausreißer) und für Fluorid allerdings nur durch 24 % der Proben der Kategorie I einhaltbar. Damit resultiert hier eine Limitierung der Verwertung von GRS-1 in den offenen Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder unter Plattenbelägen insbesondere durch Fluorid.

Mit Fußnotenregelung 3) wird die Zulässigkeit von GRS-1 in den Bauweisen Hinterfüllung von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden geregelt (Ifd. Nr.: 25, 26). Für die Zulässigkeit bei Ausbildung einer Kapillarsperre (K) muss der Materialwerte von Fluorid auf den ME von 5 mg/L begrenzt werden, welcher im 88. Perzentil einhaltbar ist. Bei fehlender Kapillarsperre müssen die Materialwerte von Arsen, Vanadium und Fluorid an die ME von 15 µg/L, 85 µg/L und 1,1 mg/L angepasst werden, welche mit den oben genannten Perzentilen der offenen Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder unter Plattenbelägen (Fußnote 2) einhaltbar sind.

Mit Fußnotenregelung 4) wird die Zulässigkeit von GRS-1 in der Bauweise Schutzwälle unter kulturfähigem Boden geregelt (Ifd. Nr.: 27). Für die Zulässigkeit bei Ausbildung einer Kapillarsperre (M) muss der Materialwerte von Fluorid auf den ME von 1,8 mg/L, von Arsen auf 30 µg/L und von Vanadium auf 220 µg/L begrenzt werden, welche im Median (Fluorid), im 85. Perzentil (Arsen) und bezüglich Vanadium durch alle Proben der verfügbaren Datengrundlage einhaltbar sind. Bei fehlender Kapillarsperre müssen die Materialwerte von Arsen, Vanadium und Fluorid an die ME von 18 µg/L, 130 µg/L und 1,1 mg/L angepasst werden, welche wieder mit den oben genannten Perzentilen der offenen Bauweisen unter Pflasterdecken (Fußnote 1) einhaltbar sind.

Damit kann eine GRS-I Materialklasse definiert werden, deren Verwertung in allen geschlossenen und teildurchströmten Bauweisen sowohl im günstigen als auch im ungünstigen Fall zulässig ist. Die Zulässigkeit der Verwertung von GRS I in den offenen Bauweisen im moderat günstigen Fall (Sand) und günstigen Fall (Lehm, Schluff, Ton) ist insbesondere durch Fluorid limitiert.

Im Resultat ergeben sich für die günstige Qualitätsklasse GRS I der pH-/DOC-Kategorie I mit $\text{pH} > 9,0$ und $\text{DOC} \leq 30 \text{ mg/L}$ die in Tabelle 6.46 zusammengefassten Materialwerte.

Gießereirestsande der Qualitätsklasse 2 (GRS-2)

Maximalwerte in Säulenkurzeluaten der Proben der pH-/DOC-Kategorie II (vgl. Tabelle 6.44) von Arsen mit 50 µg/L, Blei mit 560 µg/L, Chrom, ges. mit 53 µg/L, Molybdän mit 330 µg/L und Vanadium mit 180 µg/L halten die ME der Bauweisen: (11) ToB unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht für den moderat günstigen Fall einer Sandunterlagerung ein. Die dort zulässigen ME für Arsen: 114 µg/L, Blei: 832 µg/L, Chrom, ges. 1254 µg/L, Molybdän 399 µg/L und Vanadium 593 µg/L liegen zum Teil deutlich oberhalb der Maximalwerte. Es wird empfohlen in diesen Fällen die Materialwerte auf $2 \times$ Maximalwert zu begrenzen. Die Maximalwerte von Fluorid mit 80 mg/L, Kupfer mit 4400 µg/L, Nickel mit 5120 µg/L und Zink mit 6800 µg/L liegen deutlich oberhalb der zulässigen ME. Für Fluorid werden die Fußnotenregelungen 1) und 2) zur Festlegung der limitierenden ME von 40 mg/L und 9 mg/L als Materialwerte vorgeschlagen. Letztere Werte werden durch 78 % der Proben eingehalten. Für Kupfer, Nickel und Zink wird empfohlen die 80. Perzentilwerte als Materialwerte festzulegen, die die ME der zuletzt genannten Bauweisen immer unterschreiten. Durch die

Begrenzung der Schwermetallwerte auf die Maximalwerte (aufgerundet oder Faktor 2) bei ME-Unterschreitung und auf die 80. Perzentile bei ME-Überschreitung besteht ein zusätzliches Ausschlusskriterium für harzgebundene Systeme mit extrem hohen Schwermetallausträgen (vgl. Tabelle 6.44, eine Probe würde aufgrund extrem hoher Kupfer- und Zinkwerte und eine weitere Probe aufgrund extrem hoher Nickel- und Zinkwerte oberhalb der Materialwerte von GS-2 (vgl. nachfolgendes Kapitel (6.5.1.3) deponiert werden).

Im Einzelnen resultieren folgende Materialwerte:

Fluorid: Maximalwert der Gesamtstatistik: 79 µg/L, ME: > Max, empfohlener Materialwert: 80 mg/L (Maximalwert aufgerundet)

Arsen: Maximalwert: 50 µg/L, ME: 114 µg/L, empfohlener Materialwert: 100 µg/L (2 × Maximalwert)

Blei: Maximalwert: 560 µg/L, ME: 832 µg/L, empfohlener Materialwert: 600 µg/L (Maximalwert aufgerundet)

Chrom, ges.: Maximalwert: 53 µg/L, ME: 1254 µg/L, empfohlener Materialwert: 120 µg/L (2 × Maximalwert)

Molybdän: Maximalwert: 330 µg/L, ME: 399 µg/L, empfohlener Materialwert: 350 µg/L (Maximalwert aufgerundet)

Vanadium: Maximalwert: 180 µg/L, ME: 595 µg/L, empfohlener Materialwert: 250 µg/L (Maximalwert aufgerundet)

Nickel: Maximalwert (1 Ausreißer): 5120 µg/L, ME: 228 µg/L, empfohlener Materialwert: 230 µg/L (= ME)

Kupfer: Maximalwert (1 Ausreißer): 4400 µg/L, ME: 1083 µg/L, empfohlener Materialwert: 150 µg/L (80. Perzentil)

Zink: Maximalwert (1 Ausreißer): 6800 µg/L, ME: 1231 µg/L, empfohlener Materialwert: 650 µg/L (80. Perzentil = ME)

Damit kann eine Qualitätsklasse GRS-2 definiert werden, deren Verwertung in allen geschlossenen und teildurchströmten Bauweisen im günstigen Fall einer Sand- und Lehmunterlagerung zulässig ist. Im Resultat ergeben sich für GRS die in Tabelle 6.46 zusammengefassten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.46: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Gießereirestsande in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt

Parameter	Dim	GRSton	GRS-1	GRS-2
pH	[]		> 9	> 6
Leitfähigkeit	[µS/cm]		2.700	4.200
DOC	[mg/L]		30	200
Fluorid	[mg/L]		9	80
Arsen	[µg/L]		65	100
Blei	[µg/L]		90	600
Chrom, ges.	[µg/L]		115	120
Kupfer	[µg/L]		110	150
Molybdän	[µg/L]		55	350
Nickel	[µg/L]		30	230
Vanadium	[µg/L]		230	250
Zink	[µg/L]		155	650

6.5.2 Gießerei-Kupolofenschlacke (GKOS)

Gemäß Begriffsbestimmung in AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011) ist Gießerei-Kupolofenschlacke

Gesteinsschmelze, die in Eisengießereien beim Schmelzen von Gusseisen in Kupolöfen anfällt

6.5.2.1 Datengrundlagen

Zur Bewertung der Gießereikupolofenschlacken nach dem Ableitungskonzept von Susset & Leuchs (2008a) für den AE 1 EBV führen die Autoren folgendes aus: „Nach den LAGA-Eckpunkten sind bei Gießereikupolofenschlacken Chrom, ges. und Nickel relevant. Dies wird auch durch die Datenzusammenstellung des Ökoinstitutes (Dehoust et al., 2007) bestätigt. Ob diese jedoch aus heutiger Sicht tatsächlich die beurteilungsrelevanten Stoffe darstellen, ist zu bezweifeln. Vermutlich sind eher Molybdän und Vanadium ausschlaggebend, für die allerdings auch keine 10:1-Daten vorliegen. Auf Grundlage der vorliegenden Daten kann der Einsatz in offenen Bauweisen nicht beurteilt werden. Wegen der relativ großen Ähnlichkeit der GKOS zu SWS wird vorgeschlagen, GKOS analog SWS zu untersuchen und zu bewerten“.

Zwischenzeitlich liegen neue Datengrundlagen des BDG für Gießereikupolofenschlacken vor (Tabelle 6.47). Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form hat der BDG auf Anfrage des BMU per Mail vom 13.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.47: Aktuelle Datengrundlage zur Bewertung der Materialqualitäten von Gießereikupolofenschlacken (GKOS) für AE 2 EBV (BMU, 2011).

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner (Organisation)	Anzahl der Einzelproben	Art und Herkunft	Untersuchungsprogramm	Quelle
Bundesverband der Deutschen Gießereindustrie (BDG), 08.05.2009, Frau Schwind, BDG Düsseldorf	7	Gießerei-Kupolofenschlacken, je eine Probe von 7 verschiedenen Betrieben (anonymisiert)	WF 2 – Säulenkurzeluate nach DIN 19528; WF 2 – Schütteluate nach "DIN 38414 (S4)"; WF 10 – Schütteluate nach DIN 38414 (S4)	Datentabelle dem BMU z. Vf. gestellt

6.5.2.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.48 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2 - Säulenkurzeluate für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind. Die neuen Messdatengrundlagen zeigen, dass die Stoffe Chlorid, Sulfat, Fluorid, Antimon, Arsen, Cadmium, Kupfer, Molybdän und Zink in WF 2 - Säulenkurzeluaten von GKOS nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind. Abweichend von den Befunden für Stahlwerksschlacken sind auch Fluorid und Molybdän in den WF 2 – Säulenkurzeluaten von GKOS nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant.

Tab. 6.48: Nicht relevante Parameter, Braunkohlenflugaschen: Vergleich der statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat für alle Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	Stat. Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Zink [µg/L]
GKOS-Daten aus Tabelle 6.49	n	7	7	7	7	7	7	7	7	6
	Min	< BG	3	0,2	< BG	< BG	< BG	4	< BG	4
	Max	57	176	0,7	< BG	< BG	1,0	14	< BG	93
	Mittel	16	46	0,4	< BG	< BG	< BG	9	< BG	24
	Median	2	40	0,4	< BG	< BG	< BG	9	< BG	8
	70. Perz.	21	44	0,6	< BG	< BG	< BG	10	< BG	16
	80. Perz.	28	44	0,7	< BG	< BG	< BG	11	< BG	24
	90. Perz.	41	97	0,7	< BG	< BG	0,4	12	< BG	59

Nachfolgende Tabelle 6.49 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2 - Säulenkurzeluate für regelungsrelevante Parameter zusammen. Fluorid und Molybdän sind im Gegensatz zu Stahlwerksschlacken nicht regelungsrelevant. Blei, Chrom, ges. und Nickel zeigen nur bei vereinzeltten Herkunftten von GKOS erhöhte Werte. Da für GKOS Einbaukonstellationen mit hohen Anforderungen an den Medienschutz zugelassen werden können, sind Blei, Chrom, ges. und Nickel regelungsrelevant (vgl. Kapitel 6.5.2.2). Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben damit keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.49: Relevante Parameter, Gießereikupolofenschlacken: Statistischen Kennwerte der Konzentrationen im WF 2 - Säuleneluat aller Untersuchungskampagnen (Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze, k.A. keine Analyse)

Datengrundlagen	statistische Kenngrößen	pH []	Lf [µS/cm]	Blei [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]
GKOS-Daten aus Tabelle 6.49	n	7	7	7	7	7	7
	Min	7,6	461,0	<BG	6	<BG	3
	Max	11,5	1310,0	24	120	180	32
	Mittel	10,6	841,9	12	27	27	17
	Median	11,1	739,0	11	13	<BG	18
	70. Perz.	11,3	997,6	16	13	<BG	21
	80. Perz.	11,4	1179,4	20	14	77	24
	90. Perz.	11,4	1268,0	23	56	77	28

6.5.2.3 Ableitung von Materialwerten

Insgesamt unterscheidet sich die Eluatqualität von Gießereikupolofenschlacken deutlich von Stahlwerkschlacken. Für den AE 2 EBV wurde deshalb im Ergebnis der Branchengespräche eine separate Regelung von GKOS im AE 2 EBV vorgeschlagen.

Materialwerte von GKOS

Die pH-Werte wurden an die Min.- und Max.-Werte des Gesamtdatensatzes mit 7 - 12 angepasst. Für die Leitfähigkeit wurde ein Wert von 1500 $\mu\text{S/cm}$ festgelegt. Dieser liegt etwas oberhalb des Maximalwertes von 1310 $\mu\text{S/cm}$. Mit dem festgelegten Wert können zukünftige Schwankungen in der Materialqualität berücksichtigt werden.

Die Einsatzmöglichkeiten von GKOS in den offenen Bauweisen über Sand (moderat günstiger Fall) sind durch die ME der Bauweisen unter ungebundener Deckschicht oder unter Plattenbelägen limitiert (Ifd. Nr.: 17, 19, 21, 23) mit vergleichsweise niedrigen ME (infolge der erhöhten Durchströmungsraten). Bezogen auf die Einzelkonzentrationen halten alle Proben abgesehen von einem Ausreißer die ME der zuletzt genannten Bauweisen bereits für den moderat günstigen Fall Sand ein. Im Einzelnen sind der ME von Blei mit 92 $\mu\text{g/L}$, Chrom, ges. mit 137 $\mu\text{g/L}$ und Vanadium mit 65 $\mu\text{g/L}$ durch alle GKOS-Proben der verfügbaren Datengrundlage einhaltbar. Der ME von Nickel mit 30 $\mu\text{g/L}$ wird von einer Probe deutlich überschritten (180 $\mu\text{g/L}$), alle restlichen Proben weisen keine relevanten Nickelausträge auf. Nach Rücksprache mit dem BDG handelt es sich hier vermutlich um einen Ausreißer, der hier nicht weiter bewertet wird. Es wird deshalb empfohlen den Materialwert von Nickel an diesen ME von 30 $\mu\text{g/L}$ zu orientieren. Den genannten ME von Blei, Chrom, ges. und Vanadium stehen Maximalwerte von 24 $\mu\text{g/L}$, 129 $\mu\text{g/L}$ bzw. 32 $\mu\text{g/L}$ gegenüber. Um zukünftige Qualitätsschwankungen von GKOS auffangen zu können, wird empfohlen auch für die zuletzt genannten Stoffe die etwas höheren ME als Materialwerte einzuführen.

