



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

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

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

Berichtsblatt

1. Berichtsnummer BMU/UBA-FB Zwischenbericht 2010, Schlussbericht mit Ergänzungen 06/ 2012	2.	3.
4. Titel des Berichts Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) im Schlußbericht 06/2012		8. Abschlussdatum: 31.12.2011 9. Veröffentlichungsdatum 31.01.2012
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Zentrum für Angewandte Geowissenschaften der Universität Tübingen, Sigwartstr. 10, 72076 Tübingen		10. UFOPLAN-Nr.: 3707 74 301 11. Seitenzahl: 242 (+ 115 als Anhang)
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. Literaturangaben 84 13. Tabellen 35 (+ 84 im Anhang) 14. Abbildungen 56 (+ 6 im Anhang)
15. Zusätzliche Angaben Zwischenbericht 2010, Schlussbericht mit Ergänzungen 06/ 2012		
16. Zusammenfassung <p>Begleitend zu den Verordnungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und vor dem Hintergrund der Ergebnisse des Verbundprojektes „Sickerwasserprognose“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurden am Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW) praxisgeeignete und vollzugstaugliche Vorschläge für eine Verbesserung bestehender Methoden und Bewertungssysteme und neue Konzepte für die verschiedenen Rechtsbereiche erarbeitet. Auf dieser Basis wurden im Rahmen des hier vorgestellten Ergänzungsvorhabens Bewertungskriterien für mineralische Ersatzbaustoffe abgeleitet.</p> <p>Basierend auf Ergebnissen aktueller Forschungen zur Stofffreisetzung aus mineralischen Materialien und zum reaktivem Stofftransport in der ungesättigten Zone entwickelten Susset & Leuchs (2008) ein Fachkonzept, mit dem eine aus Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes einheitliche, fachlich begründete Bewertung des Einbaus mineralischer Ersatzbaustoffe im Erd- und Straßenbau vorgenommen werden kann. Das BMU hat dieses Fachkonzept im ersten Arbeitsentwurf einer Verordnung „über den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz-Verordnung“ (AE 1 EBV) weitgehend umgesetzt und den AE 1 EBV Ende 2007 veröffentlicht.</p> <p>Das Fachkonzept basiert auf einer ganzheitlichen und dem Stand des Wissens entsprechenden Bewertung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen (z.B. mineralische Abfälle, aufbereitetes Bodenmaterial, Schlacken und Aschen Recyclingprodukte, usw.) in technischen Einbauweisen (z.B. Straßendämme) und in dauerhaften Verfüllungen unter Berücksichtigung der relevanten Freisetzungs- und Transportprozesse. Für jeden gängigen Einsatzbereich mineralischer Ersatzbaustoffe wird eine spezifische maximale Konzentration eines Stoffes in Säulenkurzeluaten bis zu einem Wasser- zu Feststoffverhältnis (<i>WF</i>) von 2 berechnet. Dabei werden technische Randbedingungen und politische Konventionen aus dem vorsorgenden Grundwasser- und Bodenschutz berücksichtigt, um nach aktuellem Stand des Wissens nachteilige Auswirkungen auf Boden und Grundwasser mit hinreichender Sicherheit auszuschließen. Berücksichtigt wurden der Konzentrationsrückgang leichtlöslicher Salze (z.B. Chlorid und Sulfat) in der Quelle, die Retardation und der Abbau gelöster Stoffe im Sickerwasser und die Stoffanreicherung im Unterboden sowie die hydraulischen Eigenschaften von technischen Bauwerken und mineralischen Ersatzbaustoffen in spezifischen Einbauweisen. Für die Bewertung der Zulässigkeit eines mineralischen Ersatzbaustoffes in einer bestimmten Einbauweise wurden die Eluatqualitäten auf Basis von Säulenversuchen bis zu einem Wasser-/zu Feststoffverhältnis von 2:1 mit zahlreichen Proben evaluiert und Materialwerte für die verschiedenen mineralischen Ersatzbaustoffe abgeleitet und mit den medienschutzbasierten Einbauwerten verglichen. Der Begriff „medienschutzbasiert“ bezieht sich hier auf die Umweltmedien Boden und Grundwasser.</p> <p>In der geplanten ErsatzbaustoffV wird dieses Fachkonzept anhand einfacher aber detaillierter Tabellen umgesetzt, welche die Materialqualitäten von mineralischen Ersatzbaustoffen klassifizieren und die zulässigen Einbauweisen ausweisen. Hierzu führt das BMU ein Güteüberwachungssystem mit spezifischen Testprogrammen (Materialwerte, Anzahl und Turnus), basierend auf genormten Säulenversuchen rechtverbindlich ein.</p> <p>Im Rahmen des hier vorgestellten Ergänzungsvorhabens wurden erstmals Bauweisen der Bahn betrachtet und Straßendambauweisen in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sowie mit der Bundesanstalt für Straßenwesen erneut modelliert. Für beide Szenarien wurden medienschutzbasierte Einbauwerte berechnet. Dabei wurden aktuell erhobene Filterkapazitäten von Böden und Bezugsmaßstäbe (Hintergrund- und methodenspezifische Konzentrationen im Sickerwasser natürlicher Böden), Sorptionsisothermen von Herbiziden und über ein Linearisierungsverfahren neu bestimmte Verteilungskoeffizienten für Vanadium berücksichtigt.</p> <p>Dies geschah in Abstimmung mit dem BMU und in enger Zusammenarbeit mit Länderarbeitsgemeinschaften, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und dem Umweltbundesamt. Zwischenzeitlich wurden zusätzlich über 700 Datensätze in <i>WF</i> 2-Säuleneluaten, untergeordnet auch in <i>WF</i> 2-Schütteluaten durch Verbände und einzelne Landesfachbehörden erhoben, die ebenfalls zur Ableitung von Materialwerten und von Verwertungsquoten für Folgeabschätzungen der ErsatzbaustoffV im Hinblick auf die materiellen Anforderungen der ErsatzbaustoffV für die verschiedenen mineralischen Ersatzbaustoffe verwendet wurden. Alle Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit den betroffenen Branchen. Die hier vorgestellten Weiterentwicklungen werden durch das BMU im Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV weitestgehend umgesetzt (veröffentlicht als Artikel 2 des ersten Arbeitsentwurfs einer Mantelverordnung „zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material“ im Januar 2011).</p>		
17. Schlagwörter Boden- und Grundwassergefahrenbeurteilung; Regelungskonzept; mineralischer Ersatzbaustoff; Stofffreisetzung; Säulenversuch; technische Bauwerke; Transport; Filterkapazität, ErsatzbaustoffV, Verwertungsquote		
18. Preis		

Report Cover Sheet

1. Report No. Interim Report 2010, extended final report in 06/2012	2.	3.
4. Report Title Further development of criteria to evaluate the harmless and proper use of mineralic Recycling materials and assessment of alternative evaluation proposals		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) in the final report 06/2012	8. Report Date: 31.12.2011 9. Publication Date: 31.01.2012	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Centre for Applied Geosciences of the University of Tübingen, Sigwartstr. 10, 72076 Tübingen	10. UFOPLAN-Ref. No.: 3707 74 301 11. No. of pages: 242 (+ 115 in annex)	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau	12. No. of References: 84 13. No. of Tables: 35 (+ 84 in annex) 14. No. of Figures: 56 (+ 6 in annex)	
15. Supplementary Notes: Interim Report 2010, extended final report in 06/2012		
16. Abstract <p>Parallel to the legislative procedure of the German Federal Ministry of Environment (German Federal Decree for the Use of Mineral Recycling Materials and Amendment of German Federal Soil Protection Decree) and with respect to the results of the German joint research project "Sickerwasserprognose" of the Federal Ministry of Research and Technology (BMBF) a strong demand exists for the improvement of existing methods und regulation systems and for the establishment of new regulatory concepts. For that purpose the LANUV NRW evaluated the results of the BMBF-joint research project "Sickerwasserprognose" with respect to practical proposals for regulations. These were further developed within this follow- up project of the Centre for Applied Geosciences of University of Tübingen (ZAG).</p> <p>Based on the results of recent studies in Germany which focused on contaminant leaching from various materials and reactive solute transport in the unsaturated soil zone to identify the key factors for groundwater risk assessment, Susset & Leuchs (2008, www.uba.de) developed new and improved existing methods for the new regulatory concept in the upcoming "Decree for the Requirements of the Use of Alternative Mineral Building Materials in Technical Constructions and for the Amendment of the Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance" of the German Federal Ministry of Environment, which was publishes as a first Draft in the end of the year 2007. The new concept aims at a holistic and scientifically sound assessment of the use of mineral recycling materials (e.g. mineral waste, soil materials, slag and ashes, recycling products, etc.) in technical constructions (e.g. road dams) and permanent applications (e.g. backfilling and landscaping) which is based on a mechanistic understanding of leaching and transport processes. Fundamental for risk assessment are leaching standards for the mineral recycling materials.</p> <p>For each application of mineral recycling materials specific maximum concentrations of a substance in <i>LS</i> (liquid- to solid ratio) 2-eluates, which are suitable to describe the seepage water at the bottom of an application, were calculated. Technical boundary conditions and policy conventions derived from the "German precautionary groundwater and soil protection policy" were accounted for in order to prevent adverse effects on the environmental media soil and groundwater. This includes the rapid concentration decline of highly soluble substances (e.g. chloride and sulphate), retardation or attenuation of solutes, accumulation of contaminants in sub-soils and the hydraulic properties of recycling materials used for specific applications. To decide whether the use of a mineral recycling material is possible in a specific application, the leaching qualities were evaluated based on column percolation tests with various samples to derive material values to classify material quality and compared with application-specific maximum concentrations.</p> <p>In the upcoming federal decree this concept is realized using detailed tables, which classify the quality of mineral recycling materials and demonstrate potential applications. A quality assurance system will be mandatory which defines specific testing programs (material properties and limit concentrations to be tested, number and schedule of testing) for the different mineral recycling materials using standardized methods (column percolation test).</p> <p>Within the follow-up project, which is reported here, several technical construction scenarios for railway tracks were modelled and street dam scenarios were re-modelled based on improved harmonized input parameters derived in close collaboration with the Federal Ministry of Transport Building and Urban Development and the Federal Highway Research Institute. The media related application values were calculated or adjusted for these constructions and adapted to new filter capacity criteria of soils, background values as target values in the seepage water and adjusted sorption isotherms for herbicides and recalculated distribution coefficients of vanadium based on an established linearization method of sorption isotherms. The work was done in close collaboration with the related Working Groups of the Federal States and the Federal Institute for Geosciences and Resources and the Federal Environmental Agency. More than 700 new datasets of <i>LS</i> 2-eluates of column test and partly batch tests were evaluated to derive and adapt the material values for the different mineral recycling materials and to derive recycling quotas for impact assessment with regard to the environmental requirements of the upcoming German Recycling Degree. All these further developments are implemented in the upcoming Draft of the Recycling Degree in 2011.</p>		
17. Keywords Soil- and groundwater risk assessment; regulatory concept; mineral recycling material; leaching; column percolation test; technical construction; retardation, attenuation and accumulation; quality assurance system, German Recycling Degree, recycling quota		
18. Preis	19.	20.

Hinweis zu Status und Struktur des Fachberichts gemäß A/BNBest-P/BMU:

Gemäß „Allgemeiner und Besonderer Nebenbestimmungen für Zuwendungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Projektförderung für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf Aufgabenbasis“ (A/BNBest-P/BMU), Stand Mai 2006, ist innerhalb von sechs Monaten nach Erfüllung des Zweckes, spätestens jedoch mit Ablauf des sechsten auf den Bewilligungszeitraum folgenden Monats, dem Zuwendungsgeber ein Schlussbericht (Sachbericht des Verwendungsnachweises nach Nr. 6 ANBest-P/GK) entsprechend einem vorgegebenem Muster vorzulegen.

Da das hier vorgestellte Projekt eine Laufzeit bis 31.12.2011 hat, wird der Schlussbericht erst bis spätestens 06/2012 fällig. Mit dem BMU wurde jedoch vereinbart, bereits bis Ende 01/2011 einen vorgezogenen Fachbericht als Zwischenbericht zu veröffentlichen, um für Transparenz und Nachvollziehbarkeit für die Bewertungen im zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV (veröffentlicht als Artikel 2 des ersten Arbeitsentwurfs einer Mantelverordnung „zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von mineralische Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material“) herzustellen. Im Jahr 2012 wird ein Schlussbericht mit den Ergebnissen der bis Ende 2011 durchzuführenden fachlichen Arbeiten für das Verordnungsverfahren veröffentlicht.

Die Struktur dieses Fachberichts ist nach A/BNBest-P/BMU wie folgt vorgegeben:

I. Kurze Darstellung (*hier: Einführung und Projektübersicht*) zu

1. Kurzdarstellung, 2. Aufgabenstellung (*hier: Anlass und Aufgabenstellung*) 3. Voraussetzungen, 4. Planung und Ablauf des Vorhabens (*hier: nach Kapitel „wiss. und technischer Stand“*), 5. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere - Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden, - Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste (*hier: im Literaturverzeichnis*), 6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

II. Eingehende Darstellung (*hier: Eingehende Darstellung der Ergebnisse der Weiterentwicklungen des Fachkonzepts für AE 2 EBV*)

1. Ergebnisse (*hier: Darstellung der Ergebnisse in Kapiteln 1-9*)

III. Fragenkatalog nach A/BNBest-P/BMU (wird mit dem Schlussbericht eingereicht)

1. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit, 2. Verwendung der Zuwendung hinsichtlich der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises, 3. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans, 4. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen, 5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

IV. Dem Schlussbericht ist als Anlage ein kurz gefasster Erfolgskontrollbericht beizufügen, der nicht veröffentlicht wird (nicht Bestandteil dieses Berichts).

V. Mit dem Schlussbericht ist außerdem eine "Kurzfassung" (Berichtsblatt) des wesentlichen fachlichen Inhalts des Schlussberichts vorzulegen (*hier: dem Fachbericht als Berichtsblatt in deutscher und englischer Sprache vorangestellt*).

Hinweis für LeserInnen

Die Berichtsteile können nach Lesen von Kapitel 1 auch separat betrachtet werden, da das Wesentliche wiederholt wird:

Kapitel 1, Teil I: kurzer allgemeiner Überblick und Einführung in die Thematik

Kapitel 4 Teil I: wissenschaftlicher Hintergrund (Grundlagenteil)

Kapitel 5 Teil I: allgemeine Beschreibung der fachlichen Änderungen für AE 2 EBV

Teil II: technischer Teil zur detaillierten Nachvollziehbarkeit (auch Nachrechnung) der Grenzwerte

Anhang 6: Branchenspezifische Messdaten und Auswertungen zur Bestimmung der Materialwerte nach Anhang 1 EBV in der MantelV (BMU, 2011)

Inhaltsverzeichnis

Teil I Einführung und Projektübersicht

1	Kurzdarstellung des Fachkonzepts, Definitionen, Ablaufschemen für die medienschutzbasierte Beurteilung von mineralischen Ersatzbaustoffen	11
2	Veranlassung und Aufgabenstellung	18
3	Voraussetzung	19
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	20
4.1	Ableitungssystematik des LANUV NRW	20
4.1.1	Verzahnung des wissenschaftlichen Konzepts mit politisch-rechtlichen Konventionen	20
4.1.2	Generalisierter Ansatz zur Ableitung von Qualitätskriterien im Eluat von mineralischen Ersatzbaustoffen als Regelungskonzept für die ErsatzbaustoffV	24
4.1.3	Quellterm.....	26
4.1.3.1	Eignung von Feststoffgehalten für die Bewertung des Quellterms bzw. zur Prognose des Grundwasser- und Bodengefahrenpotentials	26
4.1.3.2	Säulenversuch als Referenzverfahren zur Untersuchung des Quellterms und zur Klassifizierung von Materialqualitäten mit Referenzkonzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten	30
4.1.3.3	Stofffreisetzungsszenarien zur Schematisierung des Quellterms	33
4.1.3.4	Numerische Modellierung der Verdünnungseffekte in technischen Bauwerken ...	36
4.1.3.5	Ableitung medienschutzbasierter Einbauwerte für Salze (Quellterm)	38
4.1.3.6	Diskussion der WF 2-Konvention zur Ermittlung einer mittelfristig konstanten Referenzkonzentration zur Quelltermprognose	39
4.1.4	Transportterm – Transportprognose	43
4.1.4.1	Ableitung medienschutzbasierter Einbauwerte für retardierbare und / oder abbaubare Stoffe.....	43
4.1.4.2	Wesentliche Einflussgrößen auf die Höhe medienschutzbasierter Einbauwerte ..	45
4.1.5	Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5	46
4.1.6	Ableitung von Materialwerten, Materialklassen und zulässigen Einbauweisen.....	48
4.2	Umsetzung des Fachkonzepts im ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV	49
5	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	51
5.1	Überarbeitung und Neuableitung medienschutzbasierter Einbauwerte	51
5.1.1	Numerische Modellierung der Durchströmung von Straßendammbauweisen und Hinterfüllungen mit neuen Inputparametern nach Studie der BaSt von 2008 sowie Neumodellierung von Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG nach Studie des ZAG von 2010	51
5.1.2	Korrektur des Anreicherungskriteriums von Blei (Filterkapazität von Blei) nach Empfehlung des BOVA der LABO von 2008	52
5.1.3	Geänderte Bezugsmaßstäbe nach Studie der BGR aus 2010	52
5.1.4	Geänderte Sorptionsisothermen für AMPA und sonstige Herbizide sowie für Glyphosat nach Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg von 2008	53
5.1.5	Aussetzung des Durchbruchkriteriums für AMPA gemäß Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg von 2010 und Berechnung der medienschutzbasierten Einbauwerte für AMPA (Gleisschotter) auf Basis des Anreicherungskriteriums.....	53
5.1.6	Geänderte Linearisierung der Sorptionsisotherme von Vanadium nach Empfehlung durch das BMU aufgrund Expertengespräch vom 05.11.2010.....	54
5.2	Überarbeitung und Neueinführung von Materialwerten und -klassen	55
5.2.1	Bewertung und Neuaufnahme von Kupferhüttenschlacken (CUM) und Braunkohleflugaschen (BFA) in AE 2 EBV	55
5.2.2	Auswertung neuer Datengrundlagen zur Überprüfung bzw. Anpassung von Materialwerten.....	55

5.3	Überarbeitung und Neueinführung von Einbautabellen	57
5.3.1	Aktualisierung der Einbautabellen	57
5.3.2	Redaktionelle Überarbeitung der Einbautabellen	57
5.3.3	Gegenüberstellung von Vorschlägen für die Bewertung geschlossener Einbauweisen	57
5.4	Normung und Validierung, Vergleichsdatensätze Säulenversuch/Schüttelversuch	57
5.4.1	Normung, Validierung	57
5.4.2	Auswertung von Vergleichsdatensätzen Säulenversuch/Schüttelversuch	58
5.5	Entwicklung von Vorschlägen für die Güteüberwachung	59
5.6	Ableitung von Verwertungsquoten unter Berücksichtigung der materiellen Anforderungen der EBV, Validierung mit Praxisdatensätzen	59
5.6.1	Ableitung von Verwertungsquoten	59
6	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	60

Teil II Eingehende Darstellung der Ergebnisse der Weiterentwicklungen für den zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV in der MantelV (BMU, 2011)

1	Allgemeinverständlichen Darstellung der Ableitungsmethodik in der Fachöffentlichkeit..	62
1.1.1	Nationale und internationale Fachkonferenzen, Seminare und Workshops (Vorträge und Seminarunterlagen, Abhaltung von Seminaren)	62
1.1.2	Fachbegleitung des BMU in Branchen- und Arbeitskreissitzungen mit Bundesressorts, Länderarbeitsgemeinschaften und sonstigen Gremien	66
1.1.2.1	Bundesressorts, Bundesfachbehörden (z.B. Ressortabstimmungen, Fachgespräche, etc.)	66
1.1.2.2	Bund-Ländergespräche, Länderministerien, Länderfachbehörden (Abstimmungssitzungen, Informationsgespräche)	67
1.1.2.3	Länderarbeitsgemeinschaften, Fachbeiräte	67
1.1.2.4	Industrie (z.B. Branchengespräche)	68
1.1.2.5	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), RAL, F&E-Beiräte	69
1.1.3	Erarbeitung von fachlichen Stellungnahmen	69
1.1.3.1	Synopsen zu den Stellungnahmen des Fachbeirats zum Fachberichtsentwurf Susset & Leuchs in der Version vom 06.12.2007	69
1.1.3.2	Sonstige Stellungnahmen und Begründungen zum Fachkonzept	70
2	Erarbeitung von Normverfahren für die Bundesverordnungsvorhaben	72
3	Numerische Modellierung der Durchströmung von technischen Bauwerken zur Ableitung der bauwerksspezifischen Eingangsgrößen für die weitere medienenschutzbasierte Beurteilung	74
3.1	Allgemeines	74
3.1.1	Veranlassung	74
3.1.2	Modellauswahl, Einsatzbereiche und Referenzen	75
3.1.3	Beschreibung des numerischen Modells MIN3P	78
3.1.4	Modellverifizierung - MIN3P versus GeoSys	79
3.1.5	Nachvollziehbarkeit der numerischen Modellierungen	79
3.1.6	Unsicherheiten numerischer Durchströmungsmodellierung	81
3.2	Straßendammmodelle mit neuen Inputparametern der BaSt	82
3.2.1	Begründungen der Umsetzung/Nichtumsetzung der Empfehlungen der BaSt	82
3.2.1.1	Auswirkung von Parameteränderungen	82
3.2.1.2	Nicht umgesetzte Parameteränderungen der BaSt - Begründungen	83
3.2.2	Modellinputkatalog der Straßendammmodelle	85

3.2.2.1	Geometrie der Straßendämme	85
3.2.2.2	Material- und Hydraulikparameter.....	86
3.2.2.3	Modelldiskretisierung	86
3.2.2.4	Niederschlag, Abflussbeiwert und Infiltration	89
3.2.3	Simulationsergebnisse	90
3.2.3.1	Abflussprofile MIN3P.....	91
3.2.3.2	Graphische Darstellung der Durchströmung - Verteilung von Geschwindigkeitsvektoren aus MIN3P	93
3.2.3.3	Graphische Darstellung der Wassersättigung aus MIN3P	96
3.2.3.4	Modellverifizierung mit GeoSys am Beispiel des niedrigen Straßendamms	98
3.2.3.5	Quantifizierung der Gesamtsickerwassermengen im Bauwerk, der Sickerwassermengenanteile an den Unterkanten verschiedener straßenbautechnisch relevanter Schichten und der resultierende Verdünnungsfaktoren.....	102
3.2.4	Zusammenfassung der Eingangsgrößen für die weitere medianschutzbasierte Beurteilung und Kennzeichnung der Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a) 103	
3.3	Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG	107
3.3.1	Modellinputkatalog der Bahnmodelle.....	107
3.3.1.1	Geometrie der Bahnbauwerke	107
3.3.1.2	Material- und Hydraulikparameter.....	109
3.3.1.3	Modelldiskretisierung	114
3.3.1.4	Niederschlag, Abflussbeiwert und Infiltration	116
3.3.2	Simulationsergebnisse	118
3.3.2.1	Abflussprofile aus MIN3P exemplarisch für Bahnbauweise H.....	118
3.3.2.2	Graphische Darstellung der Durchströmung der Bahnbauweisen – Verteilung von Geschwindigkeitsvektoren aus MIN3P	119
3.3.2.3	Graphische Darstellung der Wassersättigung aus MIN3P exemplarisch für Bahnbauweise H	121
3.3.2.4	Quantifizierung der Gesamtsickerwassermengen im Bauwerk, der Sickerwasseranteile an den Unterkanten verschiedener bahnbauweise relevanter Schichten und resultierende Verdünnungsfaktoren für alle Bahnbauweisen.....	122
3.3.3	Zusammenfassung der bauwerksspezifischen Eingangsgrößen für die weitere medienschutzbasierte Beurteilung von Bahnbauwerken.....	126
4	Modellierung der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für retardierbare und abbaubare Stoffe und Salze	128
4.1	Transportprognose für retardierbare und / oder abbaubare Stoffe.....	128
4.1.1	Allgemeines.....	128
4.1.2	Eingangsgrößen.....	130
4.1.2.1	Sickerwasserraten und Transportszenarien	130
4.1.2.2	Bodenkennwerte	131
4.1.2.3	Verteilungskoeffizienten	131
4.1.2.4	Geänderte Bezugsmaßstäbe nach BGR-Studie 2010.....	140
4.1.2.5	Maximale Filterkapazitäten für die Anreicherungsrechnung.....	141
4.1.3	Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen	143
4.1.3.1	Durchbruchskriterium	143
4.1.3.2	Anreicherungskriterium	145

4.1.3.3	Berechnungsergebnisse Durchbruch versus Anreicherung	146
4.1.3.4	Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen für die Ableitung von ME	151
4.1.3.5	Nachvollziehbarkeit der Transportberechnungen (Anreicherung/Durchbruch) - Vergleichsberechnungen mit ALTEX 1D	162
4.2	Quelltermprognose für leichtlösliche Substanzen.....	166
4.2.1	Abklingfunktionen.....	166
4.2.1.1	Rückblick Ableitungskonzept Susset & Leuchs	166
4.2.1.2	Weiterentwicklungen in Grathwohl & Susset (2009).....	167
4.2.1.3	Bewertung des Abklingverhaltens von Sulfat im Eluat von Braunkohleflugaschen 170	
4.2.1.4	Bewertung des Abklingverhaltens von Sulfat und Fluorid im Eluat von Edeltahlschlacken	171
4.2.2	Zusammenfassung der Eingangsgrößen für die Ableitung von ME von Salzen und Kennzeichnung der Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)	173
4.2.3	Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Salzen	174
5	Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten.....	178
5.1	Berechnung.....	178
5.2	Abschließende medianschutzbasierte Einbauwerte für die Bewertung der Zulässigkeit von MEB in technischen Bauwerken nach AE 2 EBV (MantelV, 2011)	181
6	Ableitung von Materialwerten im Eluat für mineralische Ersatzbaustoffe	195
6.1	Erläuterungen zu den Datengrundlagen und Auswertungen im Anhang	195
6.2	Abschließende Materialwertetabelle	197
7	Ableitung der zulässigen Einbauweisen (Einbautabellen) für AE 2 EBV (Anhänge 2.2 und 2.3 des Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011)).....	201
7.1	Änderungen bei den Einbautabellen gegenüber Susset & Leuchs (2008a) bzw. AE 1 EBV 201	
7.2	Bewertung der Zulässigkeiten von MEB in den Einbautabellen	201
7.2.1	Wasserdurchlässige Bauweisen außerhalb von Wasserschutzgebieten	201
7.2.2	Wasserdurchlässige Bauweisen innerhalb von Wasserschutzgebieten.....	202
7.2.3	Geschlossene Bauweisen.....	202
7.3	Abschließende Einbautabellen	205
8	Vergleichsuntersuchungen Säulenversuch versus Schüttelversuch.....	206
8.1	Geplante Güteüberwachung mit Säulenversuchen	206
8.2	Fragestellung und Vorgehensweise.....	208
8.3	Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Säulen- und Schüttelverfahren: Theorie	208
8.4	Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Säulen- und Schüttelverfahren: Praxis	209
8.4.1	Gleisschotter (GS).....	211
8.4.2	RC-Baustoffe (RC)	211
8.4.3	Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA).....	215
8.4.4	Braunkohleflugaschen (BFA)	215
8.4.5	Gießereirestsande (GRS)	215
8.4.6	Gießereikupolofenschlacken (GKOS).....	215
8.4.7	Stahlwerksschlacken (SWS).....	216
8.4.8	Hüttensande (HS)	220
9	Verwertungsquoten unter alleiniger Berücksichtigung umweltrelevanter Merkmale (Materialwerte nach AE 2 EBV, BMU, 2011).....	221
9.1.1	RC-Baustoffe (RC)	221
9.1.2	Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA).....	229
9.1.3	Schmelzkammergranulat (SKG)	229