Um GKOS auch in den ungünstigen Fällen in den Bauweisen unter Pflasterdecken und Plattenbelägen ohne Rückhalteschicht und bei GW-Abstand zwischen 0,1 und 1,0 m einsetzen zu können wird Fußnotenregelung 1) zur Festlegung der dort limitierenden ME als Materialwerte vorgeschlagen. Für die Zulassung der genannten Bauweisen im ungünstigen Fall ist die Einhaltung der GFS bzw. der Bezugsmaßstäbe von Blei, Chrom, ges., Nickel und Vanadium unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 notwendig. Der ME von Blei mit 35 $\mu\text{g/L}$ ist durch alle Proben, von Chrom, ges. mit 15 $\mu\text{g/L}$ im 83. Perzentil, von Nickel mit 30 $\mu\text{g/L}$ im 85. Perzentil und von Vanadium mit 30 $\mu\text{g/L}$ im 95. Perzentil einhaltbar.

Tabelle 6.50 zeigt die vorgeschlagenen Materialwerte für AE 2 EBV und Änderungen gegenüber AE 1 EBV. Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.50: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für die in AE 2 EBV (MantelV, 2011) neu aufgenommenen Gießereikupolofenschlacken

Parameter	Dimension	GKOS
pH		7 - 12
Leitfähigkeit	[$\mu\text{S/cm}$]	1.500
Blei	[$\mu\text{g/L}$]	90
Chrom ges.	[$\mu\text{g/L}$]	135
Nickel	[$\mu\text{g/L}$]	30
Vanadium	[$\mu\text{g/L}$]	65

6.6 Kupferhüttenmaterial (CUM)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Kupferhüttenmaterial *Schlacke, die bei der Herstellung von Kupfer als Stückschlacke oder als Schlackegranulat anfällt.*

6.6.1 Datengrundlagen

Die Aurubis AG hat dem BMU frühzeitig den grundsätzlichen Bedarf angezeigt, die Aufnahme von Produkten aus der Kupferverhüttung in die Ersatzbaustoffverordnung zu prüfen. Das BMU hat im Rahmen von Branchengesprächen und Anhörungsverfahren darauf hingewiesen, dass in den AE 2 EBV auch weitere Materialien, die im ersten Arbeitsentwurf noch nicht geregelt sind, aufgenommen werden können. Hierfür sind laut BMU repräsentative Datengrundlagen mit dem geplanten Referenzverfahren DIN 19528 (2009) zu erheben und eine Evaluierung nach dem UBA-Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a) unter Berücksichtigung der Weiterentwicklungen des ZAG erforderlich.

Die Aurubis AG hat daraufhin Elutionsdaten mit Säulenversuchen nach DIN 19528 (2009) und mit DIN 19529 (2009) erhoben und zur Verfügung gestellt. In allen Eluaten wurde folgender Mindestparameterkatalog analysiert: pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Fluorid, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Kupfer, Molybdän, Nickel, Vanadium und Zink.

Auf Basis dieser Datengrundlagen aus Säulenversuchen nach DIN 19528 wurden Materialwerte für die regelmäßige Güteüberwachung und eine Klassifizierung verschiedener Qualitätsklassen von Kupferhüttenmaterial vorgenommen.

Alle Arbeiten hierzu erfolgten im Rahmen eines Gutachtens für die Aurubis AG: „Evaluierung von Kupferhütten-schlacken (Kupferhüttengranulat, Kupferhüttenstückschlacken sowie deren Gemische) zur Abschätzung der Verwertbarkeit nach UBA-Ableitungssystematik“ (unveröffentlichtes Gutachten, Susset, 2008), das dem BMU Ende 2008 vorgelegt wurde. Darauf basierend wurde ein Branchenpapier als Bewertungsgrundlage für das Branchengespräch vom 06.07.2009 erstellt. In Abstimmung mit dem Auftraggeber werden im Folgenden die wesentlichen Ergebnisse vorgestellt, sofern diese für eine transparente Nachvollziehbarkeit der Bewertungen von CUM in der EBV notwendig sind. Aktuell führt die Aurubis AG weitere Messungen durch, die im Laufe dieses Ergänzungsvorhabens noch in den Schlussbericht integriert werden können.

Tabelle 6.51 gibt einen Überblick zu den Datengrundlagen. Der Veröffentlichung industrieeigener Daten in nachfolgender Form hat die Aurubis AG gegenüber dem BMU per Mail vom 16.01.2011 zugestimmt.

Tab. 6.51: Datensatz zu Kupferhütten-schlacken- und granulaten und deren Gemische verschiedener Herkünfte zur Bewertung der Qualitäten in AE2 EBV. Abkürzungen: HS: Hütten-sand.

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner, Studie/durchführende Institution	Anzahl der Einzelproben, Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
Aurubis AG, 14.04.2008, Gutachterbüro Susset	13	Kupferhüttengranulate, Kupferhüttenstückschlacken sowie deren Gemische verschiedener Herkünfte (anonymisiert)	Ausführliche Säulenversuche und WF 2 – Säulenkurzeluate nach DIN E 19528; WF 2 – Schütteluate nach DIN E 19529; WF 10 – Schütteltest nach TL Gestein-STB	Gutachten i. A. der Peute GmbH, Gutachterbüro Dr. Susset, 14.04.2008

6.6.1.1 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Kupferhüttenmaterialien, nicht regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.52 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit Kupferhüttenmaterialien für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Nach den neuen Untersuchungsergebnissen sind die Stoffe Chlorid, Sulfat, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Nickel, Vanadium und Zink im Eluat von CUM nicht bewertungs- und regelungsrelevant. Bei dieser Auswertung wird zur Anonymisierung nicht nach Einzelherkünften unterschieden. Zudem wird nicht nach Schlackenarten (Schlacken, Granulate, Gemische) unterscheiden, da die Nichtrelevanz nach aktueller Datenlage für alle genannten Schlackentypen zutrifft.

Tab. 6.52: Nicht regelungsrelevante Parameter, Kupferhüttenmaterialien alle Herkünfte und Schlackenarten zusammengefasst: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Chrom, ges. [µg/L]
CUM, verschiedene anonymisierte Herkünfte und Körnungen Tab 6.53	n	11	13	11	13	13	13
	Min	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
	Max	4	80	1,3	< BG	< BG	< BG
	Mittel	2	21	< BG	< BG	< BG	< BG
	Median	2	8	< BG	< BG	< BG	< BG
	70. Perzentil	2	10	0,5	< BG	< BG	< BG
	80. Perzentil	3	43	1,2	< BG	< BG	< BG
	90. Perzentil	3	70	1,2	< BG	< BG	< BG

Fortsetzung Tab. 6.52:

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
CUM, verschiedene anonymisierte Herkünfte und Körnungen Tab 6.53	n	13	13	13
	Min	< BG	< BG	< BG
	Max	< BG	< BG	14
	Mittel	< BG	< BG	< BG
	Median	< BG	< BG	< BG
	70. Perzentil	< BG	< BG	10
	80. Perzentil	< BG	< BG	10
	90. Perzentil	< BG	< BG	12

Kupferhüttenmaterialien, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.55 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit CUM für regelungsrelevante Parameter zusammen. Die Ergebnisse zeigen eine Regelungsrelevanz von Antimon, Arsen, Kupfer und Molybdän im WF 2-Säulenkurzeluat von CUM. Die Konzentrationen von Kupfer liegen i.d.R. unterhalb der Materialwerte von CUM-1 und sind damit i.d.R. nicht verwertungslimitierend. Als besonders verwertungslimitierend in der günstigsten Qualitätsklasse CUM-1 stellt sich Arsen, Antimon und Molybdän heraus. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben damit keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.53: Regelungsrelevante Parameter, Kupferhüttenmaterialien, alle Herkünfte zusammengefasst: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluat nach DIN 19528. Abkürzungen: kA: keine Analyse, BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähigkeit [µS/cm]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]
CUM, verschiedene anonymisierte Herkünfte und Körnungen	n	13	13	13	13	13	13
	Min	5,8	25	< BG	< BG	< BG	< BG
	Max	9,9	226	30	30	55	160
	Mittel	8,5	96	5	14	9	71
	Median	9,3	62	< BG	20	6	69
	70. Perzentil	9,3	101	3	21	9	95
	80. Perzentil	9,4	163	7	25	10	129
	90. Perzentil	9,5	208	12	28	10	149

6.6.1.2 Ableitung von Materialwerten

Nach Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a) ist aufgrund der durch die verfügbare Datenbasis gegebenen statistischen Verteilung der Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten von Kupferhüttenmaterialien grundsätzlich eine Klassenunterteilung in eine Materialklasse sehr guter Qualität (CUM 1), mittlerer Qualität (CUM 2) und in eine vergleichsweise ungünstige Qualität (CUM 3) möglich. Diese Unterteilung wurde im Rahmen des Branchengesprächs durch den Ordnungsgeber empfohlen.

Indikatorparameter pH und Lf

Die Parameter pH-Wert und Leitfähigkeit besitzen keinen Grenzwertcharakter sondern sind Orientierungswerte. Die pH-Werte wurden an die Min.- und Max.-Werte des Gesamtdatensatzes mit 6 - 10 angepasst. Für die Leitfähigkeit wurde der Maximalwert von 250 µS/cm herangezogen.

Materialwerte der Qualitätsklasse 1 (CUM-1)

CUM eluieren die Stoffe Antimon, Arsen und Molybdän, die sowohl im moderat günstigen Fall „Sand“ als auch im günstigen Fall „Lehm/Schluff/Ton“ nur ein geringes Rückhaltpotential aufweisen (vgl. Kapitel 4 und 5 Teil II dieser Bericht). Die genannten Stoffe müssen in den offenen Bauweisen ohne hydraulisch bedingte Verdünnungsprozesse deshalb sowohl im

ungünstigen als auch im günstigen Fall die GFS-Werte oder die Bezugsmaßstäbe multipliziert mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 einhalten.

Für CUM-1 wurden die Materialwerte von Antimon, Arsen und Molybdän an den ME der offenen Bauweisen orientiert. Die ME von Antimon: 8 µg/L (GFS * 1,5), Arsen: 15 µg/L (GFS * 1,5) und Molybdän: 53 µg/L (GFS * 1,5) werden bezogen auf die Einzelkonzentrationen der Gesamtdatenbasis im 84. bzw. 45. und im 46. Perzentil eingehalten. Susset (2008) zeigt, dass insbesondere die Kupferhüttengranulate und die Gemische mit Kupferhüttenschlacken diese ME einhalten. Da Kupfer sowohl in der Bodenkategorie Sand als auch Lehm/Schluff/Ton zurückgehalten wird sind höhere ME von 111 µg/L (niedrigster ME in offenen Bauweisen über Sand, Bauweisen unter ungebundener Deckschicht oder unter Plattenbelägen) zulässig. Der Maximalwert von Kupfer der Gesamtdatenbasis liegt bei 53 µg/L und wird als Materialwert vorgeschlagen.

Der offene Einbau von CUM-1 im ungünstigen Fall wird bis auf die Bauweisen unter kulturfähigem Boden ((Ifd. Nummer 25): Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden (Kapillarsperre), (26) Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden (Kapillarsperre), (27) Schutzwälle im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden (Kapillarsperre)) mit hydraulischen Verdünnungsprozessen kritisch gesehen. Die ME für den ungünstigen Fall sind im Säulenkurzeluat zwar einhaltbar. Da das Versauerungspotential der Kupferhüttenschlackenmaterialien und die damit verbundene potentielle Schwermetallfreisetzung nach dem derzeitigen Erkenntnisstand nicht abschließend bewertet werden kann, wird die Verwertung von CUM-1 für den ungünstigen Fall nicht empfohlen (vgl. Susset, 2008).

Im Resultat ergeben sich für CUM-1 die in Tabelle 6.54 zusammengefassten Materialwerte.

Materialwerte der Qualitätsklasse 2 (CUM-2)

Die Materialwerte für Materialklasse 2 (CUM-2) orientieren sich grundsätzlich an den 50. Perzentilwerten der Konzentrationsverteilungen. Die 50. Perzentile von Molybdän (75 µg/L) und Arsen (20 µg/L) liegen unterhalb der limitierenden ME der Bauweise (27) Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre für den günstigen Fall Sand von 89 bzw. 31 µg/L. Diese ME werden als Materialwerte für Molybdän und Arsen vorgeschlagen.

Für Antimon und Kupfer ergeben sich in der betreffenden Einbauweise aus der medien-schutzbezogenen Modellierung zulässige Einbauwerte (ME) von 15 µg/L bzw. 375 µg/L. Es wird empfohlen die Materialwerte von Antimon an den genannten ME anzupassen. Der ME von Kupfer liegt deutlich oberhalb der maximal vorkommenden Konzentrationen (53 µg/L). Um zukünftige Qualitätsschwankungen auffangen zu können wird ein Materialwert für Kupfer von 75 µg/L vorgeschlagen.

Um den Einbau von CUM-2 in der genannten Bauweise auch im ungünstigen Fall zu regeln wird die Festsetzung des dort limitierenden ME für Kupfer von 51 µg/L, für Antimon von 13 µg/L und Arsen von 26 µg/L in Fußnote 1 notwendig. Der ME von 51 µg/L kann im 98. Perzentil bezogen auf die Einzelkonzentrationen der Gesamtdatenbasis eingehalten werden.

Im Resultat ergeben sich für CUM-2 die in Tabelle 6.54 zusammengefassten Materialwerte.