9.1.4	Steinkohlenkesselasche (SKA)	229
9.1.5	Steinkohleflugasche (SFA)	230
9.1.6	Braunkohlenflugaschen (BFA)	230
9.1.7	Gießereirestsande (GRS)	231
9.1.8	Gießereikupolofenschlacken (GKOS)	231
9.2	Kupferhüttenmaterialien (CUM)	232
9.3	Stahlwerksschlacken (SWS)	233
9.4	Hüttensande	236
9.5	Edelstahlschlacken	236
10	Literatur	237

Abkürzungsverzeichnis

AK - Anreicherungskriterium
ALA – Ständiger Ausschuss "Altlasten" der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
AMPA – Aminomethylphosphonsäure (Herbizid)
ASTM - American Society for Testing and Materials
B1 - B15 - Bahnbauweisen
BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BaSt - Bundesanstalt für Straßenwesen
BBodSchG – Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV – Bundes-Bodenschutzverordnung
BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BDG - Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie
BDI - Bundesverband der Deutschen Industrie
BFA - Braunkohlenflugasche
BG - Bestimmungsgrenze
BM – Bezugsmaßstab
BMBF - Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMU
BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BOVA - Ständiger Ausschuss "Vorsorgender Bodenschutz" BOVA der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
BRB- Bundesvereinigung Recyclingbaustoffe, Duisburg
BTEX – Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
BÜK – Bodenübersichtskarte
BVZ – Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie
CEN - European Committee for Standardization
CEN TC 351 – Committee Construction Products – “Assessment of Release of Dangerous Substances of CEN”
CPD – Construction Products Directive
CSB – Chemischer Sauerstoffbedarf
DOC – Dissolved Organic Carbon
DIN – Deutsches Institut für Normung
DB – Deutsche Bahn AG
DIN NAW - Normenausschuss Wasserwesen des DIN
DK - Durchbruchskriterium
DEV S 4 - Deutschen Einheitsverfahren zur Untersuchung von Schlamm und Sedimenten
EBV - Ersatzbaustoffverordnung
ECN – Energy Centre of the Netherlands
EDS – Edelstahlschlacken
EOS - Elektroofenschlacken
EPA PAK – Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe nach Stoffliste des Environmental Protection Agency (USA)
EW - Ersatzwert
F&E- Forschung und Entwicklung
FDM - Finite Differenzen Methode
FEhS – Institut für Baustoff Forschung
FEM – Finite Elemente Methode
FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FK - Filterkapazität
FSS - Frostschutzschicht
FÜ - Fremdüberwachung
FVM – Finite Volumen Methode
GAP – Grundsätze des Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz
GC-MS - Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
GFS - Geringfügigkeitsschwellenwert

GIU – Gewerbliches Institut für Umweltanalytik GmbH, Teningen
GKOS – Gießereikupolofenschlacken
GrwV – Grundwasserverordnung
GRS – Gießereirestsand
GS - Gleisschotter
GW - Grundwasser
Hlz – Hochlochziegel bzw. Hintermauerziegel
HMVA – Hausmüllverbrennungssasche
HOS – Hochofenstückschlacke
HS – Hüttensand
HWZ - Halbwertszeit
IGAM - Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von MVA-Schlacken
ISO – International Organization for Standardization
ISTE – Industrieverband Steine und Erden Baden - Württemberg
ITAD - Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen Deutschland
KA 4 - Bodenkundliche Kartieranleitung
KG – Korngemisch
KM – Ingenieurbüro und Prüfinstitut für Straßenbau- und Umwelttechnik GmbH, Bochum
LABO - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LANUV NRW – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, NRW, Recklinghausen
LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LDS – Stahlwerksschlacke aus dem Linz-Donawitz-Verfahren
LHKW - Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
MantelV - Mantelverordnung
ME – medienschutzbasierter Einbauwert
MEB – mineralischer Ersatzbaustoff
MKW - Mineralölkohlenwasserstoffe
MW - Materialwert
NAW/NABau - Normungsausschuss Bauwesen (NABau), GA "Gemeinschaftsarbeitsausschusses NABau/NAW; Boden und Grundwasser"
O. d. B – Ort der Beurteilung
Perz. - Perzentil
PSS - Planumsschutzschicht
QRB - Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e. V., Ostfildern
RAS-Ew - Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung
RC – Recycling, meist benutzt in Verbindung mit Baustoff (RC-Baustoff)
RuA-StB - Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau
SFA - Steinkohlenflugaschen
SiWaP - Sickerwasserprognose
SKA – Steinkohlenkesselasche
SKG - Schmelzkammergranulat
STS - Schottertragschicht
SWN – Sickerwasserneubildung
SWS – Stahlwerksschlacke aus der Massenstahlerzeugung (umfasst LDS und EOS)
TCE - Tetrachlorethen
TL Gestein-StB - Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau
TOC – Total Organic Carbon
TS – Technical Specification (Vornorm)
TVO - Trinkwasserverordnung
UBA – Umweltbundesamt

UFOPLAN – Umweltforschungsplan

U-VAGE - Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe der BaSt und des BMVBS

VGB – VGB PowerTech (Vereinigung der Großkesselbesitzer)

VMz - Vormauerziegel

VO - Verordnung

WASCON - International Conference on the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials

WF – Wasser- zu Feststoffverhältnis

WHG – Wasserhaushaltsgesetz

WPK – Werkseigene Produktionskontrolle

ZAG – Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Tübingen

ZTV T-StB - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau

Mess- und Modellierungsgrößen:

C_0 – Maximal und / oder Anfangskonzentration im Säuleneluat (auch $c_{w,0}$)

C_w – Konzentration im Wasser

$C_{s,zulässig}$ – maximal zulässige Konzentration im Boden

$C_{w,zulässig}$ – maximal zulässige Konzentration im Wasser

$C_{w,kum}$ - bis zu einem Probenahmezeitpunkt bzw. WF rechnerisch kumulierte Konzentration im Wasser im Wasser (kumulierte Emission bezogen auf die kumulierte Eluatmenge auch $c_{w,kum}$)

C_{org} – organisch gebundener Kohlenstoffgehalt (hier des Bodens)

DOC – dissolved organic carbon: gelöster organisch gebundener Kohlenstoff

D_{Pr} - Proctordichte

D_z – vertikale Dispersivität

FKmax – maximale Filterkapazität

F_{max} – maximal Fracht

F_{QT} – Verdünnungsfaktor im Quellterm

$K [m s^{-1}]$ – hydraulische Leitfähigkeit

K_d – Verteilungskoeffizient eines Stoffes zwischen fester und gelöster Phase

K_{oc} – auf organisch gebundenen Kohlenstoff normierter Verteilungskoeffizient K_d

K_{ow} – Verteilungskoeffizient eines Stoffes zwischen Oktanol und Wasser

$M_{Sickerstrecke}$ – Mächtigkeit der durchsickerten Strecke im Boden

n - Porosität

S - Speicherkoeffizient

S_{ea} – effektive Sättigung

S_{ra} – residuale Sättigung

ST – Sand Ton

SU - Sand Schluff

$T_{zulässig}$ – Beurteilungszeitraum

V_x – horizontale Fließgeschwindigkeit

V_z – vertikale Fließgeschwindigkeit

I. Einführung und Projektübersicht

1 Kurzdarstellung des Fachkonzepts, Definitionen, Ablaufschemen für die medienschutzbasierte Beurteilung von mineralischen Ersatzbaustoffen

Die nachfolgend in Anführungszeichen gesetzten und kursiv gedruckten Begriffe werden in Tabelle 1 erläutert. Abbildungen 1.1. und 1.2 zeigen Ablaufschemen zur Veranschaulichung der Verfahrensschritte bei der Ableitung von „*medienschutzbasierten Einbauwerten*“ für die verschiedenen „*technischen Einbauweisen*“ und zur Ableitung von „*Materialwerten*“ im Säulenkurzeluat bis „*WF*“ 2 nach DIN 19528 (2009) für die Güteüberwachung von „mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB)“ nach AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011).

Nach UBA-Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a, www.uba.de) wurden für verschiedene wasserdurchlässige oder teilwasserdurchlässige „*Einbauweisen*“ von „*mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB)*“ in „*technischen Bauwerken*“, die in den einschlägigen Technischen Regelwerken des Straßen- und Erdbaus und sonstigen Normen eindeutig definiert sind, und für verschiedene „*Bodenszenarien*“ (1 Meter Sand oder 1 Meter Lehm/Schluff/Ton) maximal zulässige Konzentrationen relevanter Stoffe in Säulenkurzeluaten bei einem „*Wasser- zu Feststoffverhältnis (WF)*“ von 2 Liter/Kilogramm nach DIN 19528 (2009) berechnet (so genannte „*medienschutzbasierte Einbauwerte*“). Bei Einhaltung dieser Werte geht man davon aus, dass die „*Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS)*“ bzw. die so genannten „*Bezugsmaßstäbe (BM)*“ am „*Ort der Beurteilung (O.d.B.)*“ im Sickerwasser oberhalb des Grundwassers in Übereinstimmung mit den weiterentwickelten Anwendungsregeln und politischen Konventionen des vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutzes mit hinreichender Sicherheit eingehalten werden können. Im Einzelnen wurden nach dem in Abbildung 1.1 dargestellten Verfahren für Salze (z.B. Chlorid, Sulfat), die nach aktuellem Erkenntnisstand keinen relevanten Rückhalteprozessen unterliegen, auf der Grundlage von Typkurven des Abklingverhaltens Maximalkonzentrationen in Säulenkurzeluaten bis *WF* 2 („*maximal zulässige Quelltermkonzentration*“) berechnet, die ein kurzfristiges Abklingen der Salzkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung (bzw. bereits an der Bauwerksunterkante) berücksichtigen. Bei Salzen spielen Rückhalteprozesse und damit die Lage des Ortes der Beurteilung keine Rolle (das Abklingen der Konzentrationen bis zum Erreichen der GSF erfolgt am Ausgang der Quelle innerhalb von 4 Jahren). Für retardierte Schwermetalle und für retardierend/oder abbaubare Organika wurden Maximalkonzentrationen (maximal zulässige Quelltermkonzentration) in Säulenkurzeluaten bis *WF* 2 berechnet, die nach aktuellem Wissensstand die Einhaltung der „*Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS)*“ bzw. der „*Bezugsmaßstäbe (BM)*“ im Sickerwasser unterhalb einer 1 Meter mächtigen dauerhaft grundwasserfreien Rückhalteschicht (ungesättigte Bodenzone) über einen Beurteilungszeitraum von 200 Jahren erlauben und innerhalb dieses Beurteilungszeitraums die Anreicherung der Stoffe im Feststoff des Bodens gemittelt über 1 Meter Boden auf < 50 % der so genannten „*Filterkapazität (FK)*“ begrenzen. Sie hängen vom Sorptionsvermögen der Stoffe und der Böden und den gemittelten Sickerwasserraten entlang der Bauwerksunterkanten ab (vgl. Abb. 1.1).

Die für jedes Bauwerk und ggf. einzelne Einbauschichten spezifischen „*medienschutzbasierten Einbauwerte (ME)*“ ergeben sich durch Multiplikation der „*maximal zulässigen Quelltermkonzentration*“ mit ggf. vorhandenen bauwerksspezifischen Verdünnungsfaktoren, die sich aufgrund von Verdünnungsprozessen beim Stofftransport innerhalb eines technischen Bauwerks bzw. einer Einbauschicht (z.B. Frostschutzschicht) ergeben können. Abschließend wurden die „*medienschutzbasierten Einbauwerte*“ mit dem „*Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5*“ multipliziert (vgl. Abb. 1.1) Dieser Verhältnismäßigkeits-Faktor wurde durch das BMU zur Berücksichtigung von Unsicherheiten per Konvention festgelegt. Eine quantitative Ableitung eines Verhältnismäßigkeitsfaktors war nicht Gegenstand des Vorläufervorhabens von Susset & Leuchs (2008a) und dieses Ergänzungsvorhabens.

Im Ergebnis resultieren für jede Einbauweise und die verschiedenen Untergrundverhältnisse (ungünstiger Fall: höchster zu erwartender Grundwasserabstand zwischen 0,1 und 1 Meter, günstige Fälle: höchster zu erwartender Grundwasserabstand > 1 Meter und Unterlagerung

von 1 Meter Sand oder Lehm/Schluff/Ton) und für jeden Stoff unterschiedliche medien-schutzbasierte Einbauwerte, die in Susset & Leuchs (2008a) aufgelistet sind und im Rahmen des vorliegenden Projekts überprüft, an den neuen Erkenntnisstand angepasst und ggf. neu berechnet wurden.

Die Verwertung eines mineralischen Ersatzbaustoffes in einer bestimmten Einbauweise und Untergrundkonstellation ist nur dann zulässig, wenn alle ME im Sickerwasser des mineralischen Ersatzbaustoffes eingehalten werden können. In der Praxis kann nicht jeder mineralische Ersatzbaustoff für jede spezifische Einbauweise im Einzelnen untersucht werden. Deshalb müssen allgemein einsetzbare, genormte und geeignete Referenzmethoden zur Abschätzung des Freisetzungsverhaltens der Stoffe in der Quelle (Konzentrationen im Sickerwasser) und zur Bestimmung von Grenzkonzentrationen, die durch einen bestimmten mineralischen Ersatzbaustoff in der Praxis typischerweise eingehalten werden können, eingeführt werden. Hierzu wurde basierend auf Ergebnissen des Forschungsverbundprojekts „Sickerwasserprognose“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), international publizierten Forschungsergebnissen sowie nationalen und internationalen Normungsarbeiten als realitätsnächste Methode der Säulenversuch empfohlen und durch das DIN genormt sowie in Ringversuchen validiert. Per Konvention wird die im Säulenversuch bei *WF 2* ermittelte Konzentration der mittelfristig zu erwartenden mittleren Konzentration im Sickerwasser unterhalb eines technischen Bauwerks, das mineralischen Ersatzbaustoffen enthält, gleichgesetzt.

Nach der in Abbildung 1.2 dargestellten Verfahrensweise wurden zur Ermittlung der bewertungs- und regelungsrelevanten Stoffe und deren Konzentrationsverteilungen eine Vielzahl von Proben in *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 untersucht. Die Eluat-bedingte Qualität eines MEB (*„Materialqualität“*) wurde durch einen Katalog von Grenzkonzentrationen, so genannten *„Materialwerten (MW)“* für die relevanten Stoffe und Parameter für *WF 2* klassifiziert. Stoffe sind per Definition bewertungsrelevant, wenn die 90. Perzentile der Konzentrationen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) der jeweils aktuell verfügbaren Datengrundlagen, die GFS oder BM überschreiten. Regelungsrelevant sind nach EBV (BMU, 2011) nur solche Stoffe, deren Maximalwerte oberhalb der limitierenden medien-schutz-basierten Einbauwerte für die zugelassenen Einbauweisen eines MEB liegen (es macht keinen Sinn Parameter in die regelmäßige Güteüberwachung aufzunehmen, die nach verfügbarer Datenlage immer unterhalb der ME liegen; in der erweiterten Güteüberwachung werden zur Absicherung ein erweiterter Parameterkatalog untersucht und die Ergebnisse dokumentiert).

Im Falle hoher Variabilität der Materialqualitäten eines MEB (verursacht durch eine hohe Variabilität der stofflichen Zusammensetzung eines Massenstroms, wie z.B. Abbruchmaterial bzw. Bauschutt) wurden verschiedene *„Materialklassen“* definiert (vgl. Ablaufschema in Abb. 1.2), indem verschiedene Gruppen von Materialwerten für den gleichen MEB festgelegt werden (z.B. Materialklasse 1 – 3 für Recyclingbaustoffe). Abschließend wird anhand des Vergleichs der Materialwerte eines bestimmten MEB oder ggf. einer bestimmten Materialklasse eines MEB (Materialwerte zusammengefasst in einer so genannten *„Materialwertetabelle“*) mit den medien-schutz-basierten Einbauwerten für die wasserdurchlässigen und teildurchlässigen Einbauweisen entschieden, ob die Verwertung zulässig ist oder nicht („+/-“ - Bewertungen in so genannten *„Einbautabellen“*, siehe Abb. 1.2). In der geplanten ErsatzbaustoffV wird dieses Konzept anhand von detaillierten Materialwertetabellen zur Klassifikation der Materialqualität von MEB und anhand einer sogen. Einbautabelle, welche die zulässigen Einbauweisen in Technischen Bauwerken bzw. spezifischen technischen Einbauschichten demonstriert, umgesetzt. Zur Güteüberwachung wird ein Qualitätskontrollsystem rechtverbindlich eingeführt, welches spezifische Untersuchungsprogramme (zu untersuchende Materialeigenschaften und Materialwerte, Turnus und Anzahl der Untersuchungen) für die verschiedenen mineralischen Ersatzbaustoffe festlegt. Die Untersuchungen basieren auf dem genormten Säulenversuch (DIN 19528, 2009), der im Rahmen der Basischarakterisierung (Eignungstest und erweiterte Fremdüberwachung) als ausführlicher Säulenversuch und im Rahmen der Übereinstimmungsuntersuchung (werkseigene Produktionskontrolle und regelmäßi-

ge Fremdüberwachung) als Säulenkurztest bis *WF* 2 mit jeder Lieferkörnung eines MEB durchgeführt wird.

Tab. 1: Begriffe und Definitionen

Bezeichnungen	Definitionen
„Einbauweisen“	Potenzieller Verwendungszweck eines mineralischen Ersatzbaustoffes, z.B. Einsatz in Bauwerken mit begrenzter Lebensdauer wie Straßendämme und Bahnkörper, Lärmschutzwälle, Parkplätze, ländliche Wege oder in spezifischen technischen Schichten in technischen Bauwerken wie Schottertragschichten, Frostschuttschichten, Unterbau (Damm). Jede Einbauweise ist durch spezifische mittlere Sickerwasserraten, ggf. Verdünnungsfaktoren sowie Mächtigkeit und Einbaudichten der mineralischen Ersatzbaustoffe charakterisiert, die sich mehr oder weniger günstig auf das Freisetzungs- und Transportverhalten der Stoffe auswirken.
„mineralische Ersatzbaustoffe (MEB)“	Anstelle von Primärrohstoffen verwendete Baustoffe aus industriellen Herstellungsprozessen oder aus Aufbereitungs-/Behandlungsanlagen (Abfälle, Produkte) wie z.B. Recyclingbaustoffe (Bauschutt), Bodenmaterial, Schlacken, Aschen, Gleisschotter.
„technische Bauwerke“	Jede mit dem Boden verbundene Anlage oder Einrichtung, die unter Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen hergestellt wird und technische Funktionen erfüllt, wie z.B. Straßen, Eisenbahngleise, Wege und Parkplatzflächen sowie der Ober- und Unterbau von Industrie- und Gewerbeflächen, Leitungsgräben, Baugruben sowie Erdbaumaßnahmen wie Lärm- und Sichtschutzwälle und Deiche. Weiter gehören hierzu auch Aufschüttungen zur Stabilisierung von Böschungen und Bermen sowie Baustraßen bei Abgrabungs- und Verfüllungsmaßnahmen.
„Wasser- zu Feststoffverhältnis (<i>WF</i>)“	Definition nach DIN 19528 (2009): Verhältnis des bis zur Probenahme insgesamt durch den Feststoff geströmten Flüssigkeitsvolumens (hier: Wasser in Liter) zur eingebauten Trockenmasse des zu untersuchenden Feststoffs in der Säule (hier: Feststoff in kg Trockenmasse). Im Falle von technischen Bauwerken der EBV: Verhältnis des innerhalb eines Zeitraums insgesamt durch den Ersatzbaustoff geströmten Sickerwassers (in Liter) zur Masse des Ersatzbaustoffes in einer bestimmten Bauweise (in kg).
„medienschutzbasierte Einbauwerte (ME)“	Der Begriff „medienschutzbasiert“ bezieht sich hier auf den Boden- und Grundwasserschutz. In Abhängigkeit vom Einsatzbereich (hydraulische Eigenschaften der technischen Schicht) den Stoffeigenschaften und den Sorptionseigenschaften der darunterliegenden Bodenzone (ungünstiger Fall: GW-Abstand > 0, 1 m – 1 m keine Rückhaltung; günstiger Fall Sand oder Lehm/Schluff/Ton mit mehr oder weniger hohen Rückhaltepotentialen) sind für die verschiedenen Einsatzbereiche spezifische maximale Konzentrationen eines Stoffes im Sickerwasser an der Unterkante einer technischen Konstruktion mit Ersatzbaustoffen akzeptabel. Ziel ist der Schutz der Umweltmedien Boden und Grundwasser unter Berücksichtigung phys.-chem. Randbedingungen (Verdünnung, Rückhaltung etc.) und politischer Konventionen.

<p>„Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5“</p>	<p>Faktor, der durch das BMU zur Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit festgelegt wurde, indem die ME mit 1,5 multipliziert wurden (vgl. Abb. 1). Aus fachlicher Sicht stellt der Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 einen Kompromiss aus Nachhaltigkeit, Unsicherheit von Modelleingangsparametern, Modellzuverlässigkeit und der Lebensdauer von Bauwerken dar. Die Unsicherheiten und der Verhältnismäßigkeitsfaktor wurden im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens nicht quantitativ abgeleitet. Sie können erfahrungsgemäß jedoch relativ hoch sein, d.h. der Faktor ist eher konservativ. Der Faktor 1,5 war bereits Grundlage des ersten Arbeitsentwurfs der ErsatzbaustoffV und wurde mit den beteiligten Kreisen intensiv diskutiert.</p>
<p>„Bodenszenarien“</p>	<p>Für die Berechnung der medianschutzbasierten Einbauwerte von retardierbaren/abbaubaren Stoffen in den günstigen Szenarien wurden zwei Bodenkategorien unterschieden: Sandböden mit moderatem Rückhalte-/Abbauvermögen und lehmig/schluffig-/tonige Böden mit i.d.R. höherem Rückhalte-/Abbauvermögen. Beide Bodenkategorien wurden auf der Grundlage einer statistischen Auswertung der charakteristischen Leitboden-einheiten in Deutschland ermittelt (BÜK, BGR, 2006). Daraus resultieren Abschätzungen der typischen Mächtigkeit der Boden-einheiten, Tongehalte, pH-Werte, organische Kohlenstoffgehalte und der hydraulischen Eigenschaften der Böden. Für die Modellierung des Rückhalte- und Abbauvermögens der beiden Standard-Bodenszenarien wurden die 90. Perzentile der Parameterwerte ausgewählt. Dies bedeutet, dass 90 % der sandigen/schluffigen Böden in Deutschland die abgeschätzten typischen Eigenschaften der beiden Bodenszenarien mindestens einhalten oder übertreffen.</p>
<p>„Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS)“</p>	<p>Konzentration eines Stoffes, die nicht dazu geeignet ist, eine signifikante Änderung des chemischen Zustandes des Grundwassers hervorzurufen (Geringfügigkeitsschwelle, GFS; LAWA, 2004). Diese wurden durch die LAWA für relevante Substanzen auf der Grundlage von öko- und / oder humantoxikologischen Untersuchungen abgeleitet.</p>
<p>„Bezugsmaßstäbe (BM)“</p>	<p>Zielwerte der Konzentrationen im Sickerwasser am Ort der Beurteilung sind grundsätzlich die Geringfügigkeitsschwellen. Für einige Schwermetalle (Blei, Cadmium, Nickel, Vanadium und Zink) übersteigen die Konzentrationen in WF 2-Eluateten natürlicher (nicht kontaminierter) Böden die GFS (BGR-Studien, Duijnvisveld et al., 2010; Utermann and Fuchs, 2010). Dies wird auf hintergrund- und/oder methodenspezifische Artefakte zurückgeführt (z.B. DOC-Mobilisierung und DOC-gekoppelte Stofffreisetzung in gestörten Proben). Für diese Stoffe werden die durch die BGR abgeleiteten Bezugsmaßstäbe als Zielwerte für die Berechnung der ME verwendet, da davon ausgegangen werden kann, dass die Konzentrationen in natürlichen Bodenlösungen keine Grundwassergefährdung hervorzurufen.</p>
<p>„Ort der Beurteilung (OdB)“</p>	<p>Ort an dem der GFS bzw. BM im Sickerwasser eingehalten werden muss. Der Ort der Beurteilung für den Wirkungspfad „Boden-Grundwasser“ ist der Übergangsbereich von der wasserungesättigten zur wassergesättigten Zone gemäß BBodSchV in der Mantel V2011</p>

“Filterkapazität (FK)”	Die zulässige Stoffanreicherung im Bodenfeststoff wird über 1 Meter Transportstrecke gemittelt und auf 50 % der sogen. Filterkapazität begrenzt. Die Filterkapazität ergibt sich aus dem Bodenvorsorgewert (nach BBodSchV bzw. Hilfswerte nach Untersuchungen der BGR) abzüglich des Hintergrundwertes eines Stoffes im Boden (90. Perzentile in Sand bzw. in schluffigen Böden nach BGR).
“Materialqualität” und “Materialwerte (MW)”	„Eluat-Qualität“ eines mineralischen Ersatzbaustoffes, definiert durch die im <i>WF</i> 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 für die relevanten Substanzen ermittelten Konzentrationen. Diese sogen. Materialwerte müssen im Rahmen der rechtsverbindlichen Güteüberwachung nach DIN 19528 untersucht werden, um die Probe einer bestimmten Materialqualität bzw. Materialklasse zuordnen zu können.
“Materialklasse”	Klassen von Materialqualitäten eines mineralischen Ersatzbaustoffes. Im Falle einer hohen Variabilität der Materialqualitäten (i.d.R. verursacht durch die Heterogenität eines Materialstroms) werden verschiedene Materialklassen unterschieden (z.B. RC 1 bis RC 3 mit verschiedenen Materialwerten).
“Materialwertetabelle”	In der ErsatzbaustoffV sind für jeden mineralischen Ersatzbaustoff und ggf. für die unterschiedlichen Materialklassen eines mineralischen Ersatzbaustoffes die Grenzkonzentrationen in <i>WF</i> 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528) in so genannten Materialwertetabellen aufgelistet.
“Einbautabelle”	In der ErsatzbaustoffV werden für jeden mineralischen Ersatzbaustoff und ggf. für jede Materialklasse, die potenziellen aus Sicht des Medienschutzes zulässigen Einbauweisen in so genannten Einbautabellen aufgelistet (+/-Bewertung).