Materialwerte der Qualitätsklasse 3 (CUM-3)

Die Festsetzung der Materialwerte für die Materialklasse 3 der Kupferhüttenmaterialien orientiert sich grundsätzlich an den Maximalwerten der statistischen Auswertung. Im Laufe des Anhörungsverfahrens zum ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV hat sich herausgestellt, dass wichtige Einsatzbereiche von MEB in den teildurchströmten Einbauweisen unter gebundener Deckschicht mit seitlicher Durchströmung des Bankett – und Böschungsbereichs liegt. Hierbei handelt es sich um die Bauweisen: (11) ToB unter gebundener Deckschicht, (12) Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und (13) Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht, die neu modelliert wurden (vgl. Kapitel 3). Die ME der rege-

lungsrelevanten Stoffe Antimon, Arsen, Kupfer und Molybdän in diesen Einbauweisen für den ungünstigen Fall liegen mit 57 µg/L, 114 µg/L, 228 µg/L und 399 µg/L deutlich oberhalb der bezogen auf die vorliegende Gesamtdatenbasis maximal gefundenen *WF 2* – Eluatkonzentrationen der Kupferhüttenmaterialien (vgl. Tabelle 6.54). Es wird empfohlen diese ME als Materialwerte für CUM-3 festzulegen, um zukünftige Qualitätsschwankungen von Kupferhüttenmaterialien auffangen zu können.

Im Resultat ergeben sich für CUM die in Tabelle 6.54 zusammengefassten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.54: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für neu zu regelnde Kupferhüttenmaterialien in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011).

Parameter	Dimension	CUM-1	CUM-2	CUM-3
pH		6-10	6-10	6-10
Leitfähigkeit	[µS/cm]	250	250	250
Antimon	[µg/L]	10	15	55
Arsen	[µg/L]	15	30	115
Kupfer	[µg/L]	55	75	230
Molybdän	[µg/L]	55	90	400

6.7 Schlacken aus der Eisenverhüttung

6.7.1 Stahlwerksschlacken (SWS)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) sind Stahlwerksschlacken

bei der Verarbeitung von Roheisen, Eisenschwamm und aufbereitetem Stahlschrott zu Stahl im Linz – Donawitz - Konverter (LD) oder im Elektroofen (EO) anfallende Schlacken; dazu gehören nicht Schlacken aus der Edelstahlherstellung sowie die im früher verwendeten Siemens-Martin-Verfahren angefallenen Schlacken.

6.7.1.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch das FEhS- Institut für Baustoff-Forschung (FEhS-Institut) und verschiedene Stahlproduzenten weitere Untersuchungen zu den Qualitäten von Stahlwerksschlacken durchgeführt.

Im Rahmen dieser Auswertungen wurden alle Datensätze zusammengeführt. Im Folgenden werden nur Gesamtdatensätze unterschieden nach Schlackenarten, nicht aber nach Herkünften und damit zur Wahrung möglicher Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse anonymisiert dargestellt. Zusätzlich hat das FEhS-Institut separiert nach einzelnen Anlagenbetreibern (anonymisiert) und verschiedenen Schlackenarten eine Mengenzuordnung (jährliches Aufkommen in 1000 Tonnen) zur Verfügung gestellt. Für lückenlose Datenreihen wurde hierdurch eine Berechnung gewichtet gemittelter Perzentilwerte einhaltbarer Konzentrationen ermöglicht. Es ist allerdings zu beachten, dass die Repräsentativität der herkunftsbezogenen Einzeldatensätze aufgrund der unterschiedlichen Probenanzahlen (teilweise nur 1 bis 2 Proben bis zu maximal 44 Proben pro Herkunft) sehr unterschiedlich sind.

Das FEhS-Institut und andere Dateneigentümer haben gegenüber dem BMU einer Auswertung der Daten für den AE 2 EBV (BMU, 2011) und einer Veröffentlichung im Rahmen dieses Fachberichts in nachfolgender Form mit Mail vom 25.01.2011 zugestimmt.

Tabelle 6.55 gibt einen Überblick zu den Datengrundlagen (Stand Branchenpapier vom 15.05.2009 ergänzt mit weiteren Daten aus den Jahren 2008-2010).

Tab. 6.55: Aktualisierter und zusammengeführter Datensatz verschiedener Stahlwerksschlackenarten zur Bewertung der Qualitäten in AE 2 EBV (BMU, 2011). Abkürzungen: EOS: Elektroofenschlacke, LDS: Linz-Donawitz-Schlacke. In Klammern: Proben aus der Verarbeitung von höherlegierten Stählen

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner, Studie/durchführende Institution	Anzahl der Einzelproben, Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
FEhS + Stahlwerke; 13.03.2009 sowie 18.11.2010, Sonderuntersuchungsprogramm der FEhS für verschiedene Werke im Rahmen der EBV und eigene z. T. neue Untersuchungen von Stahlwerken	EOS n = 57 (+2)	verschiedene Herkünfte Körnungen unbekannt	WF 2- Säulenkurzeluat nach DIN 19528 WF 2-Schütteleluat nach DIN 19529	Exceltabelle, bereitgestellt durch FEhS- Institut am 12.03.09 zu- sammengeführt mit Exceltabelle, bereitgestellt durch Einzelwer- ke am 19.08.10 und 18.11.2010
FEhS-Institut; 13.03.2009; Herr Motz, Sonderuntersuchungsprogramm für verschiedene Werke im Rahmen der EBV	LDS n = 15 (+3)	anonymisierte verschiedene Herkünfte Körnungen unbekannt	WF 2- Säulenkurzeluat nach DIN 19528 WF 2-Schütteleluat nach DIN 19529	Exceltabelle, bereitgestellt durch FEhS- Institut am 12.03.09

6.7.1.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter Stahlwerksschlacken, nicht regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.56 fasst die statistischen Kennwerte der Analysenergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit Stahlwerksschlacken für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Bei dieser Auswertung wird zur Anonymisierung nicht nach Einzelherkünften unterschieden. Zudem wird hier nicht nach Schlackenarten (EOS, LDS) unterschieden, da die Nichtrelevanz nach aktueller Datenlage für alle genannten Schlackentypen zutrifft. Die Anzahl (n) der Analyseergebnisse schwankt und entspricht nicht immer der Gesamtprobenanzahl in Tabelle 6.55, weil nicht in jedem Probensatz alle Stoffe gemessen wurden.

Tab. 6.56: Nicht regelungsrelevante Parameter, Stahlwerksschlacken alle Herkünfte und Schlackenarten zusammengefasst: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluat nach DIN 19528 (Ausnahme bei einer Herkunft lagen ausschließlich WF 2-Schütteltests nach DIN 19529 vor). Herkunft mit Schlacken aus der Verarbeitung von höherlegierten Stählen nicht integriert. Abkürzungen: kA: keine Analyse, BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Sulfat [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]
SWS, verschiedene anonymisierte Herkünfte vgl. Tab. 6.55	n	22	22	29	29	29	29
	Min	<BG	3,0	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	12,0	46,0	9	6	28	<BG
	Mittel	4,0	14,3	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	4,0	6,5	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	5,0	15,7	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	5,8	28,2	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	7,9	36,8	<BG	<BG	<BG	<BG

Fortsetzung Tab. 6.56:

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
SWS, verschiedene anonymisierte Herkünfte vgl. Tab. 6.55	n	29	29	29
	Min	<BG	<BG	<BG
	Max	6	5,0	58
	Mittel	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	<BG	<BG	<BG

Elektroofenschlacken, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.57 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit EOS für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Folgende statistischen Kennwerte wurden bezogen auf Jahrestonnagen der Produzenten gewichtet gemittelt: Median- und Mittelwert sowie die 70., 80. und 90. Perzentile. Die Ergebnisse bestätigen wie nach Susset & Leuchs (2008a) die Bewertungs- und Regelungsrelevanz von Fluorid, Molybdän und Vanadium im WF 2-Säulenkurzeluat von EOS. Die Konzentrationen von Chrom, ges. liegen i.d.R. im Bereich der GFS-Werte und unterhalb der Materialwerte von SWS-1 und sind damit i.d.R. nicht verwertungslimitierend. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.57: Regelungsrelevante Parameter, Elektroofenschlacken, alle Herkünfte zusammengefasst: Nach Jahrestonnagen der Einzelherkünfte gewichtet gemittelte statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluat nach DIN 19528 (Ausnahme bei einer Herkunft lagen ausschließlich WF 2-Schütteltests nach DIN 19529 vor). Herkunft mit Schlacken aus der Verarbeitung von höherlegierten Stählen nicht integriert. Abkürzungen: KA: keine Analyse, BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Fluorid [mg/L]	Chrom, ges. [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Molybdän [$\mu\text{g}/\text{L}$]	Vanadium [$\mu\text{g}/\text{L}$]
EOS, alle ohne EOS aus höherlegierten Stählen	n	54	54	15	57	57	57
	Min	9,6	165	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	11,7	1043	1,4	117	370	293
	Mittel	10,7	412	0,3	18	73	167
	Median	10,7	404	<BG	18	74	166
	70. Perzentil	10,8	422	<BG	20	84	175
	80. Perzentil	10,9	438	1,1	21	90	180
	90. Perzentil	10,9	461	1,2	22	97	200

LD-Schlacken

Nachfolgende Tabelle 6.58 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit LDS für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht regelungsrelevant sind. Folgende statistischen Kennwerte wurden bezogen auf Jahrestonnagen der Produzenten gewichtet gemittelt: Median- und Mittelwert sowie die 70., 80. und 90. Perzentile. Die Ergebnisse bestätigen die Bewertungsrelevanz von Molybdän und Vanadium im WF 2-Eluat. Konzentrationen von Vanadium im Eluat sind i.d.R. nur bei LDS aus der Verarbeitung von höherlegierten Stählen regelungsrelevant, da mit Werten oberhalb der Materialwerte von SWS-1 verwertungslimitierend. Molybdän und Chrom, ges. – Konzentrationen liegen i.d.R. im Bereich der GFS-Werte und bei einzelnen Herkünften knapp unterhalb der Materialwerte von SWS-1 und sind für die EBV nicht verwertungslimitierend. Fluorid liegt bei allen Herkünften unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.58: Relevante Parameter, LD-Schlacken, alle Herkünfte zusammengefasst: Nach Jahrestonagen der Einzelherkünfte gewichtet gemittelte statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528. Herkunft G: Schlacken aus der Verarbeitung von höherlegierten Stählen. Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähigkeit [$\mu\text{S/cm}$]	Fluorid [mg/L]	Chrom, ges. [$\mu\text{g/L}$]	Molybdän [$\mu\text{g/L}$]	Vanadium [$\mu\text{g/L}$]
LDS	n	18	18	18	15	18	18
	Min	11,5	1023	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	13,0	9500	<BG	39	53	232
	Mittel	12,5	7904	<BG	9	13	18
	Median	12,4	8265	<BG	4	14	16
	70. Perzentil	12,5	8338	<BG	15	15	19
	80. Perzentil	12,5	8396	<BG	20	15	21
	90. Perzentil	12,5	8476	<BG	23	15	23

6.7.1.3 Ableitung von Materialwerten

Nach Susset & Leuchs (2008a) wurden drei verschiedene Materialqualitäten definiert und bewertet. Um sicherzustellen, dass Stahlwerksschlacken mit unproblematischen Molybdän- und Vanadiumkonzentrationen in den umweltoffen Einbauweisen auf Sand verwertet werden können, wurde eine Qualität SWS-1 mit entsprechend niedrigen Materialwerten definiert (diese Materialwerte entsprechen den ME der offenen Bauweisen unter Plattenbelägen oder ungebundenen Deckschichten über Sand mit den höchsten Anforderungen). Die Materialwerte für SWS-2 und -3 wurden hilfsweise auf der Basis der statistischen Kennwerte des FEhS-Institut (Mittelwerte und Maximalwerte) und der aus der LeachXS-Datenbank abgeleiteten Quellstärkenfunktionen in die beurteilungsrelevanten Säuleneluatkonzentrationen bei WF 2 umgerechnet. Die Datengrundlagen hierfür waren äußerst lückenhaft.

Durch die neuen verbesserten Datengrundlagen, die das FEhS-Institut und verschiedene Produzenten dem BMU für diese Auswertungen freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben, können nun statistisch besser abgesicherte Materialwerte abgeleitet werden.

Die im Folgenden genannten Perzentilwerte der einhaltbaren Eluatkonzentrationen beziehen sich jeweils auf den Gesamtdatensatz ohne Unterscheidung von Schlackentypen und ohne herkunftsspezifische Wichtung. Die Perzentile einhaltbarer Konzentrationen liegen bei den LDS infolge der geringeren Stoffausträge deutlich höher, bei EOS einiger Herkünfte, insbesondere bei EOS aus der Verarbeitung höherlegierter Stähle aufgrund der höheren Austräge deutlich darunter. Die einhaltbaren Perzentile können herkunftsspezifisch stark schwanken. Der Branche liegen entsprechende Gutachten mit herkunftsspezifischen Bewertungen vor.

Die neuen Erkenntnisse bestätigen grundsätzlich die Möglichkeit einer Unterteilung in drei Qualitätsklassen von SWS:

Materialwerte SWS-1:

Die Einsatzmöglichkeiten von SWS in den offenen Bauweisen über Sand (moderat günstiger Fall) sind durch die ME für die Bauweisen unter Deckschichten ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen limitiert (Bauweisen lfd. Nr.: 16, 17, 19, 21, 23 mit vergleichsweise niedrigen ME infolge der erhöhten Durchströmungsraten, vgl. Kapitel 3.2, Teil II dieser Bericht). Bezogen auf die Einzelkonzentrationen halten mindestens die 35. Perzentile der Eluatkonzentrationen, die ME der zuletzt genannten Bauweisen bereits für den moderat günstigen Fall „Sand“ ein. Im Einzelnen sind der ME von Molybdän mit 53 $\mu\text{g/L}$ im 62. Perzentil und der ME

von Vanadium mit 65 µg/L im 35. Perzentil einhaltbar. Der ME von Chrom, ges. mit 137 µg/L wird durch alle verfügbaren Proben eingehalten.