Ablaufschema zur Ableitung von medienschutzbasierten Einbauwerten (ME)

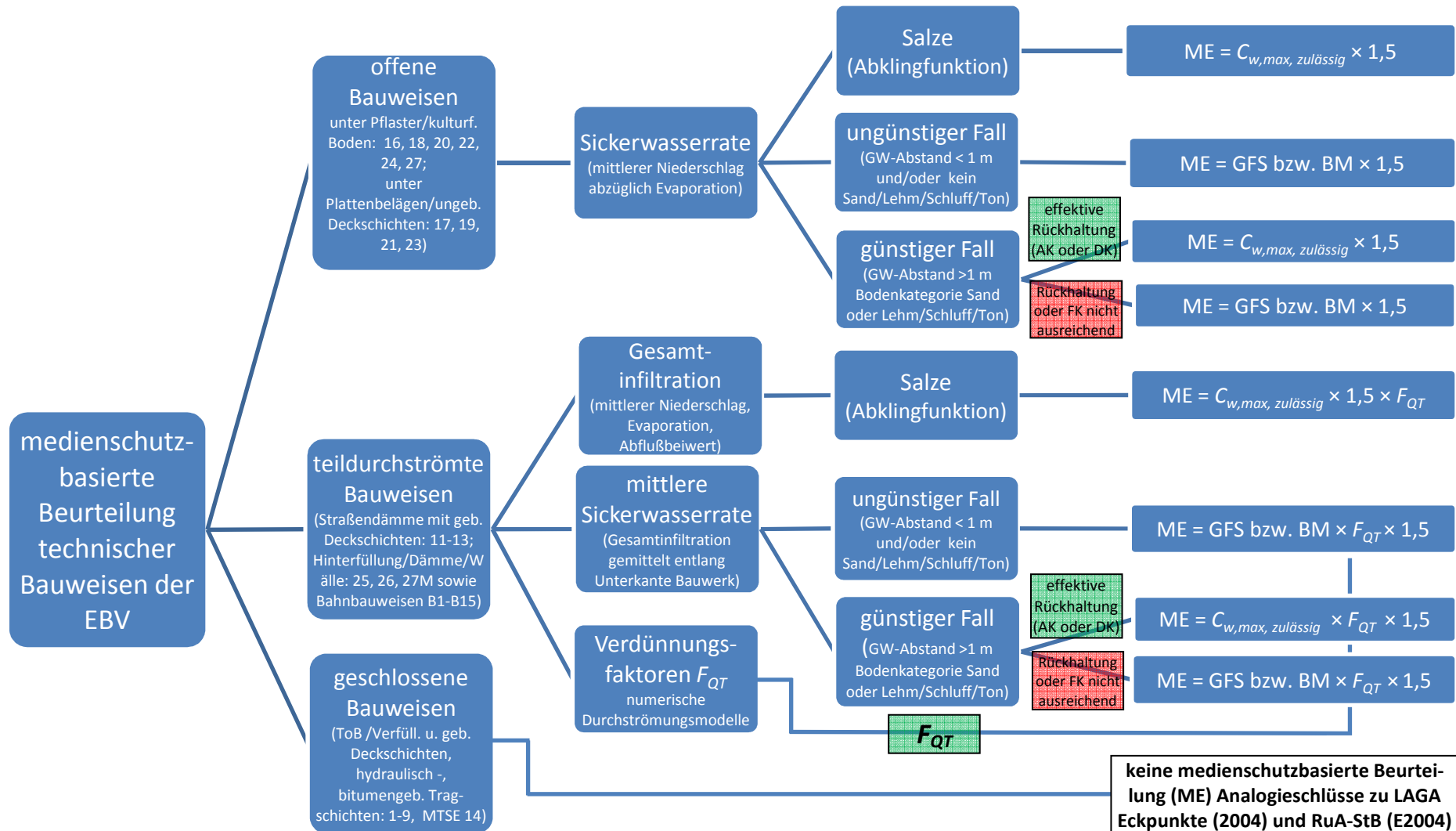


Abb.1.1: Ablaufschema zur Ableitung medienschutzbasierter Einbauwerten (ME) für technische Bauwerke der EBV. Abkürzungen: GW: Grundwasser (höchste zu erwartender GW-Abstand), AK: Anreicherungs-, DK: Durchbruchskriterium, $C_{w,max, zulässig}$: max. zul. Quelltermkonzentration. FK: Filterkapazität.

Ablaufschema zur Ableitung von Materialwerten (MW) zur Bewertung von mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB)

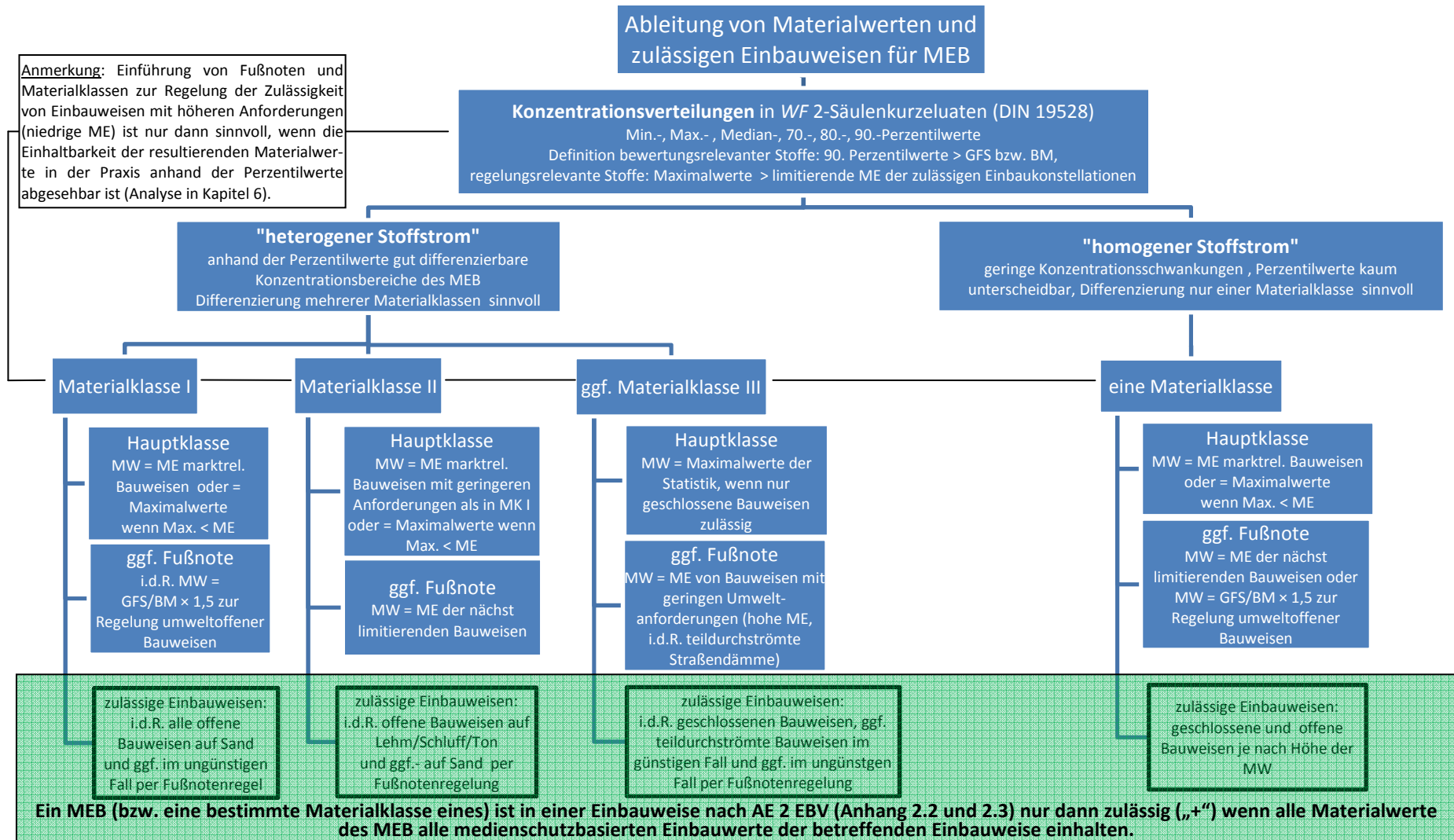


Abb. 5.2: Ablaufschema zur Ableitung von Materialwerten (MW) in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) zur Bewertung der Zulässigkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) in Einbauweisen des AE 2 EBV in der MantelIV (BMU, 2011). Abkürzungen: MK: Materialklasse.

2 Veranlassung und Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse des BMBF-Verbundforschungsprojektes „Sickerwasserprognose“ (im Folgenden kurz: BMBF-Sickerwasserprognose) wurden praxisgeeignete und vollzugstaugliche Vorschläge für eine Verbesserung bestehender Methoden und Bewertungssysteme sowie neue Konzepte für die verschiedenen Rechtsbereiche erarbeitet, um die Grundlagen insbesondere für die geplante Bundesregelung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung – EBV) zu schaffen. Das LANUV NRW entwickelte hierzu im Rahmen des UBA-Vorhabens 205 74 251 „Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden“ ein Ableitungskonzept mit dem - basierend auf einer systematischen Auswertung von Säulenversuchs- und Feldlysimeterergebnissen, der Modellierung des Freisetzungsverhaltens und der Prognose des Rückhaltevermögens von Böden – max. zulässige Konzentrationen in Eluaten bei *WF 2* abgeleitet werden können, die eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung gewährleisten sollen. Im Ergebnis erarbeitete das LANUV NRW bis Ende der Projektlaufzeit Ende Juli 2007 Vorschläge für Materialwerte, Analytik und zulässige Einbaumöglichkeiten (Susset & Leuchs, 2008a). Diese stellten eine der wesentlichen Grundlagen für den ersten Arbeitsentwurf des BMU vom 13.11.2007 einer Verordnung über den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz-Verordnung (AE 1 EBV) dar. Das BMU hielt auch weiterhin eine fachliche Betreuung des komplexen Themenfeldes während des Verordnungsgebungsverfahrens zur Entwicklung des zweiten Arbeitsentwurfs der Ersatzbaustoffverordnung (AE 2 EBV) für dringend notwendig. Dazu wurde das UBA-Ergänzungsvorhaben „Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Sekundärrohstoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge, FKZ: 3707 74 301“ mit der Projektlaufzeit 01.08.2007 – 31.05.2008 an das Zentrum für Angewandte Geowissenschaften der Universität Tübingen (ZAG) vergeben und per Aufstockungsverträgen bis 31.12.2011 verlängert.

Wesentliches Ziel des hier vorgestellten Ergänzungsvorhabens – im Folgenden kurz mit „Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe“ bezeichnet - war es, die medienschutzbasierten Einbauwerte im Rahmen von Abstimmungsprozessen mit den beteiligten Branchen und basierend auf neuen fachlichen Eckpunkten zu überarbeiten, die zulässigen Einbauweisen anzupassen sowie die fachliche Beurteilung von Gegenvorschlägen sicherzustellen und die Ergebnisse zu erläutern. Im Einzelnen wurden bisher nicht betrachtete mineralische Ersatzbaustoffe untersucht und über 700 neue Datensätze von *WF 2*-Eluaten verschiedener mineralischer Ersatzbaustoffe ausgewertet, um die Materialqualitäten und Materialklassen der mineralischen Ersatzbaustoffe zu überprüfen bzw. anhand der Anpassung von Materialwerten ggf. eine Neuklassifizierung vorzunehmen. Ein wesentliches Ziel des Ergänzungsvorhabens war es, die Durchsickerung zweier Straßendambauweisen auf der Grundlage veränderter Randbedingungen, die sich im Abstimmungsprozess des BMU/UBA mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt) ergaben, neu zu beurteilen. Hierzu wurden numerische Modelle eingesetzt, die bereits zuvor zur Berechnung der Durchströmung von technischen Bauwerken verwendet und verifiziert wurden. Entsprechend der Ableitungssystematik des LANUV NRW wurden dann die medienschutzbasierte Einbauwerte angepasst oder neu abgeleitet. Abschließend wurden die zulässigen Einbauweisen („+/-“-Bewertungen in Einbautabellen der EBV) überprüft, ggf. neu bewertet bzw. an die neuen Ergebnisse angepasst. Zusätzlich wurden ergänzende Arbeiten im Bereich der Methodenentwicklung (Normung von Elutionsverfahren durch das Deutsche Institut für Normung, DIN) durchgeführt und die Normungsgremienarbeit entsprechend den Anforderungen des Beurteilungskonzeptes begleitet. Im Rahmen dieses Fachberichts wurden auch die Ergebnisse weiterer Untersuchungen (z.B. ZAG Tübingen und Gutachterbüro Susset) für die Bewertung von Gleisschottern in verschiedenen Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG, für die Bewertung von Kupferhüttenmaterialien der Aurubis AG und für die Bewertung von sor-

tenreinen Ziegeln des Bundesverbands der Deutschen Ziegelindustrie (BVZ) in technischen Bauweisen der EBV und in dünn-schichtigen Tennenbauweisen zusammengeführt, soweit deren Veröffentlichung durch die Auftraggeber zugestimmt wurde und soweit diese Ergebnisse für eine vollständige Nachvollziehbarkeit der Bewertungen im AE 2 der EBV notwendig sind.

3 Voraussetzung

Die Durchführung des Vorhabens setzte eine finanzielle Unterstützung seitens des UBA/BMU für einen Antragszeitraum vom 01.08.2007 bis zum 31.12.2011 voraus. Während der gesamten Laufzeit war die Finanzierung von 9 Monaten zu 50% für die Modellierungen und für die Projektleitung und -bearbeitung im Zeitraum von 08/07 bis 05/08 zu 100%, von 06/08 bis 06/10 zu 75%, von 07/10 bis 08/10 zu 100 % und von 09/10 bis 12/11 zu 20 % erforderlich.

Das Projekt wurde von einer interdisziplinär zusammengesetzten Gruppe von Wissenschaftlern bearbeitet und beinhaltete Laboruntersuchungen (Messung von Feststoffgehalten, wässrigen Eluatkonzentrationen, etc., die eine entsprechende Laborausstattung (GC-MS etc.) voraussetzen) sowie die numerische Modellierung der Durchströmung von technischen Bauwerken mit Bereitstellung von Rechnerkapazitäten und der Weiterentwicklung verschiedener numerischer Modellcodes.

Um dem Anspruch einer generalisierten Beurteilung des Grundwasser- und Bodengefahrenpotentials von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken gerecht zu werden, war die Einbindung länderübergreifender Netzwerke (z.B. Bodeninformationssystem NRW), von Bundesinstitutionen (wie u.a. BMU, BMVBS, BaSt) und von Fachvertretern der betroffenen Industriebranchen notwendig (vgl. Zusammenarbeit mit anderen Stellen, vgl. Kapitel 6 Teil I).

Als wissenschaftlicher Projektleiter wurde Dr. B. Susset bestellt, der bereits am LANUV NRW federführend die Ableitungssystematik von Grenzwerten für die Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen mitentwickelte. Dadurch war die Kontinuität in der fachlichen Begleitung des BMU im Verordnungsverfahren einer ErsatzbaustoffV gewährleistet.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

4.1 Ableitungssystematik des LANUV NRW

Im Folgenden wird eine Zusammenfassung zu den im Projekt des LANUV NRW entwickelten neuen Methoden und Verfahrensempfehlungen zur Ableitung von Grenzwerten für die Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen gegeben (weitere Details zur Systematik finden sich bei Susset & Leuchs, 2008a bzw. in internationalen Veröffentlichungen, u.a. Grathwohl & Susset, 2011).

4.1.1 Verzahnung des wissenschaftlichen Konzepts mit politisch-rechtlichen Konventionen

Eine fachgerechte Gefahrenbeurteilung des Einsatzes von mineralischen Ersatzbaustoffen in der Umwelt erfordert ein möglichst weitgehendes Verständnis der Stofffreisetzungs- und Transportprozesse von Schadstoffen. Grundlage des wissenschaftlichen Ansatzes von Susset & Leuchs (2008a) ist die Sickerwasserprognose für die in mineralischen Ersatzbaustoffen relevanten Stoffe und Stoffgruppen und für häufig vorkommende Standardszenarien (häufige Einbauweisen in technischen Bauwerken, typische Rückhaltevermögen von Böden) auf Basis der neuen Erkenntnisse aus dem BMBF-Sickerwasserprognoseprojekt und anderen nationalen wie internationalen Projekten. Susset & Grathwohl (2011) geben einen detaillierten Überblick zu den nationalen und internationalen Forschungsergebnissen in diesem Themenbereich.

Desweiteren müssen die Rahmenbedingungen und Zielsetzungen des Boden- und Grundwasserschutzes in Deutschland berücksichtigt werden. Diese führen zu politischen Konventionen, welche die Freiheitsgrade eines wissenschaftlich basierten Konzepts durchaus begrenzen können. Einerseits sollten vor dem Hintergrund ökonomischer Aspekte und einer nachhaltigen Entwicklung des Recyclings mineralische Ersatzbaustoffe bevorzugt eingesetzt werden, um natürliche Ressourcen zu schonen. Andererseits muss der Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffen so erfolgen, dass schädliche Veränderungen des Unterbodens und des Grundwassers unbedingt zu vermeiden sind. Schließlich ist die Umweltkompatibilität ein elementarer Bestandteil von Nachhaltigkeitsstrategien. In Deutschland basiert der Boden- und Grundwasserschutz auf dem so genannten Vorsorgekonzept (bzw. Besorgnisgrundsatz), welches im Wasserhaushaltsgesetz (WHG vom 27.07.1957, erste Änderung 19.08.2002, zweite Änderung wurde im März 2010 durch das BMU in Kraft gesetzt) grundsätzlich festgelegt wurde. Das Vorsorgekonzept wurde über viele Jahre hinweg weiterentwickelt und ist im Bundesbodenschutzgesetz (1998) und in der Bundesbodenschutzverordnung (1999) rechtlich verankert. Letztere soll im Rahmen der Mantelverordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material novelliert werden (erster Entwurf der MantelV vom 06.01.2011, im Folgenden kurz: MantelV, BMU, 2011). In zahlreichen Positionspapieren und Expertenempfehlungen, z.B. in „Grundsätze des vorsorgenden Grundwasserschutzes beim Einsatz von Abfällen und Produkten“ (LAWA, 2002) wird das Vorsorgekonzept konkretisiert. Diese Papiere sind allerdings nicht rechtsbindend. Das Vorsorgekonzept wird im Rahmen der Erarbeitung des AE 1 MantelV durchaus kontrovers diskutiert. Schließlich wird hier die Umsetzung des Besorgnisgrundsatzes in der Grundwasserverordnung, ErsatzbaustoffV und Bundes-BodenschutzV erstmalig konkretisiert und verrechtlicht, was bedeutende wirtschaftliche Auswirkungen auf die Verwertungsbranchen haben kann. Das Vorsorgeprinzip ist konzentrationsbasiert: Für eine zu betrachtende Substanz wird eine Konzentration festgelegt, die nicht dazu geeignet ist, eine signifikante Änderung des chemischen Zustandes des Grundwassers hervorzurufen (Geringfügigkeitsschwelle, LAWA, 2004, vgl. Definition in Tabelle 1). Die GFS wurden durch die LAWA für relevante Substanzen auf der Grundlage von öko- und / oder humantoxikologischen Untersuchungen abgeleitet. Gemäß Vorsorgekonzept sind die GFS keine Qualitätsziele für das Grundwasser. Die GFS-Werte sollen bereits am Ort der Beurteilung eingehalten werden, um zu gewährleisten, dass die Konzentrationen im Grundwasser grundsätzlich die GFS-Werte an allen Orten mit Sicherheit unterschreiten. Der Ort der Beurteilung wurde, wie

in Abbildung 4.1 skizziert, als Übergangsbereich von der wasserungesättigten zur wassergesättigten Zone festgelegt (siehe Regelungen zum Ort der Beurteilung in: MantelV, 2011; BBodSchG, 1998, BBodSchV, 1999 sowie Empfehlungen in LAWA, 2002). Dies bedeutet, dass im Rahmen des fachlichen Konzepts zur generalisierten Ableitung von Grenzwerten für die Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen aufgrund der politischen Konventionen und Festlegungen, potentielle zusätzliche Verdünnungs-, Retardations- und Abbauprozesse im Grundwasser aktuell nicht berücksichtigt werden können. Dies bedeutet auch, dass bei der Gefahrenbeurteilung im Vorsorgebereich Fracht-basierte Modellkonzepte nicht eingesetzt werden können. Die Freisetzung signifikanter Schadstoffmengen aus mineralischen Ersatzbaustoffen ist deshalb grundsätzlich nicht akzeptabel. Ein weiterer Aspekt ist die vorsorgende Bodenschutzpolitik, welche auf Feststoffgehalten im Boden basiert und durch die LABO erarbeitet wurde. Die BBodSchV (1998) legt für ausgewählte Stoffe so genannte Vorsorgewerte in Böden fest, welche ebenfalls gemäß dem vorsorgenden Bodenschutzkonzept keine Qualitätsziele für den Boden darstellen. Deshalb wurde für das generalisierte Ableitungskonzept von Grenzwerten für mineralische Ersatzbaustoffe für verschiedene Stoffe und Bodenszenarien eine sogen. Filterkapazität definiert (vgl. Definition in Tabelle 1), welche sich aus den Bodenvorsorgewerten abzüglich der Hintergrundkonzentrationen ergibt. Aus Vorsorgegründen kann die Filterkapazität nicht gänzlich, sondern – wie durch das BMU/UBA in Abstimmung mit der LABO und dem BOVA per Konvention festgelegt - nur zu 50 % ausgeschöpft werden.

Um überzogen konservative gesetzliche Grenzwerte zu vermeiden, welche in der Tat den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in vielen Fällen verhindern könnten, wurden die relevanten Durchströmungsprozesse in den mineralischen Ersatzbaustoffen, das zeitliche Abklingverhalten hochlöslicher Bestandteile (z.B. Chlorid und Sulfat) und die Retardation und/oder der Abbau retardierbarer Substanzen berücksichtigt (siehe Skizze in Abb. 3.1). Diese Prozesse, welche zu räumlich-zeitlichen Veränderungen der Konzentrationen im Sickerwasser führen, wurden z.B. in „BMBF-Sickerwasserprognose“ intensiv untersucht. Im Rahmen des UBA-Projekts des LANUV NRW und des hier vorgestellten Ergänzungsvorhabens, wurden die experimentellen, analytischen und numerischen Werkzeuge mit dem Ziel einer generalisierten und sicheren Abschätzung der Stofffreisetzung und –rückhaltung bzw. des Stoffabbaus in der dauerhaft grundwasserfreien ungesättigten Zone oberhalb des Grundwasserspiegels weiterentwickelt. Vor diesem Hintergrund hat das BMU das Vorsorgekonzept für die geplante ErsatzbaustoffV (Artikel 2 im AE 1 der MantelV, BMU, 2011) weiterentwickelt. Demnach muss ein generalisiertes Fachkonzept zur Ableitung von Grenzkonzentrationen in Eluaten von mineralischen Ersatzbaustoffen Folgendes berücksichtigen (Bannick et al., 2009 und Susset & Grathwohl, 2011):

- Ermittlung der Quellstärke im ausführlichen Säulenversuch (Basischarakterisierung) bzw. im Säulenkurzeluat bis *WF* 2 (Übereinstimmungsuntersuchung) nach DIN 19528.
- Material- und konstruktionsspezifische Freisetzung von gut löslichen Salzen (z.B. Abklingverhalten von Chlorid und Sulfat).
- Verdünnungsprozesse innerhalb eines technischen Bauwerks und/oder einer technischen Einbauschicht, strömungsbedingt (Quellterm).
- Entlang der Unterkante eines technischen Bauwerks gemittelte (aufgrund Verdünnung niedrigere) Sickerwasserrate als Eingangsgröße für die Transportberechnung im Unterboden (Transportterm).
- Berücksichtigung von Retardations- und / oder Abbauprozessen (Metalle/-Organika) innerhalb einer ein Meter mächtigen Transportzone, für den Fall, dass der höchste zu erwartende Grundwasserstand mehr als ein Meter unterhalb der Unterkante des technischen Bauwerks oder der dauerhaften Verfüllung mit mineralischen Ersatzbaustoffen liegt (Transportterm).

- Zielkonzentrationen im Feststoff von Unterböden: Begrenzung der Anreicherung von Stoffen im Unterboden per politischer Konvention, gemittelt entlang einer ein Meter mächtigen Bodenzone, auf 50% der Filterkapazität.
- Zielkonzentration am Ort der Beurteilung: Grundsätzlich sind die GFS-Werte im Sickerwasser oberhalb des Grundwassers am Ort der Beurteilung einzuhalten. Für einige Metalle (Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Vanadium und Zink) überschreiten die Konzentrationen in *WF 2*-Eluaten natürlicher (unkontaminierter) Böden die GFS (Duijnisveld et al., 2010; Utermann & Fuchs, 2010). Dies wird auf natürliche Hintergrundkonzentrationen und/oder methodische Artefakte (z.B. Mobilisierung von organisch gebundenem Kohlenstoff (DOC) und DOC-gekoppelter Stofffreisetzung in gestörten Bodenproben zurückgeführt). In diesen Fällen ersetzen diese Hintergrundwerte die GFS und dienen als Zielkonzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung. Sie werden im Folgenden als Bezugsmaßstäbe bezeichnet.
- Beurteilungszeiträume per „politischer“ Konvention:
 - (a) Ein kurzfristiges Abklingen von Salzkonzentrationen innerhalb von 4 Jahren an der Unterkante des technischen Bauwerks oder der dauerhaften Verfüllung wird mit Blick auf den Grundwasserschutz als akzeptabel erachtet (dies bedeutet, dass die GFS im Sickerwasser an der Unterkante des Bauwerks maximal über einen Zeitraum von 4 Jahren überschritten werden)
 - (b) Die GFS-Werte oder Bezugsmaßstäbe müssen über einen Beurteilungszeitraum von 200 Jahren bei technischen Bauwerken und über einen Beurteilungszeitraum von 500 Jahren bei dauerhaften Verfüllungen am Ort der Beurteilung eingehalten werden (dies betrifft Stoffe, die innerhalb der ungesättigten Zone entlang einer Transportstrecke von einem Meter über einen Zeitraum von 200 Jahren bzw. 500 Jahren zurückgehalten werden. Da Verfüllungen im Gegensatz zu technischen Bauwerken dauerhaft sind, muss hier der Beurteilungszeitraum entsprechend höher sein (500 Jahre). Die Rückhaltung bzw. Retardation wurde auf Basis reversibler Sorptionsmodelle abgeschätzt. Dies bedeutet, dass im „Worst-case“, bei dauerhaft konstant hoher Quellstärke, die Konzentrationen im Sickerwasser am Ort der Beurteilung die GFS oder Bezugsmaßstäbe in Zeiträumen nach 200 bzw. 500 Jahren übersteigen und die Anreicherung im Boden langfristig zunimmt. Insofern stellen die Beurteilungszeiträume einen Kompromiss zwischen Nachhaltigkeit, Unsicherheit von Modelleingangsgrößen und Lebensdauer von technischen Bauwerken dar.

Die Mächtigkeit der Transportzone von einem Meter, die Limitierung auf 50 % der Filterkapazität und die Beurteilungszeiträume sind Ergebnisse des oben genannten politischen Abstimmungsprozesses und haben einen wesentlichen Einfluss auf die maximal zulässigen Konzentrationen. Größere Mächtigkeiten der Transportzone (z.B. 1,5 Meter), höhere Filterkapazitäten (z.B. 70%) und Beurteilungszeiträume für Salze > 4 Jahre und für Metalle/-Organika < 200 Jahre (je geringer der Zeitraum, über welchen die Einhaltung der Zielwerte gewährleistet sein soll, umso höher ist die zulässige Quelltermkonzentration) würden einerseits zu höheren Grenzwerten bzw. medienschutzbasierten Einbauwerten und folglich zu höheren zulässigen Materialwerten in *WF 2*-Eluaten und Verwertungsquoten von mineralischen Ersatzbaustoffen führen. Andererseits würden höhere zulässige Mächtigkeiten über die im Mittel angereichert werden darf, höhere Ausschöpfung der Filterkapazitäten und kürzere Beurteilungszeiträume Abstriche beim Boden- und Grundwasserschutz dahingehend bedeuten, dass Schadstoffe stärker im Boden angereichert bzw. früher ins Grundwasser gelangen würden. Die Limitierung der Anreicherung auf 50 % der Filterkapazität wurde im Hinblick auf weitere Stoffimmissionen in den Boden z.B. durch atmosphärische Deposition festgelegt. Die Beurteilungszeiträume für Metalle/Organika orientieren sich an der maximalen Lebensdauer von technischen Bauwerken.