Mit Schreiben vom 15.12.2010 (per Mail) hat das FEhS-Institut das BMU gebeten, aufgrund der durch den Projektnehmer dargestellten Option einer Umstellung der Materialwerte von SWS-1 durch Orientierung der Materialwerte an die ME der Pflasterbauweisen (Lfd. Nr.: 18, 20, 22, 24) folgende Änderung umzusetzen: Die Bauweisen unter Plattenbelägen sind derzeit einerseits technisch und „marktpolitisch“ nicht ausschlaggebend, andererseits soll im Sinne zukünftiger Innovationen dieser Verwertungsweg aber ermöglicht werden. Deshalb wurden die Materialwerte zwar an die nächst höheren ME der Pflasterbauweisen (Lfd. Nr.: 18, 20, 22, 24) angepasst aber mit Fußnotenregelung 4 die Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten und unter Plattenbelägen geregelt, indem hier die bisherigen Materialwerte für Plattenbeläge festgeschrieben wurden.

Im Resultat ergibt sich für SWS-1 ein Materialwert für Vanadium von 130 µg/L entsprechend dem limitierenden ME in der Pflasterbauweise, der im 61. Perzentil eingehalten werden kann. Der ME von Molybdän mit 53 µg/L bleibt konstant, da dieser unabhängig von der Rückhaltung ist (vgl. Kapitel 4 und 5 Teil II dieser Bericht). Um die Zulässigkeit der Verwertung von SWS-1 auch in den Bauweisen 11 – 13 (ToB untergeb. Deckschichten) für den ungünstigen Fall ohne zusätzliche Fußnotenregelung zu regeln muss der Materialwert von Chrom, ges. an den dort limitierenden ME von 115 µg/L angepasst werden (durch alle Proben einhaltbar). Um SWS-1 auch in den ungünstigen Fällen in den Bauweisen unter Pflasterdecken und Plattenbelägen ohne Rückhalteschicht und bei GW-Abstand zwischen 0,1 und 1,0 m einsetzen zu können, ist die Einhaltung der GFS bzw. der Bezugsmaßstäbe von Chrom, ges., Molybdän und Vanadium unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 notwendig. Der ME von Chrom, ges. mit 15 µg/L ist im 82. Perzentil, von Vanadium mit 30 µg/L im 23. Perzentil einhaltbar (der ME vom Molybdän ist in allen Fällen ungünstig/günstig mit $1,5 \times \text{GFS} = 53 \text{ µg/L}$ gleich und wie oben genannt im 62. Perzentil einhaltbar). Um die Zulässigkeit der Verwertung von SWS-1 auch im ungünstigen Fall zu regeln wird deshalb die Fußnotenregelung 1) bis 3) für den dort limitierenden Stoff Chrom, ges. und Vanadium mit ME = 15 µg/L bzw. 30 µg/L vorgeschlagen. Der Materialwert von Fluorid hält statistisch mit dem 50. Perzentilwert den Wert von 0,1 mg/L ein und wird entsprechend der GFS von $0,75 \text{ mg/L} \times 1,5 = 1,1 \text{ mg/L}$ festgelegt.

Laut DB sind SWS für die Bahnbauweisen B5 und B6 (Planumsschutzschichten relevant). SWS-1 ist hier im günstigen Fall zulässig, da die Materialwerte die dort gültigen ME deutlich unterschreiten (vgl. Tabellen mit ME in Kapitel 5.2). Mit Fußnoten 1) und 2) kann SWS-1 in den Bahnbauweisen auch im ungünstigen Fall zugelassen werden, indem die dort limitierenden ME von Chrom, ges. und Vanadium festgelegt werden.

Im Resultat ergeben sich für SWS-1 die in Tabelle 6.59 zusammengefassten Materialwerte.

Materialwerte SWS-2:

Die Materialwerte für SWS-2 wurden an den ME der Einbauweisen ToB unter gebundener Deckschicht, Bodenverbesserung unter gebundener Schicht, Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht (lfd. Nr.: 11-13) und der Bauweisen Hinterfüllungen und Dämme im Böschungsbereich (25, 26), sowie Schutzwälle mit Kapillarsperre (27) für den ungünstigen Fall bei Sandunterlagerung mit ME von Vanadium = 355 µg/L und mit ME von Molybdän = 220 µg/L angepasst. Damit bleiben dieselben Einsatzgebiete zulässig wie nach AE 1 EBV. Die ME sind in den Eluaten, bezogen auf alle Datensätze und nicht gewichtet, bezüglich Vanadium durch alle Proben einhaltbar bzw. durch Molybdän im 93. Perzentil (Mo, alle Proben außer aus der Verarbeitung von höherlegierten Stählen) einhaltbar. Die in den genannten Bauweisen zulässigen ME für Chrom, ges. mit 177 µg/L bzw. 743 µg/L bei Ausbildung einer Kapillarsperre liegen deutlich oberhalb der in den Eluaten maximal auftretenden Konzentrationen von Chrom, ges. Der im Rahmen einer regelmäßigen Güteüberwachung zu überprüfende Materialwert von Chrom, ges wird an den ME der Bauweise 25,26

ohne Kapillarsperre mit 177 µg/L angepasst. Für den Materialwert von Fluorid wird ein Wert von 2 mg/L vorgeschlagen, der nur durch eine Probe überschritten wird.

Um die Zulässigkeit der Verwertung von SWS-2 auch in den Bauweisen 11- 13 für den ungünstigen Fall zu regeln muss die Fußnote 1) mit einem Materialwert von Vanadium von 230 µg/L und von Chrom, ges. von 115 µg/L entsprechend der dort limitierenden ME eingeführt werden. Um die Bauweisen unter Pflaster und in Schutzwällen ohne Ausbildung einer Kapillarsperre für den günstigen Fall (Sand) zu regeln, werden die Fußnotenregelungen 2) und 4) für die dort limitierenden Stoffe Fluorid, Molybdän und Vanadium mit ME = 1,1 mg/L bzw. 53 µg/L bzw. 130 µg/L vorgeschlagen. Mit Fußnotenregelung 3) wird die Bauweise 25 und 26 ohne Kapillarsperre im günstigen Fall Schluff/Lehm/Ton geregelt.

Laut DB sind SWS für die Bahnbauweisen B5 und B6 (Planumsschutzschichten relevant). SWS-2 ist hier im günstigen Fall Lehm/Schluff/Ton zulässig, da die Materialwerte die dort gültigen ME deutlich unterschreiten (vgl. Tabellen mit ME in Kapitel 5.2). Mit Fußnoten 1) und 2) kann SWS-2 in den Bahnbauweisen auch im günstigen Fall Sand zugelassen werden, indem die dort limitierenden ME von Chrom, ges. und Vanadium festgelegt werden.

Im Resultat ergeben sich für SWS-2 die in Tabelle 6.59 zusammengefassten Materialwerte.

Materialwerte SWS-3:

Die Materialwerte der Materialklasse SWS-3 werden grundsätzlich so festgelegt, dass abgesehen von Ausreißern 100 % der Proben der verfügbaren Datengrundlage verwertet werden können. Da für SWS-3 aufgrund des hohen Konzentrationsniveaus i.d.R. nur ein geschlossener Einbau zulässig ist, können Materialwerte aus Sicht des Medienschutzes (es fällt kein Sickerwasser an und es findet keine Stoffemission statt) auch angehoben werden. Für Molybdän wurde der Materialwert auf 1000 µg/L angehoben, der durch alle Eluatproben mit der Ausnahme eines Ausreißers eingehalten wird. Die Maximalkonzentration von Vanadium und Chrom, ges in den WF 2 – Eluatkonzentrationen aller untersuchten SWS-Proben liegt bei 850 µg/L (Mitteilung durch das FEhS-Institut) bzw. bei 117 µg/L. Um zukünftige Schwankungen in den SWS-Qualitäten auffangen zu können wurde ein Materialwert oberhalb dieses Maximalwertes mit 1.000 µg/L für Vanadium und 250 µg/L für Chrom, ges. vorgeschlagen. Der von Susset & Leuchs (2008a) vorgeschlagene Materialwert für Fluorid mit 4 mg/L liegt oberhalb des Maximalwertes von 3,0 mg/L und wird beibehalten.

Auch für SWS-3 bietet sich an, mit Fußnotenregelungen 1) und 2) die Zulässigkeit der Verwertung von SWS-3 in den Straßendammszenarien in den günstigen Fällen zu regeln. Bei Unterlagerung mit Schluff limitiert Molybdän mit ME = 400 µg/L, der im 97. Perzentil eingehalten wird; bei Sandunterlagerung limitiert zusätzlich Vanadium mit ME = 593 µg/L der durch alle Proben der verfügbaren Datengrundlage eingehalten wird.

Im Resultat ergeben sich für SWS die in Tabelle 6.59 zusammengefassten Materialwerte und Änderungen gegenüber AE 1 EBV. Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelIV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.59: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Stahlwerksschlacken in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt.

Parameter	Dimension	SWS-1	SWS-2	SWS-3
pH		40 9-13	40 9-13	40 9-13
Leitfähigkeit	[µS/cm]	10.000	10.000	10.000
Fluorid	[mg/L]	0,75 1,1	0,75 2	4
Chrom, ges.	[µg/L]	- 115	- 175	- 250
Molybdän	[µg/L]	35 55	70 220	230 1.000
Vanadium	[µg/L]	25 130	400 355	800 1.000

6.7.2 Edelschlacken (EDS)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) sind Edelschlacken *bei der Herstellung von Edelstahl im Elektroofen und nachgeschalteten Aggregaten erzeugte Schlacken*

6.7.2.1 Datengrundlagen

Das FEhS - Institut hat dem BMU frühzeitig den Bedarf angezeigt, neben den unter dem Überbegriff Stahlwerksschlacken (SWS) geregelten Schlacken auch die Aufnahme von Edelschlacken in die Ersatzbaustoffverordnung zu prüfen. Das BMU hat im Rahmen von Branchengesprächen und Anhörungsverfahren darauf hingewiesen, dass in den AE 2 EBV auch weitere Materialien, die im ersten Arbeitsentwurf noch nicht geregelt sind, aufgenommen werden können. Hierfür sind laut BMU repräsentative Datengrundlagen mit dem geplanten Referenzverfahren DIN 19528 (2009) zu erheben und eine Evaluierung nach dem UBA-Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a) unter Berücksichtigung der Weiterentwicklungen des ZAG erforderlich.

Die EDS-Branche hat daraufhin Elutionsdaten mit Säulenversuchen nach DIN 19528 (2009) zur Verfügung gestellt. Für eine Basischarakterisierung und zur Beurteilung des Stoffabklungsverhaltens wurden Messdaten ausführlicher Säulenversuche nach DIN 19528 erhoben. In allen Eluataten wurde folgender Mindestparameterkatalog analysiert: pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Fluorid, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Kupfer, Molybdän, Nickel, Vanadium und Zink.

Auf Basis dieser Datengrundlagen aus Säulenversuchen nach DIN 19528 wurden Materialwerte für die regelmäßige Güteüberwachung und eine Klassifizierung verschiedener Materialklassen von Edelschlacken vorgenommen.

Alle Arbeiten hierzu erfolgten im Rahmen eines Gutachtens für das FEhS-Institut: „Begutachtung der Qualität von Edelschlacken hinsichtlich umweltrelevanter Merkmale und der Verwertungsmöglichkeiten nach UBA-Fachkonzept unter Berücksichtigung der aktuellen Weiterentwicklungen für den 2. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung“ (unveröffentlichtes Gutachten, Susset, 2010c). Im Folgenden werden nur Gesamtdatensätze nicht unterschieden nach Herkunft und damit zur Wahrung möglicher Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse anonymisiert dargestellt. Das FEhS-Institut hat gegenüber dem BMU einer Auswertung der Daten für AE 2 EBV (MantelV, 2011) und einer Veröffentlichung im Rahmen dieses Fachberichts in nachfolgender Form mit Mail vom 26.01.2011 zugestimmt. Tabelle 6.60 gibt einen Überblick zu den Datengrundlagen.

Tab. 6.60: Datensatz verschiedener Edelschlacken zur Bewertung der Qualitäten in der Ersatzbaustoffverordnung. Abkürzungen: HS: Hüttensand.

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner, Studie/durchführende Institution	Anzahl der Einzelproben, Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
FEhS ; 10.05.2010, Sonderuntersuchungsprogramm der FEhS für verschiedene Werke im Rahmen der EBV	EDS n = 12	verschiedene Herkünfte Körnungen unbekannt	WF 2- Säulenkurzeluat nach DIN 19528 und ausführliche Säulenversuche	Excelltabelle, bereitgestellt durch FEhS-Institut am 10.05.10

6.7.2.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Edelstahlschlacken, nicht regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.61 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) nicht bewertungs- bzw. regelungsrelevant sind. Alle genannten Stoffe im WF 2-Säulenkurzeluat liegen unterhalb der BG bzw. GFS- oder der BM.

Tab. 6.61: Nicht relevante Stoffe in WF 2 – Säulenkurzeluaten von Edelstahlschlacken: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 des FEhS-Institut. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze.

Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Kupfer [µg/L]	Nickel [µg/L]	Vanadium [µg/L]	Zink [µg/L]
Untersuch- ergebnisse des FEhS- Instituts von 12 Edelstahl- schlacken, verschiedene Herkünfte, vgl. Tab. 6.60	n	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Min	4,0	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	25,0	<BG	7	5	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Mittel	13,1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	13,5	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	15,7	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	16,0	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	17,8	<BG	6,0	5,0	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG

Edelstahlschlacken, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.62 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) bewertungsrelevant sind. Die Ergebnisse zeigen eine Regelungsrelevanz von Sulfat, Fluorid, Chrom, ges. und Molybdän in WF 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 von Edelstahlschlacken. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.62: Relevante Parameter in WF2 – Säulenkurzeluaten von Edelstahlschlacken: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 des FEhS-Institut. Abkürzungen: BG = Bestimmungsgrenze.

Daten- grundlagen	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähigkeit [µS/cm]	Sulfat [mg/L]	Fluorid [mg/L]	Chrom, ges. [µg/L]	Molybdän [µg/L]
Untersuch- ergebnisse des FEhS- Instituts von 12 Edelstahl- schlacken, verschiedene Herkünfte vgl. Tab. 6.60	n	12	12	12	12	12	12
	Min	12,3	5160	27	1,7	9	20,0
	Max	12,7	9080	843	5,5	174	1690
	Mittel	12,5	7653	320	3,3	75	367
	Median	12,5	7930	325	3,0	63	196
	70. Perzentil	12,6	8397	346	4,5	89	400
	80. Perzentil	12,6	8660	381	5,1	119	615
	90. Perzentil	12,6	8809	595	5,3	153	697

6.7.2.3 Ableitung von Materialwerten

Materialwerte der Qualitätsklasse 1 (EDS-1)

Um Edelschlacken in den offenen Bauweisen unter Pflaster und/oder Plattenbelägen und/oder unter ungebundener Deckschicht (Bauweisen mit den lfd. Nummern nach AE 2 EBV 16-24 und 27 ohne Kapillarsperren- bzw. Verdünnungseffekte) verwerten zu können, müssten die GFS-Werte von Fluorid und Molybdän unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 mit ME = 1,1 mg/L bzw. 55 µg/L eingehalten werden. Beide Stoffe werden sowohl in Sandböden als auch in Schluff-/Lehm-/Tonböden nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht zurück gehalten. Im ungünstigen Fall limitieren zusätzlich die ME von Chrom, ges mit 15 µg/L, während die zulässigen ME von Chrom, ges. in den Sand- und in den Schluff-/Lehm-/Tonszenarien in den oben genannten Bauweisen aufgrund der Rückhaltung des vergleichsweise sorptiven Chrom mit ME = 137 µg/L bzw. 255 µg/L relativ hoch sind und durch hohe Perzentilanteile der Datengrundlagen für EDS einhaltbar wären. Die ME von Sulfat hängen zusätzlich von den Schichtmächtigkeiten der Tragschichten ab und liegen für die offenen Bauweisen zwischen 280mg/L und 360 mg/L (vgl. Kapitel 5.2).

Die ME von Sulfat sind im 40. bis 76. Perzentil einhaltbar. Der ME von Fluorid ist nach derzeitiger Datenlage durch keine Probe einhaltbar, der ME von Molybdän wäre nur im 28. Perzentil einhaltbar, der ME von Chrom, ges im ungünstigen Fall mit 15 µg/L wäre nur im 5. Perzentil erreichbar. Die Verwertung von EDS in den offenen Bauweisen mit oder ohne Rückhaltung wird demnach durch die genannten vier Stoffe, insbesondere aber durch Fluorid und Molybdän limitiert. Wären relevante Rückhalteprozesse für Fluorid nachweis- und anrechenbar oder könnte man die Fluoridausträge technisch verringern, wären nach aktueller Datenlage Verwertungsquoten von EDS in den genannten offenen Bauweisen bei Unterlagerung durch Sandböden – limitiert durch Molybdän – von ca. 25 % möglich.

In Abstimmung mit dem BMU und Branchenvertretern wird eine Materialklasse EDS-1 eingeführt, um in Zukunft den offenen Einbau ggf. technisch verbesserter Materialqualitäten von EDS regeln zu können. Die Materialwerte von Fluorid und Molybdän müssen hierfür an die GFS unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 angepasst werden. Der Materialwert von Sulfat wird an niedrigsten ME der genannten Einbaukonstellation, der Bauweise 27 (Schutzwälle unter kulturfähigem Boden ohne Ausbildung eines Kapillarsperreneffektes) mit 280 mg/L angepasst, der Materialwert von Chrom, ges an den ME der nächst limitierenden Bauweise mit 115 µg/L (Bauweisen 11- 13: ToB, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht, ungünstiger Fall). Für den offenen Einbau im ungünstigen Fall muss die Fußnote 1 zur Festlegung der GFS von Chrom, ges unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 eingeführt werden.

Im Resultat ergeben sich für EDS-1 die in Tabelle 6.63 zusammengefassten Materialwerte.

Materialwerte der Qualitätsklasse 2 (EDS-2)

Die Materialwerte für EDS-1 wurden an die ME der Bauweisen 11-13 im ungünstigen Fall, und 25K-26K, Hinterfüllungen von Bauwerken und Dämme mit Kapillarsperreneffekt für den günstigen Fall einer Sandunterlagerung angepasst. Der ME von Sulfat mit 1300 mg/L der zuletzt genannten Bauweise liegt deutlich oberhalb der Maximalwerte der aktuellen Datenlage. Der ME für Chrom, ges. mit 115 µg/L (Bauweise 13: Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht, ungünstiger Fall) ist im 78. Perzentil einhaltbar und wird als Materialwert vorgeschlagen. Die limitierenden ME von Fluorid mit 4,7 mg/L und Molybdän mit 221 µg/L (Bauweisen 25 K-26K) sind im 72. bzw. im 52. Perzentil einhaltbar. Für Sulfat wird der Maximalwert der Datengrundlage mit 850 mg/L festgelegt. Um die Zulässigkeit der Verwertung von EDS-1 für die Bauweisen 25-26 mit Kapillarsperre auch für den ungünstigen Fall zu regeln wird die Fußnotenregelung 1) für den dort limitierenden Stoff Chrom, ges mit ME = 63 µg/L vorgeschlagen, der im 50. Perzentil einhaltbar ist.

Im Resultat ergeben sich für EDS-2 die in Tabelle 6.63 zusammengefassten Materialwerte.

Materialwerte der Qualitätsklasse 3 (EDS-3):

Die Materialwerte der ungünstigsten Materialklasse werden grundsätzlich so gewählt, dass abgesehen von Ausreißern 100 % der Proben der verfügbaren Datengrundlage verwertet werden können. Da für EDS-3 aufgrund des hohen Konzentrationsniveaus i.d.R. nur ein geschlossener Einbau zulässig ist, können Materialwerte aus Sicht des Medienschutzes (es fällt kein Sickerwasser an und es findet keine Stoffemission statt) auch angehoben werden. Für Molybdän wurde der Materialwert auf 2.000 µg/L angehoben, der durch alle Eluatproben eingehalten wird. Die Maximalkonzentrationen von Sulfat, Fluorid und Chrom, ges in den WF 2 – Eluatkonzentrationen aller untersuchten EDS-Proben liegen bei 843 mg/L, 5,5 µg/L und 174 µg/L. Um zukünftige Schwankungen in den EDS-Qualitäten auffangen zu können wurden Materialwerte oberhalb der Maximalwerte mit 1000 mg/L für Sulfat und 250 µg/L für Chrom, ges. vorgeschlagen. Der Materialwert von Fluorid wurde an den ME der Bauweise 13 (Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht) angepasst und liegt mit 6, 6 mg/L deutlich oberhalb des Maximalwertes der Datengrundlage mit 5,5 mg/L.

Auch für EDS-3 bieten sich Fußnotenregelungen zur Regelung der Zulässigkeit der Verwertung von EDS-3 in den Straßendammszenarien in den günstigen und ungünstigen Fällen an. Bei Unterlagerung mit Sand limitiert Molybdän mit ME = 400 µg/L der in Fußnote 1) festgelegt wird und im 70. Perzentil eingehalten wird. Im ungünstigen Fall limitiert zusätzlich Chrom, ges. mit ME = 115 µg/L, der im 78. Perzentil eingehalten wird und mit Fußnote 2) geregelt wird.

Im Resultat ergeben sich für EDS die in Tabelle 6.63 zusammengefassten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.63: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Edelstahlschlacken in AE 2 EBV (BMU, 2011). Sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt.

Parameter	Dimension	EDS-1	EDS-2	EDS-3
pH		11-13	11-13	11-13
Leitfähigkeit	[µS/cm]	10.000	10.000	10.000
Sulfat	[mg/L]	280	850	1.000
Fluorid	[mg/L]	1,1	5	9
Chrom, ges.	[µg/L]	115	115	250
Molybdän	[µg/L]	55	220	2.000

6.7.3 Hüttensand (HS)

Gemäß Begriffsbestimmung nach AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) ist Hüttensand ein *durch Abschrecken flüssiger Hochofenschlacke gewonnener glasiger feinkörniger mineralischer Ersatzbaustoff*

6.7.3.1 Datengrundlagen

Zwischenzeitlich wurden durch das FEhS-Institut weitere Untersuchungen zu den Qualitäten von Hüttensanden durchgeführt.

Im Rahmen dieser Auswertungen wurden alle Datensätze zusammengeführt (vgl. Tabelle 6.64). Im Folgenden werden nur Gesamtdatensätze nicht unterschieden nach Herkünften und damit zur Wahrung möglicher Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse anonymisiert dargestellt. Das FEhS-Institut hat gegenüber dem BMU einer Auswertung der Daten für AE 2 EBV (MantelV, 2011) und einer Veröffentlichung im Rahmen dieses Fachberichts in nachfolgender Form mit Mail vom 26.01.2011 zugestimmt.

Tabelle 6.66 gibt einen Überblick zu den Datengrundlagen (Stand Branchenpapier vom 15.05.2009 plus weitere Daten aus den Jahren 2008-2010). Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.64: Aktualisierter Datensatz verschiedener Hüttensande zur Bewertung der Qualitäten in AE2 EBV (BMU, 2011). Abkürzungen: HS: Hüttensand.

Bereitsteller, Datum der Bereitstellung, Ansprechpartner, Studie/durchführende Institution	Anzahl der Einzelproben, Probenart	Probenherkunft, Aufbereitung	Untersuchungsprogramm	Quellen
Daten des Ökoinstitut (Dehoust et al., 2008) integriert in Susset & Leuchs, 2008a	HS n = 2	verschiedene Herkünfte Körnungen unbekannt	WF 2- Säulenkurzeluat nach DIN 19528 WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529	ZAG Tübingen
FEhS ; 13.03.2009, Sonderuntersuchungsprogramm der FEhS für verschiedene Werke im Rahmen der EBV	HS n = 19	verschiedene Herkünfte Körnungen unbekannt	WF 2- Säulenkurzeluat nach DIN 19528 WF 2-Schütteleuat nach DIN 19529	Exceltable, bereitgestellt durch FEhS-Institut am 12.03.09

6.7.3.2 Statistische Auswertungen, regelungsrelevante Parameter

Hüttensande, nicht regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.65 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit Hüttensanden für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) regelungsrelevant sind. Bei dieser Auswertung wird zur Anonymisierung nicht nach Einzelherkünften unterschieden.

Tab. 6.65: Nicht regelungsrelevante Parameter, Hüttensande alle Herkünfte zusammengefasst: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: kA: keine Analyse, BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	Chlorid [mg/L]	Antimon [µg/L]	Arsen [µg/L]	Blei [µg/L]	Cadmium [µg/L]	Chrom, ges [µg/L]
HS, verschiedene anonymisierte Herkünfte	n	2	19	19	19	19	19
	Min	5,3	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	6,0	<BG	6	12	<BG	15
	Mittel	5,6	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	5,6	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	5,8	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	5,8	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
	90. Perzentil	5,9	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG

Fortsetzung Tab. 6.65:

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	Kupfer [µg/L]	Molybdän [µg/L]	Nickel [µg/L]	Zink [µg/L]
HS, verschiedene anonymisierte Herkünfte	n	19	19	19	2
	Min	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max	30	10	10	<BG
	Mittel	<BG	<BG	<BG	<BG
	Median	<BG	<BG	<BG	<BG
	70. Perzentil	<BG	<BG	<BG	<BG
	80. Perzentil	<BG	6	<BG	<BG
	90. Perzentil	9	9	<BG	<BG

Hüttensande, regelungsrelevante Parameter

Nachfolgende Tabelle 6.68 fasst die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse der WF 2-Säulenkurzeluate nach DIN 19528 mit HS für Parameter zusammen, die nach den Kriterien von Susset & Leuchs (2008a) für HS regelungsrelevant sind. Die Bewertungsrelevanz von Sulfat und Vanadium (bedingt durch bestimmte Einbaukonstellationen mit hohen Anforderungen im ungünstigen Fall) nach Susset & Leuchs (2008a) wird bestätigt. Leitfähigkeit und pH-Wert sind Indikatorparameter und haben damit keinen Grenzwertcharakter.

Tab. 6.66: Regelungsrelevante Parameter, Hüttensande, alle Herkünfte zusammengefasst: Statistische Kennwerte der Konzentrationen in WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528. Abkürzungen: kA: keine Analyse, BG: Bestimmungsgrenze.

Material, Herkunft	Statistische Kenngrößen	pH-Wert []	Leitfähigkeit [μ S/cm]	Sulfat [mg/L]	Vanadium [μ g/L]
EOS, alle ohne EOS aus höherlegierten Stählen	n	21	21	21	21
	Min	7,9	229	8	<BG
	Max	12,0	3400	234	49
	Mittel	10,4	884	82	10
	Median	10,6	524	64	6
	70. Perzentil	10,8	674	98	10
	80. Perzentil	11,3	1546	100	10
	90. Perzentil	11,9	2120	189	26

6.7.3.3 Ableitung von Materialwerten

Die vorliegenden, gegenüber AE 1 EBV deutliche verbesserten Datengrundlagen bestätigen den bisherigen Befund geringer Qualitätsschwankungen von HS - eine Unterteilung in verschiedene Materialklassen ist deshalb nicht notwendig

Die Materialwerte werden grundsätzlich so gewählt, dass abgesehen von Ausreißern 100 % der Proben der verfügbaren Datengrundlage berücksichtigt werden können. Die neu erhobenen Daten des FEhS-Instituts bestätigen im Wesentlichen die vorgeschlagenen Materialwerte von Susset & Leuchs (2008a). Die Sulfatkonzentrationen der Eluatproben sind geringfügig höher und können ohne wesentliche zusätzliche Einschränkungen auf den Maximalwert von 250 mg/L angehoben werden. Der Leitfähigkeitswert wurde mit 4000 μ S/cm etwas oberhalb des Maximalwertes der WF 2 Eluate festgelegt.

Mit der Ausnahme eines Ausreißers bei einer Hüttensandprobe einer Herkunft liegen die Eluatkonzentrationen von Vanadium deutlich unterhalb der in den günstigen Fällen (Sand oder Lehm/Schluff) in den offenen Einbauweisen niedrigsten ME von Vanadium mit 65 μ g/L (Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten oder unter Plattenbelägen).