Sämtliche oben genannten Umsetzungen im Fachkonzept sind nach Einschätzung des BMU sowohl mit dem Geringfügigkeitsschwellenkonzept der LAWA als auch mit den bodenschutzrechtlichen Vorgaben vereinbar.

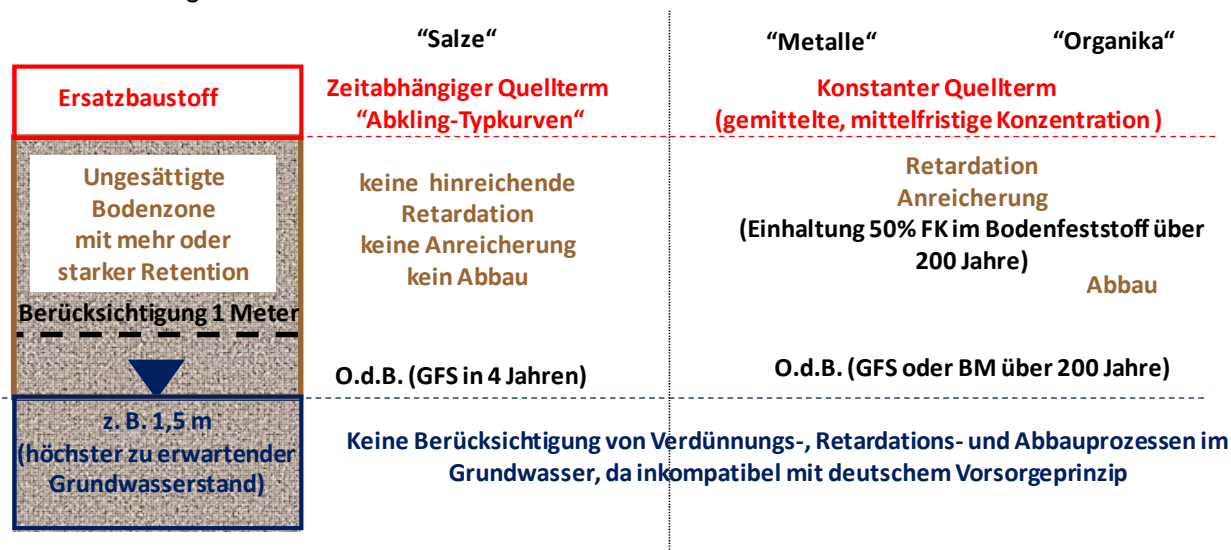


Abb.4.1: Rahmenbedingungen und „politisch“ getroffene Konventionen aus dem vorsorgenden Grundwasser- und Bodenschutz für die Ableitung von Grenzwerten in WF 2-Eluat zur Regelung der Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen in der geplanten ErsatzbaustoffV durch das BMU (Artikel 2 in AE 1 MantelV, BMU 2011). Die Konventionen betreffen die Berücksichtigung des Konzentrationsabklingens nicht retardierbarer, leichtlöslicher Substanzen unter die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) innerhalb von 4 Jahren an der Unterkante der Quelle und Retardation, Abbau und Anreicherung sorbierbarer Substanzen innerhalb einer 1 Meter mächtigen, ungesättigten Bodenzone. Letztere können innerhalb eines Beurteilungszeitraums von 200 Jahren bei technischen Bauwerken mit begrenzter Lebensdauer berücksichtigt werden, wenn der höchste zu erwartende Grundwasserstand mehr als 1 Meter unterhalb der Unterkante des technischen Bauwerks liegt. GFS und Bezugsmaßstäbe (BM) stellen die Zielkonzentrationen im Sickerwasser am Ort der Beurteilung (O.d.B.), d.h. dem Übergangsbereich von wasserungesättigter zu wassergesättigter Zone, dar. Im Bodenfeststoff (ungesättigte Zone) unterhalb des mineralischen Ersatzbaustoffes wird die Anreicherung gemittelt über ein Meter Bodenzone auf 50 % der Filterkapazität (FK, Bodenvorsorgewerte abzüglich der Hintergrundwerte) begrenzt. Abbildung verändert nach Susset & Grathwohl (2011).

4.1.2 Generalisierter Ansatz zur Ableitung von Qualitätskriterien im Eluat von mineralischen Ersatzbaustoffen als Regelungskonzept für die ErsatzbaustoffV

Unter Berücksichtigung der oben genannten politischen Rahmenbedingungen und Konventionen und Verwendung der experimentellen Methoden und wissenschaftlichen Modellwerkzeuge aus BMBF-Sickerwasserprognose (u.a. Susset & Leuchs, 2008a; Grathwohl & Susset, 2011) haben Susset & Leuchs (2008a) medianschutzbasierte Einbauwerte berechnet. Für die Entscheidung, ob ein mineralischer Ersatzbaustoff für ein spezifisches technisches Bauwerk oder eine dauerhafte Verfüllung zugelassen werden kann oder nicht, muss die typische Qualität von mineralischen Ersatzbaustoffen hinsichtlich der Elution von Schadstoffen für die geplante ErsatzbaustoffV vorher beurteilt und klassifiziert werden. Basierend auf einer Vielzahl von Untersuchungen mit unterschiedlichen Laborelutionsmethoden und Feldlysimetern zur Basischarakterisierung von mineralischen Ersatzbaustoffen wurde ein Säulenversuch zur Übereinstimmungsuntersuchung entwickelt. Mit dieser Referenzmethode (Säulenversuch nach DIN 19528, 2009) wurden bewertungsrelevante Stoffe für die weiterführende Gefahrenbeurteilung identifiziert und Grenzkonzentrationen in Eluaten zur Klassifizierung von Materialqualitäten der zu regulierenden mineralischen Ersatzbaustoffe bestimmt. Die Bestimmung relevanter Stoffe und Stoffgruppen und die Materialklassifizierung basiert auf einer Vielzahl von Analysendaten für verschiedene Ersatzbaustoffe und für Bodenmaterialien für AE 1 der EBV (u. a. Susset & Leuchs 2008a, b; Dehoust et al. 2007) und auf neu erhobenen Analysedaten in den Jahren 2007-2010 für AE 2 EBV (vgl. dieser Bericht sowie Grathwohl & Susset, 2009). Gemäß den BMU-Vorgaben und basierend auf den bisher in den LAGA-Eckpunkten (2004) bewerteten Parametern wurden jeweils die Element- und Stoffgehalte in Eluaten untersucht. Ggf. unterschiedliche Stofffreisetzungs- und Transportverhalten verschiedener Schwermetallspezies und verschiedener Oxidationsstufen (z. B. Bewertung verschiedener Oxidationsstufen von Kupfer, etc.) sind nicht Gegenstand des UBA-Ableitungskonzepts (Susset & Leuchs, 2008a) und der hier vorgestellten Bewertungen für AE 2 EBV. Unterschiedliche Spezies und Oxidationsstufen werden laut BMU wie bisher in den LAGA-Eckpunkten auch zukünftig in der EBV nicht unterschieden.

Für eine generalisierte Ableitung von Grenzwerten für Salze, Metalle und Organika für die Verwertung von Bodenmaterial und mineralischen Ersatzbaustoffen wird entsprechend der Konzeption der Sickerwasserprognose in zwei Schritten vorgegangen (Grathwohl & Susset, 2001; Susset & Grathwohl, 2011). Zunächst wird der Quellterm bestimmt. Im zweiten Schritt wird für retardierbare und/oder abbaubare Stoffe eine Transportprognose durchgeführt, in dem die Rückhaltung der Schadstoffe im Untergrund über einen bestimmten Betrachtungszeitraum betrachtet wird (vgl. Abbildung 4.2).

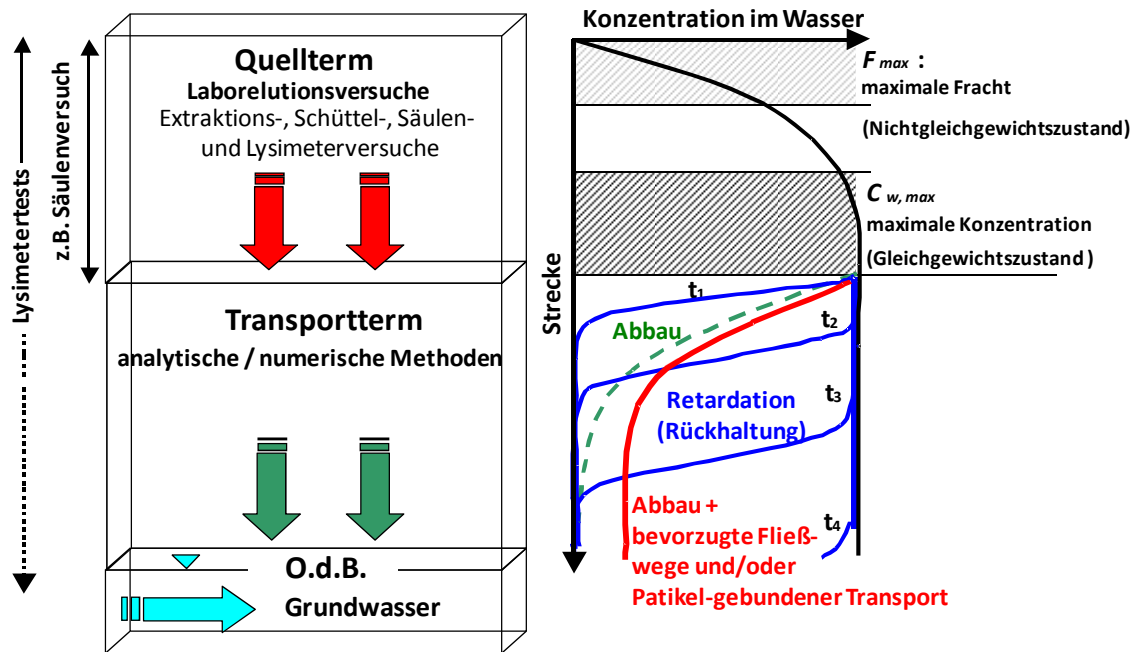


Abb. 4..2: Unterteilung der Sickerwasserprognose zur Grundwasser- und Bodengefahrenbeurteilung in einen Quellterm und einen Transportterm. Säulenversuche werden typischerweise zur Beschreibung der Dynamik des Quellterms eingesetzt, während Feldlysimeter auch den Transportterm mit einschließen können. Rechts: Zunehmende Konzentrationen im Sickerwasser mit zunehmender Sickerstrecke im Quellterm. In Abhängigkeit von der Sickerstrecke und der mittleren Verweilzeit des Sickerwassers können sich maximale Schadstofffreisetzungsraten (F_{max}) innerhalb kurzer Strecken (Nichtgleichgewichtsbedingungen infolge geringer Kontaktzeiten) und bei hinreichender Kontaktzeit maximale Konzentrationen im Sickerwasser unter Gleichgewichtsbedingungen ($C_{w,max}$) einstellen. Unter Feldbedingungen werden i.d.R. Gleichgewichtsbedingungen erreicht (vgl. Grathwohl & Susset, 2009, 2011; Lopez Meza et al., 2010). Unterhalb des Quellterms kann Abbau zu einem dauerhaften Rückgang der Sickerwasserkonzentrationen führen (Grathwohl & Susset, 2001; Susset, 2004), während Sorption nur zu einer ggf. starken Verzögerung des Durchbruchs der Konzentrationen am Ort der Beurteilung und einer Anreicherung im Boden führt; präferentielles Fließen und/oder Partikel-gebundener Transport kann zu einem verfrühten Durchbruch eines bestimmten Anteils der durch den Quellterm freigesetzten Stoffe führen. Abbildung verändert nach Grathwohl & Susset (2001) und Susset & Grathwohl (2011).

4.1.3 Quellterm

4.1.3.1 Eignung von Feststoffgehalten für die Bewertung des Quellterms bzw. zur Prognose des Grundwasser- und Bodengefahrenpotentials

Ein wesentliches Ergebnis des BMBF-Projekts Sickerwasserprognose ist es, dass die zu erwartende Sickerwasserkonzentrationen verschiedener Stoffe am verlässlichsten durch eine Elution mit Wasser und nicht über Feststoffgehalte bestimmt werden können. Zum Einen sind die Unsicherheiten bei der Bestimmung von Feststoffgehalten größer als bei der Bestimmung von Stoffen in wässrigen Eluat, zum anderen erlaubt der Feststoffgehalt i.d.R. keine Aussage über die zu erwartende Konzentration im Wasser, da i.d.R. kein verlässlicher und systematischer und damit insbesondere kein generalisierbarer Zusammenhang zwischen Feststoffgehalten und Konzentrationen im Wasser besteht (Grathwohl & Susset, 2009; Iden et al., 2006; Susset & Leuchs, 2008b; van der Sloot, 1997, 2002; Dijkstra et al., 2005). Insbesondere ist es i.d.R. nicht möglich, die Quellstärke oder die Quellstärkenentwicklung, also die Höhe der zu erwartenden Konzentrationen im Wasser und das Stofffreisetzungsverhalten über die Zeit sowie die Frachten (z.B. zur Abschätzung der Dauer einer Überschreitung des GFS oder BM an der Unterkante eines technischen Bauwerks) aus Feststoffgehalten oder Ergebnissen einer sequentiellen Feststoffextraktion mit unterschiedlich starken Lösemitteln abzuleiten (siehe u.a. Grathwohl & van der Sloot, 2007; Susset & Leuchs, 2008b; Grathwohl, 2004; Grathwohl & Susset, 2001; Henzler & Grathwohl, 2007). Dies gilt sowohl für PAK als repräsentative Stoffgruppe für Organika als auch i.d.R. für Schwermetalle (vgl. verschiedene unveröffentlichte Berichte des CEN TC 351 und van der Sloot et al., 2008). Im ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV des BMU vom 13.11.2007 wurde abweichend vom Ableitungskonzept nach Susset & Leuchs (2008a) als Übergangsregelung bis zum 31.12.2019 eine Bewertung der $\Sigma 15$ EPA PAK für RC-Baustoffe über Feststoffgehalte als Alternative zur Prüfung im Säulenkurzeluat nach DIN 19528 zugelassen. Damit wurde Übergangsweise versucht, alternativ zu den Grenzwerten im Eluat, über Grenzwerte für den Feststoff Boden- und Grundwassergefahrenpotentiale zu begrenzen, so dass der Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen schadlos erfolgen kann. Letzteres ist allerdings – wie schon in Susset & Leuchs (2008a) erläutert – nicht Stand der Technik.