Um HS auch in den ungünstigen Fällen in den offenen Einbauweisen ohne Rückhalteschicht und bei GW-Abstand zwischen 0,1 und 1,0 m einsetzen zu können, ist die Einhaltung des Bezugswertes von Vanadium unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeits-Faktors von 1,5 notwendig. Hierzu wird die Fußnote 1) und 4) zur Festsetzung des Vanadiumwertes auf 30 μ g/L eingeführt. Bezogen auf die Einzelkonzentrationen hält mindestens das 95. Perzentil der Eluatkonzentrationen, diesen Wert ein.

Bei den Bauweisen (24) Verfüllung von Baugruben unter Pflaster und (27) Schutzwälle im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden ohne Ausbildung einer Kapillarsperre (vgl. Anhang 2-2, "M") limitiert Sulfat mit einem ME von 180 mg/L. Dieser wird mit den Fußnoten 2), 3) und 5) geregelt. Der limitierende ME von Sulfat in den zuletzt genannten Bauweisen mit 180 µg/L ist im 80. Perzentil einhaltbar.

Für die Regelung des Einsatzes von HS in offenen Einbauweisen im ungünstigen Fall muss Vanadium als regelmäßiger Güteüberwachungsparameter eingeführt werden. Der Materialwert von Vanadium wird an den ME der Bauweisen unter Plattenbelägen für den günstigen Fall von 65 µg/L angepasst.

Im Resultat ergeben sich für HS die in Tabelle 6.67 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 des AE 2 EBV der MantelIV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.67: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Hüttensande im AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Parameter	Dimension	HS
pH		9 - 12
Leitfähigkeit	[µS/cm]	1.000 4.000
Sulfat	[mg/L]	200 250
Vanadium	[µg/L]	30 65

6.7.4 Hochofenstückschlacken (HOS)

Gemäß Begriffsbestimmung AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011) ist Hochofenstückschlacke ein mineralischer Ersatzbaustoff

aus der im Hochofenprozess entstehenden Hochofenschlacke durch Abkühlung und nachfolgende Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung gewonnene Gesteinskörnung

6.7.4.1 Datengrundlagen

Für Hochofenstückschlacken liegen uns keine neuen Datengrundlagen vor.

Aufgrund des in Susset & Leuchs (2008a) erläuterten möglichen Versauerungspotentials von HOS im Feld und damit verbundenen Schwermetallausträgern, die in Laborelutionsversuchen aufgrund der hydrogeochemischen Milieurangbedingungen i.d.R. nicht gemessen werden können, haben Susset & Leuchs (2008a) vorgeschlagen neben pH und Leitfähigkeit nur Gesamtschwefel regelmäßig zu überwachen. In den LAGA-Eckpunkten werden zwei Klassen unterschieden und der Gesamtschwefel (Summe des Sulfat-S und Thiosulfat-S) als Sulfat umgerechnet. Für AE 2 EBV wurden die Materialwerte von Sulfat lediglich an neue Modellierungsergebnisse angepasst.

6.7.4.2 Materialwerteableitung

Durch die neuen Modellierungen der Durchströmung des Bankett & Böschungsbereichs ergeben sich keine geänderten Bewertungen, da die tendenziell geringeren zulässigen Sulfatkonzentrationen noch oberhalb der im AE 1 EBV für HOS festgelegten Sulfatwerte liegen (vgl. Kapitel 4 und 5). Die Materialwerte für Sulfat von HOS-1 wurden an die Bauweisen 25: Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden und 26: Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Ausbildung einer Kapillarsperre und unter mit ME-Sulfat = 1260 mg/L. Die Zulässigkeit der Bauweise 17: ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Platten-

belägen kann über Fußnotenregelung 1) geregelt werden, indem der dort geltende ME von Sulfat mit 810 mg/L festgelegt wird. Für HOS-2 sind nur geschlossene Bauweisen und teildurchströmte Bauweisen zulässig, bei welchen die Sulafffreisetzungen entweder nicht stattfinden, oder stark verdünnt werden. Für HOS-2 wird der bisherige Materialwert von Sulfat mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 multipliziert: $2.500 * 1,5 = 3750$ mg/L.

6.7.4.3 Bewertung offener Einbauweisen für HOS

Wie das FEhS-Instituts in der Stellungnahme vom 31.01.2008 zum Fachbericht, Susset & Leuchs (2008a) richtig feststellt dürften sich bei einer Beurteilung von HOS alleine aufgrund des Sulfatwertes die Bewertungen für den günstigen und ungünstigen Fall nicht unterscheiden.

(Auszug Stellungnahme FEhS-Institut: „Im übrigen wird ausgesagt, dass sich die Einbauwerte bei günstiger Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht nicht vom ungünstigen Fall unterscheiden, da für Chlorid und Sulfat keine Rückhaltung angerechnet werden kann. Dann dürften sich die entsprechenden Einsatzmöglichkeiten gemäß den Tabellen im Anhang auch nicht unterscheiden, soweit das Sulfat bzw. Chlorid der bestimmende Faktor ist. Dies ist jedoch nicht der Fall.“) und zur Diskussion im Branchengespräch vom 15.05.2009 um die Zulassung von HOS für den „ungünstigen Fall“ in den Bauweisen: Tragschicht ohne Bindemittel, Bodenverbesserung sowie Unterbau bis 1m ab Planum unter gebundenen Deckschichten (Zeilen 11-13 der Einbaulisten nach Anhang 2-2 für den AE 2 der EBV):

Nach Susset & Leuchs (2008a) wurde als Güteüberwachungsparameter für HOS nur Sulfat eingeführt. Bei der Bewertung der Einbaumöglichkeiten im ungünstigen Fall wurden jedoch als zusätzliches Bewertungskriterium die in den Studien des „BMBF-Projekts Sickerwasserprgnose“ (vgl. Susset & Leuchs, 2008a und b) nachgewiesenen potentiellen Metallausträge der HOS berücksichtigt: Susset & Leuchs (2008b) untersuchten eine Hochofenstückschlacke als 50 cm mächtige Schicht in einem Feldlysimeter (manuell verdichtete Schicht mit einer Kiesüberdeckung von 1 Meter, natürlicher Freilandniederschlag) und parallel in Laborelutionsversuchen (Bodensättigungsextrakte, Schütteleluat Säulenversuche). Im Sickerwasser der Freilandlysimeter wurden sehr hohe Metallkonzentrationen während einer so genannten „sauren Elutionsphase“ festgestellt, die auf eine säureproduzierende Oxidation des Thiosulfates zurückgeführt werden kann. Abbildung 6.3 zeigt exemplarisch für Chrom, ges. Kobalt, Nickel und Zink die zeitlichen Konzentrationsverläufe im Sickerwasser der Hochofenstückschlacke zusammen mit den pH-Werten, sowie die Konzentrationen von Sulfat und des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) versus *WF*. Die pH-Werte sinken vorübergehend von neutralen Bedingungen auf saure Werte von $\text{pH} = 3 - 5$ ab und führen dann zu einer „abrupten“ Mobilisierung von Metallen, wobei die „sauren Elutionsphasen“ mehrere Monate anhalten können. Es resultieren Überschreitungen der Geringfügigkeitsschwellen z. T. im Bereich von mehreren mg/L durch Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Kobalt und Zink im Lysimeterablauf der Hochofenstückschlacke. Die Hochofenstückschlacke weist hohe Gehalte an Thiosulfat-Schwefel und Schwefel im Feststoff auf. Die pH-Wert-Absenkung im Lysimeterablauf der HOS korreliert mit einem Rückgang des CSB und einem Anstieg der Sulfatkonzentrationen. Der Summenparameter CSB ist bei HOS ausschließlich anorganischen Ursprungs (vgl. unveröffentlichtes Hintergrundpapier der LAGA). Das aus HOS auslaugende Sulfid und Thiosulfat wird im Laufe der Zeit durch Sauerstoff oder Eisenoxihydrate mikrobiell zu Sulfat oxidiert, womit eine Sauerstoffzehrung einhergeht. Die bei diesem Prozess freigesetzten Protonen können eine Ursache für die vorübergehende pH-Wert Absenkung sein. Die Dauer dieser „sauren Elutionsphase“ hängt vom endlichen Thiosulfat -Vorrat im Feststoff, der Säureneutralisationskapazität und von der Menge des zur Verfügung stehenden Sauerstoffs in der ungesättigten Zone ab. Da die Abnahme des Thiosulfates in etwa der des Sulfates entspricht und langfristig gesehen von einer vollständigen Oxidation des Thiosulfates zum Sulfat auszugehen ist, sollte bei einer Bewertung von Hochofenstückschlacken die Gesamtsulfatkonzentration berücksichtigt werden.

Abbildung 6.4 stellt exemplarisch für pH, Sulfat, Chrom, ges. und Nickel die Feldlysimeterergebnisse verschiedenen Laborelutionsergebnissen gegenüber. Die beschriebenen Freilandbedingungen lassen sich in Laborversuchen grundsätzlich nicht abbilden. Im wassergesättigten Säulenversuch und allen anderen derzeit genormten Labortests tritt diese „saure Elutionsphase“ nicht oder nur zu Beginn auf, da aufgrund des limitierten Luftzutritts kein Sulfat aus reduzierten Schwefelverbindungen gebildet wird. Entsprechende Metallausträge bleiben deshalb aus. Bei der Bewertung von Laborversuchergebnissen muss das Freisetzungverhalten unter Realbedingungen (soweit bekannt) berücksichtigt werden.

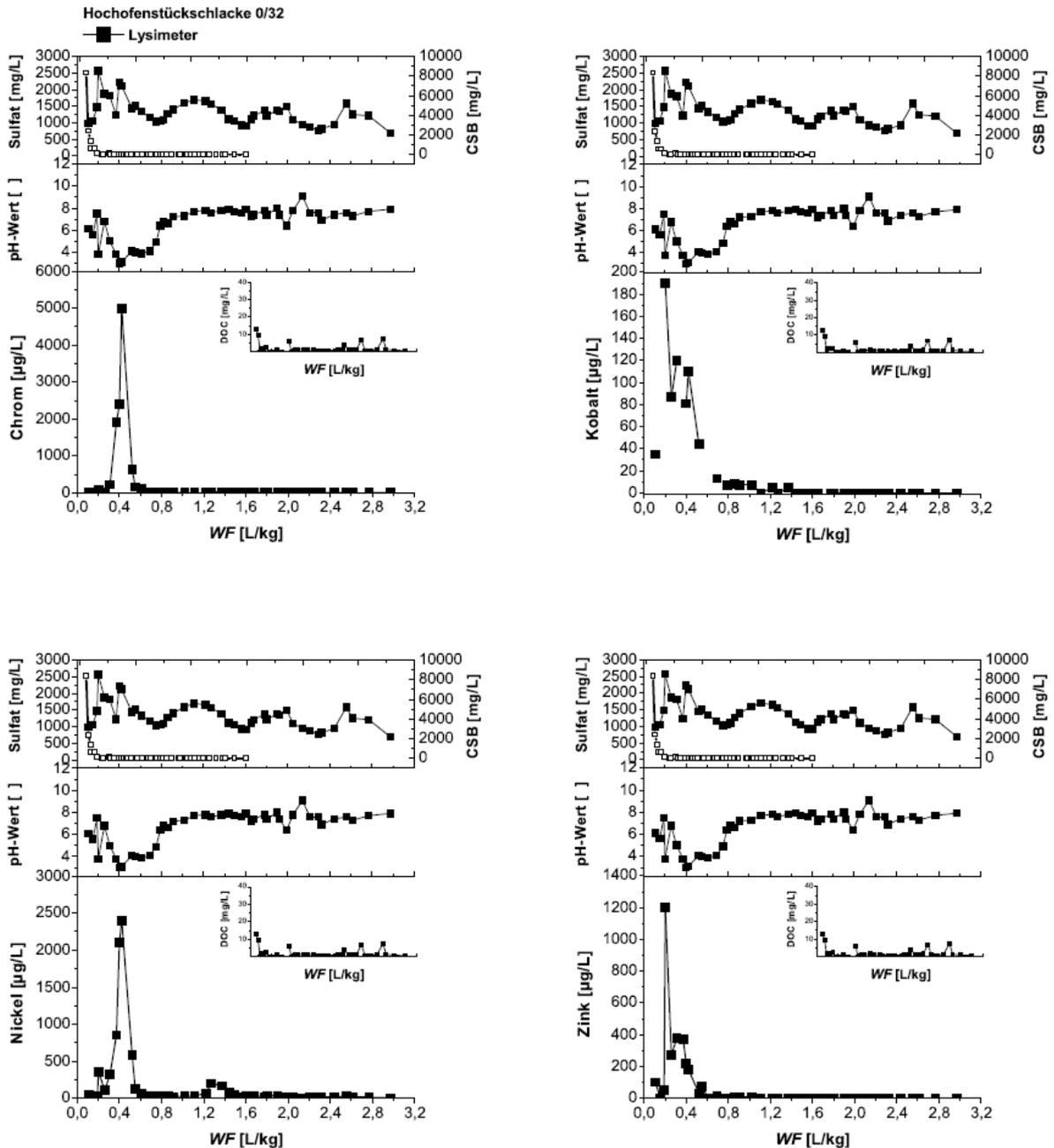


Abb. 6.3: Gegenüberstellung der zeitlichen Verläufe von Schadstoffkonzentrationen und verschiedenen physikochemischen Parametern im Sickerwasser an der Unterkante der Hochofenstückerückschlacke versus *WF*. Im Lysimeterablauf der Hochofenstückerückschlacke sinken die pH-Werte mit abnehmendem CSB (Umwandlung von Thiosulfat zu Sulfat und damit einhergehende Freisetzung von Protonen) vorübergehend bis auf pH = 3,0 ab. Während der „sauren Elutionsphase“ steigen die Konzentrationen einiger Schwermetalle im Lysimeterablauf auf ein Vielfaches der GFS an (aus Susset & Leuchs, 2008b).

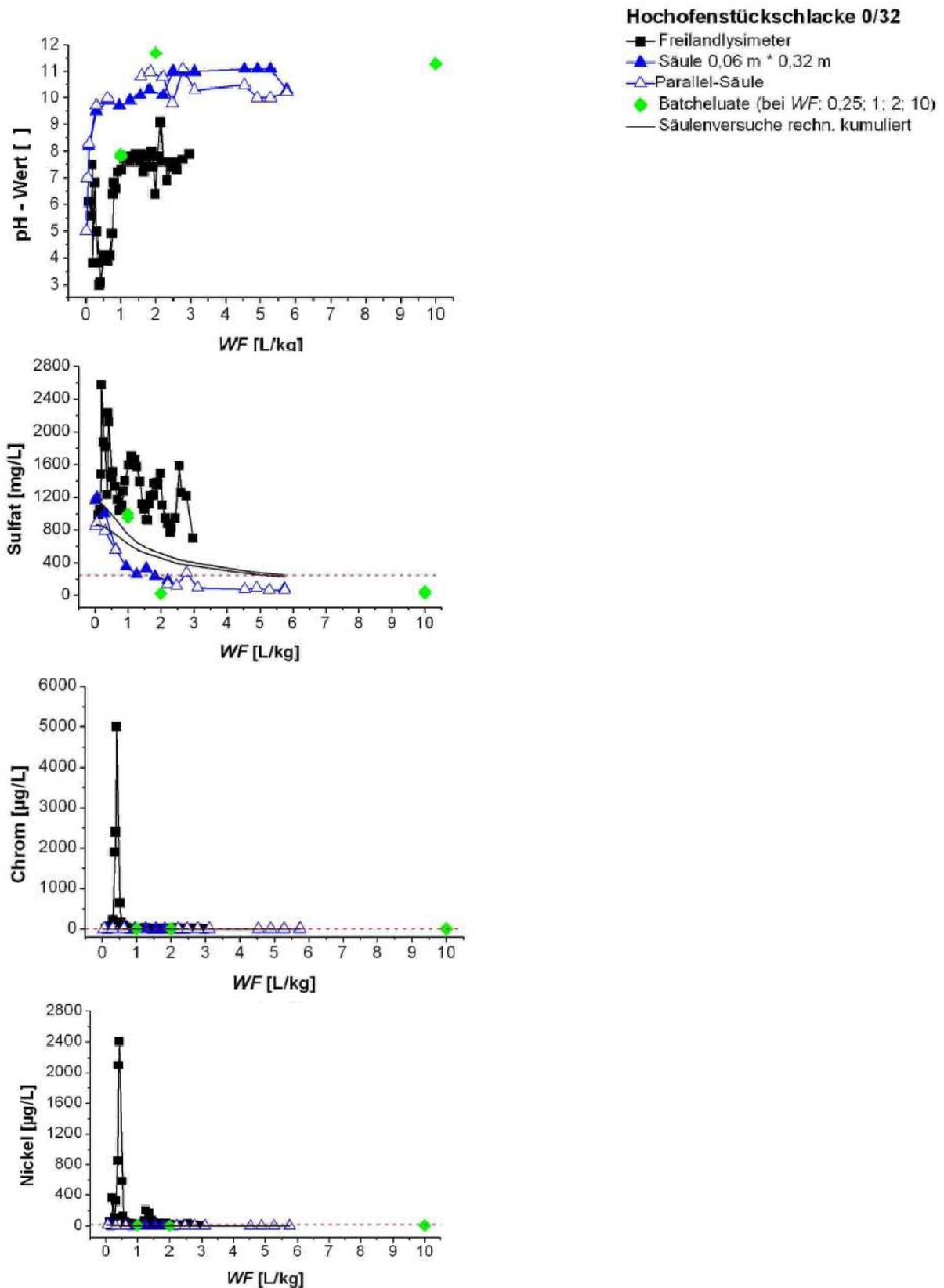


Abb. 6.4: Vergleich der Ergebnisse verschiedener Laborelutionen mit dem zeitlichen Verlauf hydro-geochemischer Parameter und den Konzentrationen chemischer Hauptbestandteile im Sickerwasser an der Unterkante der Hochfenstückschlacke 0/32 versus WF (aus Susset & Leuchs, 2008b).

Da die "sauren Elutionsphasen" derzeit mit keinem Laborverfahren "gemessen" werden können ist es nach Susset & Leuchs (2008a) nicht sinnvoll Schwermetalle als Güteüberwachungsparameter für Hochofenstückschlacken einzuführen. Bei Sulfat werden beim Sammeln des Säuleneluates bis WF 2, geringere und tolerierbare Abweichungen gefunden. Die hohen Sulfatkonzentrationen von HOS führen nach dem Ableitungskonzept i. d. R. bereits zu einer Beschränkung der Einsatzmöglichkeiten von HOS 1 und HOS 2 auf geschlossene oder teildurchströmte Einbauweisen. Im Falle dünner Schichten (ungebundene Deckschicht, Bauweise 16) und bei kleinräumig begrenztem Sulfatreservoir (Bauweisen 11, 12, 13 mit begrenzter Durchströmung des Straßenseitenraums) wird ein Einbau außerhalb von Wasserschutzgebieten dann für zulässig gehalten, wenn günstige Deckschichteneigenschaften vorliegen. Diese sind nach Ansicht der Autoren notwendig um die, in den Studien des "BMBF-SiWaP" (vgl. Susset & Leuchs, 2008a und b) nachgewiesenen, potentielle Metallausträge zurückzuhalten. Eine ausführliche Beantwortung der Stellungnahme des FEhS-Institut vom 31.01.2008 zum Fachbericht, Susset & Leuchs 2008a) wurde dem UBA im Juni 2008 als Synopsen zur Verfügung gestellt (vgl. Kapitel 1.1.3.1 Teil II dieser Bericht).

Das FEhS-Institut weist im Branchengespräch vom 15.05.2009 auf eigene Forschungsergebnisse zu Straßenlysimetern hin. Laut FEhS-Institut wird durch den standardmäßig dichten Einbau der HOS und Überbauung mit geb. Deckschichten oder Bodenfunktionsschichten die Sauerstoffzufuhr stark eingeschränkt, Versauerung durch Oxidation von Thiosulfat nach Sulfat und damit verbundene Schwermetallausträge finden laut FEhS-Institut in den technischen Bauwerken deshalb nicht statt.

Auf der WASCON 2009 in Lyon, Frankreich wurden einem internationalen Publikum seitens Niederlande, Schweden und Finnland Ergebnisse zur Durchströmung und zu gemessenen Stoffausträgen vorgestellt und in Conference Proceedings publiziert.

Die Ergebnisse aus Schweden bestätigen das Versauerungspotential von HOS in einem Straßenlysimeter (reale Straße) und damit verbundene erhöhte Stoffausträge - Zitat aus Lidelöw & Grandjean (2009): „Air-cooled blast-furnace slag (ACBFS) has suitable physical properties for use as an unbound aggregate in road bases. Results of laboratory leaching tests have also indicated that ACBFS can be used without posing any risk of negative environmental impacts. However, monitoring of drainages from a full-scale road test section with ACBFS has indicated that acid leachates (pH<6) with associated increased releases of constituents can occur under field conditions. Analysis of a 10-year time series of drainage samples and 12 year old ACBFS from the road section indicates that acidity might develop from the oxidation of reduced sulphides released from the ACBFS.....“

Im Branchengespräch hat sich auch ergeben, dass die Bauweisen ToB, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1m ab Planum (Ifd. Nr.: 11b bis 13) auch für den ungünstigen Fall für HOS besonderes marktrelevant sind. Ob diese Bauweisen zugelassen werden können, kann angesichts der oben abgerissenen durchaus kontroversen Fachdiskussion fachlich nicht abschließend beurteilt werden. Seitens Bundesverordnungsgeber wäre zu prüfen, ob die Frostschuttschicht (11b) ggf. auch im ungünstigen Fall zugelassen werden kann. Wie die Straßendammmodelle im Kapitel 3.2, Teil II dieser Bericht zeigen, keilt die Frostschuttschicht seitlich aus und verdünnt sich auf eine Mächtigkeit von ca. 20 cm. Es resultieren Verdünnungsfaktoren von 7,7 und vergleichsweise hohe ME für Schwermetalle (vgl. Kapitel 5). Allerdings reichen diese nach dem theoretischen Modell nicht dazu aus potentielle Freisetzungen im mg/L-Bereich abzufangen.

Laut DB sind HOS für die Bahnbauweisen B5 und B6 (Planumsschutzschichten relevant). HOS-1 ist hier im günstigen Fall Sand und Lehm/Schluff/Ton zulässig, da der Materialwert von Sulfat die dort gültigen ME deutlich unterschreiten (vgl. Tabellen mit ME in Kapitel 5.2).

Im Resultat ergeben sich für HOS die in Tabelle 6.68 zusammengefassten und gegenüber dem AE 1 der EBV geänderten Materialwerte. Anhang 2.2 und 2.3 des AE 2 EBV der MantelV (BMU, 2011) zeigt die resultierenden Einbautabellen.

Tab. 6.68: Vorschlag zur Festlegung von Materialwerten für Hochofenstückschlacken in AE 2 EBV (BMU, 2011), sich unterscheidende Materialwerte aus AE 1 EBV sind durchgestrichen dargestellt

Parameter	Dim.	HOS-1	HOS-2
pH	[]	9-12	9-12
Leitfähigkeit	[μ S/cm]	5.000	7.000
Sulfat ¹	[mg/L]	900 1.250	2.500 3.750

1: Summe aus Sulfat- und Thiosulfat; bestimmt als Gesamtschwefel, umgerechnet in Sulfat

7 Anhang zu Kapitel 7 Teil II „Ableitung der zulässigen Einbauweisen und Fußnotenregelungen“ – geringfügige Endkorrekturen

Während der Erstellung dieses Berichts haben sich geringfügige Korrekturen bei den Fußnotenregelungen ergeben, die in den Einbautabellen in den Anhängen 2.2 und 2.3 des AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) nicht mehr berücksichtigt werden konnten, da die MantelV während Erstellung dieses Berichts veröffentlicht wurde.

Im Folgenden sind nur Einbautabellen dargestellt, für die sich nach Fachkonzept noch geringfügige Änderungen ergaben. Die Änderungen gegenüber der MantelV vom 06.01.2011 sind rot markiert (ersetzte Werte durchgestrichen). Die Änderungen nach Fachkonzept bzw. redaktionelle Änderungen müssen im Laufe des Ordnungsverfahrens in der MantelV berücksichtigt werden. Alle weiteren Einbautabellen in der MantelV entsprechen den fachlichen Bewertungen dieses Ergänzungsvorhabens.

Ersatzbaustoff: RC-2							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
1	Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden	+	+	+	A	A	A
2	Tragschicht bitumengebunden	+	+	+	A	A	A
3	Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten	+	+	+	+	+	+
4	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
5	Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
6	Verfüllung von Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
7	Verfüllung von Baugruben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) unter Pflaster und Platten	+	+	+	+	+	+
10	Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung	+	+	+	+	+	+
11a	Schottertragschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	-	+ ¹⁾	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	U
12	Bodenverbesserung unter geb. Deckschicht	-	+ ¹⁾	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	U
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	-	+ ¹⁾	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	U
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-D nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	+	+	+	+	+	+
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
16	Deckschicht ohne Bindemittel	-	+	+	+	+	+
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	+ ⁵⁾	-	-	U ⁵⁾
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	-	+ ²⁾	+	BU ²⁾	U ²⁾	U
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	+ ⁵⁾	-	-	U ⁵⁾
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	-	+ ²⁾	+	BU ²⁾	U ²⁾	U
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	+ ⁵⁾	-	-	U ⁵⁾
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	-	+ ²⁾	+	-	U ²⁾	U
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	-	K ³⁾	K	-	KU ³⁾	KU
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	-	K ³⁾	K	-	KU ³⁾	KU
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	-	M ⁴⁾	M	-	MU ⁴⁾	MU

1) zulässig, wenn Vanadium ≤ ~~600~~ **595** µg/L

2) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 255 µg/L und wenn Vanadium ≤ 130 µg/L

3) zulässig, wenn Vanadium ≤ 355 µg/L

4) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 435 µg/L und wenn Vanadium ≤ 220 µg/L

5) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 300 µg/L und wenn Vanadium ≤ 530 µg/L und wenn PAK15 ≤ 7 µg/L

Ersatzbaustoff: HMVA-1							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
1	Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden	+	+	+	-	A	A
2	Tragschicht bitumengebunden	+	+	+	-	A	A
3	Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten	+	+	+	-	+	+
4	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
5	Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
6	Verfüllung von Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
7	Verfüllung von Baugruben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) unter Pflaster und Platten	+	+	+	+	+	+
10	Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung	+	+	+	-	+	+
11a	Schottertragschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
12	Bodenverbesserung unter geb. Deckschicht	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-D nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	+	+	+	-	+	+
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
16	Deckschicht ohne Bindemittel	-	-	-	-	-	-
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	K ³⁾	K ²⁾	K ²⁾	-	KU ²⁾	K ²⁾
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	K ³⁾	K ²⁾	K ²⁾	-	KU ²⁾	K ²⁾
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	-	-	-	-	-	-

1) zulässig, wenn Kupfer ≤ 230 µg/L und Chrom, ges. ≤ 115 µg/L, 1) innerhalb von Wasserschutzgebieten: wenn 1) gilt, ist HMVA-1 zulässig ohne Einschränkungen;

2) zulässig, wenn Chlorid ≤ ~~1160~~ **1170** mg/L und Sulfat ≤ ~~1350~~ **1360** mg/L und Kupfer ≤ 645 µg/L und Molybdän ≤ 220 µg/L und Antimon ≤ 30 µg/L;

3) zulässig, wenn 2) gilt und Chrom, ges. ≤ 65 µg/L und Kupfer ≤ 125 µg/L sowie Vanadium ≤ 125 µg/L

Ersatzbaustoff: SKA							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
			Sand	Lehm/Schluff /Ton	WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete
1	2	3	4	5	6		
1	Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden	/	/	/	/	/	/
2	Tragschicht bitumengebunden	/	/	/	/	/	/
3	Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten	+	+	+	+	+	+
4	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
5	Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
6	Verfüllung von Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
7	Verfüllung von Baugruben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen	/	/	/	/	/	/
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) unter Pflaster und Platten	+	+	+	-	+	+
10	Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung	+	+	+	+	+	+
11a	Schottertragschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	B	+	+
12	Bodenverbesserung unter geb. Deckschicht	+	+	+	B	+	+
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	+	+	+	B	+	+
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-D nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	+	+	+	-	+	+
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
16	Deckschicht ohne Bindemittel	/	/	/	/	/	/
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	-	-	-	-	-	-
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	K ²⁾	K ¹⁾	K ¹⁾	-	KU ¹⁾	K ¹⁾
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	K ²⁾	K ¹⁾	K ¹⁾	-	KU ¹⁾	K ¹⁾
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	-	-	-	-	-	-

1) zulässig, wenn Molybdän ≤ 220 µg/L

2) zulässig, wenn ~~2)~~ 1) gilt und Vanadium ≤ 125 µg/L

Ersatzbaustoff: SWS 2
 „Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe“ - Anhang

Einbauweise	Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht						
	außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten			
	un- günstig	günstig		günstig			
		Sand	Lehm/Schluff/ /Ton	WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebie- te	
1	2	3	4	5	6		
1	Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden	+	+	+	A	A	A
2	Tragschicht bitumengebunden	+	+	+	A	A	A
3	Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten	+	+	+	-	+	+
4	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
5	Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
6	Verfüllung von Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
7	Verfüllung von Baugruben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	-	+	+
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) unter Pflaster und Platten	+	+	+	+	+	+
10	Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung	+	+	+	+	+	+
11a	Schottertragschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
12	Bodenverbesserung unter geb. Deckschicht	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-D nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	+	+	+	-	+	+
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
16	Deckschicht ohne Bindemittel	-	+	+	-	+	+
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	-	+ ²⁾	+ ²⁾	BU ²⁾	U ²⁾	+ ²⁾
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	-	+ ²⁾	+ ²⁾	BU ²⁾	U ²⁾	+ ²⁾
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	-	+ ²⁾	+ ²⁾	-	U ²⁾	+ ²⁾
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	-	-	-	-	-	-
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	-	+ ²⁾	+ ²⁾	BU ²⁾	U ²⁾	+ ²⁾
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	-	K	+ ³⁾	-	KU	K
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	-	K	+ ³⁾	-	KU	K
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	-	+ ⁴⁾	+ ⁴⁾	-	MU	M

1) zulässig, wenn Vanadium ≤ 230 µg/L und wenn Chrom, ges ≤ 115 µg/L, 1) innerhalb von Wasserschutzgebieten: wenn 1) gilt, ist SWS-2 zulässig ohne Einschränkungen

2) zulässig, wenn Molybdän ≤ 55 µg/L und Vanadium ≤ 130 µg/L und wenn Fluorid ≤ 1,1 mg/L

3) zulässig ohne Kapillarsperre, wenn Molybdän ≤ 55 µg/L und wenn Fluorid ≤ 1,1 mg/L, sonst gilt "K"

4) zulässig ohne Kapillarsperre, wenn Molybdän ≤ 55 µg/L und Vanadium ≤ 130 µg/L und wenn Fluorid ≤ 1,1 mg/L, sonst gilt "M", **wenn Vanadium ≤ 220 µg/L und Molybdän ≤ 90 µg/L**

Ersatzbaustoff: HS

Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un-günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor-ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
1	Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden	+	+	+	A	A	A
2	Tragschicht bitumengebunden	+	+	+	A	A	A
3	Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten	+	+	+	+	+	+
4	Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
5	Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
6	Verfüllung von Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
7	Verfüllung von Baugruben unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) unter Pflaster und Platten	+	+	+	+	+	+
10	Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung	+	+	+	+	+	+
11a	Schottertragschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
12	Bodenverbesserung unter geb. Deckschicht	+	+	+	+	+	+
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	+	+	+	+	+	+
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-D nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	+	+	+	+	+	+
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	+	+	+	+	+	+
16	Deckschicht ohne Bindemittel	+	+	+	+	+	+
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	+ ¹⁾	+	+	-	U	+
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	+ ¹⁾	+	+	-	U	+
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	+ ²⁾	+ ³⁾	+ ³⁾	BU ³⁾²⁾	U ³⁾²⁾	+ ³⁾²⁾
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	+ ⁴⁾	+	+	BU ⁴⁾	U ⁴⁾	+
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	+ ⁴⁾	+	+	BU ⁴⁾	U ⁴⁾	+ ⁴⁾
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	+ ²⁾	+ ⁵⁾	+ ⁵⁾	MBU ²⁾⁵⁾	MU ²⁾⁵⁾	M ²⁾

1) zulässig, wenn Vanadium ≤ 30 µg/L

2) zulässig, wenn 1) gilt und Sulfat ≤ 180 mg/L

3) zulässig, wenn Sulfat ≤ 180 mg/L

4) zulässig ohne Kapillarsperre, wenn Vanadium ≤ 30 µg/L, sonst gilt „K“

5) zulässig ohne Kapillarsperre, wenn Sulfat ≤ 480 **170** mg/L, sonst gilt „M“

Fußnoten **1), 2) und 4)** innerhalb von Wasserschutzgebieten: wenn Fußnoten eingehalten werden, ist HS zulässig ohne Einschränkungen.

Ersatzbaustoff: GS-2							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	+ ¹⁾	-	-	U ¹⁾
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	+ ²⁾	-	-	U ²⁾
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	-	+ ³⁾	+	BU ³⁾	U ³⁾	+
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	-	+ ⁴⁾	+	BU ⁴⁾	U ⁴⁾	+
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	-	+ ⁴⁾	+	BU ⁴⁾	U ⁴⁾	U
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	-	+	+	BU	U	+
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	-	+	+	BU	U	+
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+

1) zulässig, wenn AMPA ≤ 7,3 µg/L und wenn Atrazin ≤ 2,0 µg/L und wenn Bromacil ≤ 0,8 µg/L und wenn Diuron ≤ 0,52 µg/L und wenn Simazin ≤ 5,8 µg/L und wenn sonstige Herbizide ≤ 5,3 µg/L;

2) zulässig, wenn AMPA ≤ 5,8 µg/L und wenn Atrazin ≤ 1,5 µg/L und wenn Bromacil ≤ 0,7 µg/L und wenn Diuron ≤ 0,42 µg/L und wenn Glyphosat ≤ 5,8 µg/L und wenn Simazin ≤ 4,1 µg/L und wenn sonstige Herbizide ≤ 3,7 µg/L;

3) zulässig, wenn AMPA ≤ ~~14,7~~ 14,4 µg/L und wenn Atrazin ≤ 3,0 µg/L und wenn Bromacil ≤ 1,1 µg/L und wenn Diuron ≤ 0,70 µg/L;

4) zulässig, wenn AMPA ≤ 12,2 µg/L und wenn Atrazin ≤ 2,5 µg/L und wenn Bromacil ≤ 0,9 µg/L und wenn Diuron ≤ 0,6 µg/L

Ersatzbaustoff: GS-3							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	-	-	-	-	-	-
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	-	-	+ ¹⁾	-	-	U ¹⁾
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	-	-	+ ²⁾	-	-	U ²⁾
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	-	-	+ ²⁾	-	-	U ²⁾
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	-	-	-	-	-	-
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	-	-	+	-	-	-
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	-	-	+ ³⁾	-	-	U ³⁾
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	-	-	-	-	-	-
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	-	-	+	-	-	U

1) zulässig, wenn AMPA ≤ ~~26,7~~ **31,6** µg/L

2) zulässig, wenn AMPA ≤ 26,7 µg/L ~~und wenn Atrazin ≤ 13,8 µg/L und wenn Bromacil ≤ 3,3 µg/L und wenn Diuron ≤ 2,45 µg/L;~~

3) zulässig, wenn AMPA ≤ ~~26,7~~ **45,8** µg/L und wenn Diuron ≤ 3,89 µg/L

Ersatzbaustoff: BM-3							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	/	/	/	/	/	/
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	/	/	/	/	/	/
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	+	-	-	U
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	+	-	-	U
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	-	+ ¹⁾	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	U
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	-	+ ²⁾	+	BU ²⁾	U ²⁾	U
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+ ³⁾	+	BU ³⁾	U ³⁾	U
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	-	+ ⁴⁾³⁾	+	BU ⁴⁾³⁾	U ⁴⁾³⁾	U
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	+	-	-	U
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	+	-	-	U
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	-	+ ⁵⁾⁴⁾	+	BU ⁵⁾⁴⁾	U ⁵⁾⁴⁾	U
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+

2)1) zulässig, wenn Cadmium ≤ 8,6 µg/L und wenn Nickel ≤ 76 µg/L und wenn Vanadium ≤ 440 µg/L und wenn Zink ≤ 605 µg/L

1) 2) zulässig, wenn Nickel ≤ 175 µg/L und wenn Zink ≤ 1410 µg/L

3) zulässig, wenn Nickel ≤ 170 µg/L und wenn Zink ≤ 1520 µg/L

4) 3) zulässig, wenn Nickel ≤ 280 µg/L

5) 4) zulässig, wenn Cadmium ≤ 12,1 µg/L und wenn Nickel ≤ 105 µg/L und wenn Vanadium ≤ 620 µg/L und wenn Zink ≤ 855 µg/L

Ersatzbaustoff: RC-1							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	/	/	/	/	/	/
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	/	/	/	/	/	/
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	+ ¹⁾	+	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	+
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	+ ²⁾	+	+	BU ²⁾	U ²⁾	+
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	+ ³⁾	+	+	BU ³⁾	U ³⁾	+
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	+ ³⁾	+	+	BU ³⁾	U ³⁾	+
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	+ ⁴⁾	+	+	BU ⁴⁾	U ⁴⁾	+
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	+ ⁴⁾	+	+	BU ⁴⁾	U ⁴⁾	+
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	+ ⁵⁾	+	+	BU ⁵⁾	U ⁵⁾	+
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	+ ⁶⁾	+	+	BU ⁶⁾	U ⁶⁾	+
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	+ ⁷⁾	+	+	BU ⁷⁾	U ⁷⁾	+
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	+ ⁸⁾	+	+	BU ⁸⁾	U ⁸⁾	+

1) zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 30 µg/L und wenn Kupfer ≤ 60 µg/L und wenn PAK15 ≤ 0,6 µg/L **und wenn Vanadium ≤ 60 µg/L;**

2) zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 25 µg/L und wenn Kupfer ≤ 50 µg/L und wenn PAK15 ≤ 0,5 µg/L **und wenn Vanadium ≤ 50 µg/L;**

~~3)~~ 4) zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 75 µg/L und wenn PAK15 ≤ 1,5 µg/L;

4) 3) zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 35 µg/L und wenn Kupfer ≤ 65 µg/L und wenn PAK15 ≤ 0,7 µg/L **und wenn Vanadium ≤ 65 µg/L;**

5) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 25 µg/L und wenn Kupfer ≤ 55 µg/L und wenn PAK15 ≤ 0,5 µg/L **und wenn Vanadium ≤ 55 µg/L;**

6) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 25 µg/L und wenn Kupfer ≤ 50 µg/L und wenn PAK15 ≤ 0,5 µg/L **und wenn Vanadium ≤ 50 µg/L;**

7) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 45 µg/L und wenn Kupfer ≤ 95 µg/L und wenn PAK15 ≤ 0,9 µg/L **und wenn Vanadium ≤ 95 µg/L;**

8) zulässig, wenn Chrom, ges. ≤ 100 µg/L und wenn PAK15 ≤ 2,0 µg/L,

Fußnoten innerhalb von Wasserschutzgebieten: wenn Fußnoten gelten, ist RC-1 zulässig ohne Einschränkungen

Ersatzbaustoff: RC-2							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
			Sand	Lehm/Schluff /Ton	WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete
1	2	3	4	5	6		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	/	/	/	/	/	/
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	/	/	/	/	/	/
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	-	+ ¹⁾	+	BU ¹⁾	U ¹⁾	U
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	+ ²⁾	+	BU ²⁾	U ²⁾	U
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	-	+ ³⁾	+	BU ³⁾	U ³⁾	U
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	-	+ ³⁾	+	BU ³⁾	U ³⁾	U
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	U
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	-	+ ⁵⁾⁴⁾	+	BU ⁵⁾⁴⁾	U ⁵⁾⁴⁾	U
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	+ ⁶⁾⁵⁾	+	BU ⁶⁾⁵⁾	U ⁶⁾⁵⁾	U
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	-	+ ⁷⁾⁶⁾	+	BU ⁷⁾⁶⁾	U ⁷⁾⁶⁾	U
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+	+	BU	U	+

1) zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 405 µg/L und wenn Vanadium ≤ ~~270~~ **200** µg/L

2) zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 315 µg/L und wenn Vanadium ≤ ~~210~~ **150** µg/L

3) zulässig, wenn Vanadium ≤ 440 µg/L

~~3)~~ **4)** zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 365 µg/L und wenn Vanadium ≤ 180 µg/L

~~4)~~ **5)** zulässig, wenn Chrom, ges ≤ 295 µg/L und wenn Vanadium ≤ 140 µg/L

~~5)~~ **6)** zulässig, wenn Vanadium ≤ 620 µg/L

Ersatzbaustoff: RC-3							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	/	/	/	/	/	/
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	/	/	/	/	/	/
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	-	-	+	-	-	U
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+ -	+		U -	U
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	-	-	+	-	-	U
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	-	- +	+	-	- U	U
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	-	-	-	-	-	-
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	-	-	-	-	-
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	-	-	-	-	-	-
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	-	+¹⁾	+¹⁾	BU¹⁾	U¹⁾	U

1) zulässig, wenn Sulfat ≤ ~~1095~~ **1645** µg/L

Ersatzbaustoff: SWS-2							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
Sand	Lehm/Schluff /Ton		WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasservor- ranggebiete		
		1	2	3	4	5	6
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	/	/	/	/	/	/
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	/	/	/	/	/	/
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	-	+ ^{1) 3)}	+ ¹⁾	BU ^{1) 3)}	U ¹⁾	U
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	-	+ ^{2) 4)}	+ ²⁾	BU ^{2) 4)}	U ²⁾	U
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	/	/	/	/	/	/
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	/	/	/	/	/	/
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	/	/	/	/	/	/
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	/	/	/	/	/	/

1) zulässig, wenn Molybdän ≤ 105 µg/L

2) zulässig, wenn Molybdän ≤ 90 µg/L

3) zulässig, wenn 1) gilt und wenn Vanadium ≤ 200 µg/L;

4) zulässig, wenn 2) gilt und wenn Vanadium ≤ 150 µg/L