Zwischenzeitlich wurden durch einzelne Landesbehörden, das Ökoinstitut und verschiedene Industrieverbände weiterführenden Vergleichsmessungen von Feststoffgehalten und *WF* 2-Säulenkurzeluaten für PAK durchgeführt und die Datengrundlagen gegenüber dem Stand 2007 des AE1 EBV deutlich verbessert. Abbildung 4.3 zeigt Konzentrationen der $\Sigma 15$ EPA PAK in *WF* 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) versus Feststoffgehalten für 26 Bodenproben (obere Abbildung) und für 316 RC-Baustoffproben (untere Abbildung). Es wird nochmals verdeutlicht, dass kein belastbarer Zusammenhang zwischen Höhe des Feststoffgehalts und Höhe der Konzentration im Wasser besteht. Anderenfalls müssten die Datenpunkte signifikant entlang der ersten Winkelhalbierenden mit vertretbar kleinem Fehler korrelieren (Linie der 1:1-Übereinstimmung). Einige RC-Baustoffe, die anhand der PAK-Feststoffgehalte nach AE 1 EBV als RC 1 Material beurteilt werden, verursachen deutliche Überschreitungen des Materialwertes im Wasser bis > RC 3. Mehr als 100 RC-Proben, die aufgrund des Feststoffgehalts als RC 2 oder 3 einzustufen wären, weisen aber Eluatkonzentrationen im Bereich oder unterhalb des GFS auf und wären aus Sicht des Grundwasser- und Bodenschutzes der Klasse RC-1 zuzuordnen. Einen ähnlichen Befund ergeben die Vergleichsmessungen in Böden. Wegen der nichtsystematischen Abweichung ist auch keine Angabe eines generell gültigen Umrechnungsfaktors zwischen Feststoffgehalten und Höhe der Konzentration im Eluat möglich. Im Einzelfall kann die Verteilung zwischen Feststoff und Wasser bei organischen Schadstoffen aus dem Oktanol-/Wasser-Verteilungskoeffizienten und dem organischen Kohlenstoffgehalt der Probe abgeschätzt werden. Die dafür verwendeten empirischen Korrelationen gelten allerdings nur für natürliches organisches Material in Böden und Sedimenten. Sobald z. B. Ruß- oder Kohlepartikel in der Probe vorkommen, oder der organische Kohlenstoff thermisch überprägt ist, können gravierende Fehleinschätzungen auftreten (Grathwohl, 1990; Grathwohl, 1999; Kleineidam et al., 1999a).

Weitere theoretische Grundlagen finden sich in Grathwohl (1998) und in Förstner und Grathwohl (2007).

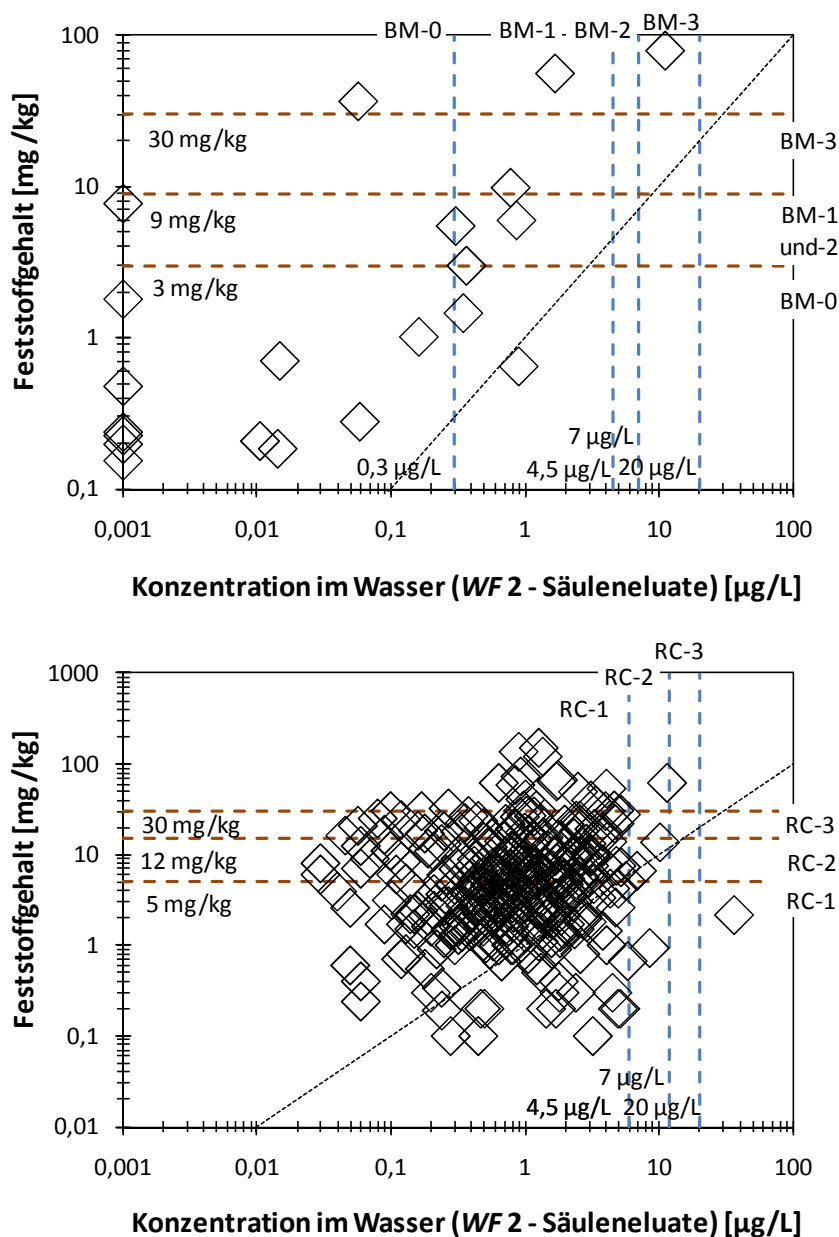


Abb. 4.3: PAK-Feststoffgehalte versus Konzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) – i.d.R. keine signifikante Korrelation. Oben: 26 Bodenproben (Messdaten der BGR für AE 1 EBV (BMU, 2007); unten: 316 RC-Baustoffproben (Messdaten für AE 1 EBV und MantelV, 2011): 50 Datenpaare aus der Studie des Ökoinstituts, 2007 (vgl. Susset & Leuchs, 2008a), 28 auswertbare Datenpaare aus jährlichen Untersuchungskampagnen 2007-2008 der LUBW, 34 Datenpaare aus jährlicher Untersuchungskampagne 2008-2009 der LUBW; 44 Datenpaare aus der Fremdüberwachung (FÜ) 2009/2010 (BRB II) der Bundesvereinigung Recyclingbaustoffe (BRB), Duisburg; 28 Datenpaare aus der FÜ 2009/2010 des Qualitätssicherungssystems Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg (QRB) und des Industrieverbandes Steine & Erden Baden-Württemberg (ISTE), Ostfildern. Schwarz, gestrichelt: 1:1-Übereinstimmung; braune horizontale Linien: Materialwerte für die $\Sigma 15$ PAK im Feststoff der Materialklassen 1-3 von Bodenmaterialen (BM) und RC-Baustoffen (RC) nach AE1 EBV; blaue vertikale Linien: Materialwerte in WF 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 der Qualitätsklassen 1-3 von BM und RC nach AE 1 MantelV (BMU, 2011).

Abbildung 4.3 zeigt Feststoffgehalte versus Konzentrationen in Schütteleluaten nach DIN EN 12457-4, 2005) für das Schwermetall Chrom in der vergleichsweise mobilen Form der Oxidationsstufe VI für verschiedene Materialien. Die Daten von van der Sloot et al. (2008) verdeutlichen, dass nur im Fall spezieller, homogener Materialien wie z.B. Portlandzement die Eluatkonzentrationen von Chrom VI mit Feststoffgehalten korrelieren; dabei wird ca. 1/10 des Feststoffgehalts mobilisiert. Bei Flugaschen und Schlacken liegt keine eindeutige Korrelation der Wertepaare vor.

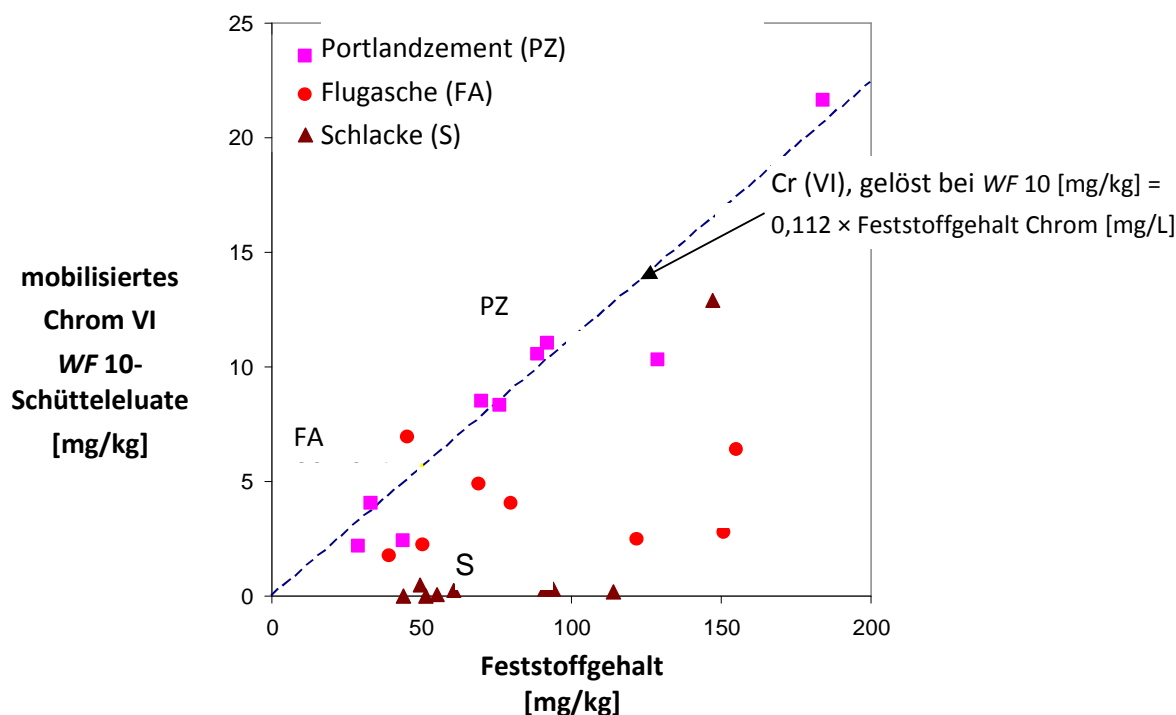


Abb. 4.4: In WF 10-Schütteleluaten nach DIN EN 12457-4 (2002) mobilisiertes Chrom (VI) versus Feststoffgehalten verschiedener Materialien (Portlandzement, Flugasche, Schlacke). Es liegt i.d.R. keine signifikante Korrelation vor. Lediglich bei Portlandzement korreliert der mobilisierte Anteil entlang einer 1/10 – Linie bezogen auf den Feststoffgehalt. Abbildung verändert nach van der Sloot et al. (2008).

Susset & Leuchs (2008b) untersuchten die Feststoffgehalte der Quellterme von 22 Feldlysimetern des LANUV NRW (RC-Baustoffe, Altlastenböden, Bleihüttengranulate, ton- und harzgebundene Gießereirestsande, Hausmüllverbrennungssaschen und Hochofenstüchschlacken in 50 cm mächtigen Einbauschichten) vor und nach Verwendung in Freilandlysimetern über einen Zeitraum von 5 Jahren und unternahmen den Versuch einer Massenbilanzierung durch Gegenüberstellung der Massendefizite im Feststoff und der Gesamtemissionen über das Sickerwasser. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtemissionen durch Sickerwasser i.d.R. im Promillebereich der Anfangsfeststoffgehalte liegen. Standardabweichungen bei der Feststoffgehaltsbestimmung im 10 mg/kg-Bereich machten eine Massenbilanzierung anhand Festgehalten unmöglich. Weiter bestätigen Susset & Leuchs (2008b) wiederum, dass die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser unabhängig von den Feststoffgehalten waren. Schließlich zeigte der im Feldlysimeter untersuchte mineralische Ersatzbaustoff mit den geringsten bzw. teilweise nicht nachweisbaren Feststoffgehalten - ein harzgebundener Gießereirestsand - die höchsten Konzentrationen und damit auch die höchsten Emissionen im Sickerwasser mit Maximalkonzentrationen von Schwermetallen im mg/L –Bereich (vgl. Massenbilanzierungen in Susset & Leuchs, 2008b, ab Seite 233, Kapitel 3.6.2, <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb09/58960421X.pdf>).

Abbildung 4.5 vergleicht von van der Sloot et al. (2008) Standardabweichungen bei der Bestimmung von Schwermetallkonzentrationen im Feststoff und im Eluat. Die Standardabweichungen bei der Analyse von Feststoffen sind durchweg um Größenordnungen höher als bei der Analyse der mobilisierten Schadstoffe im wässrigen Eluat (hier wird nicht alleine der Analysenfehler sondern der Gesamtfehler betrachtet, der sich nach Beprobung, Versuchsansatz und Analyse ergibt).

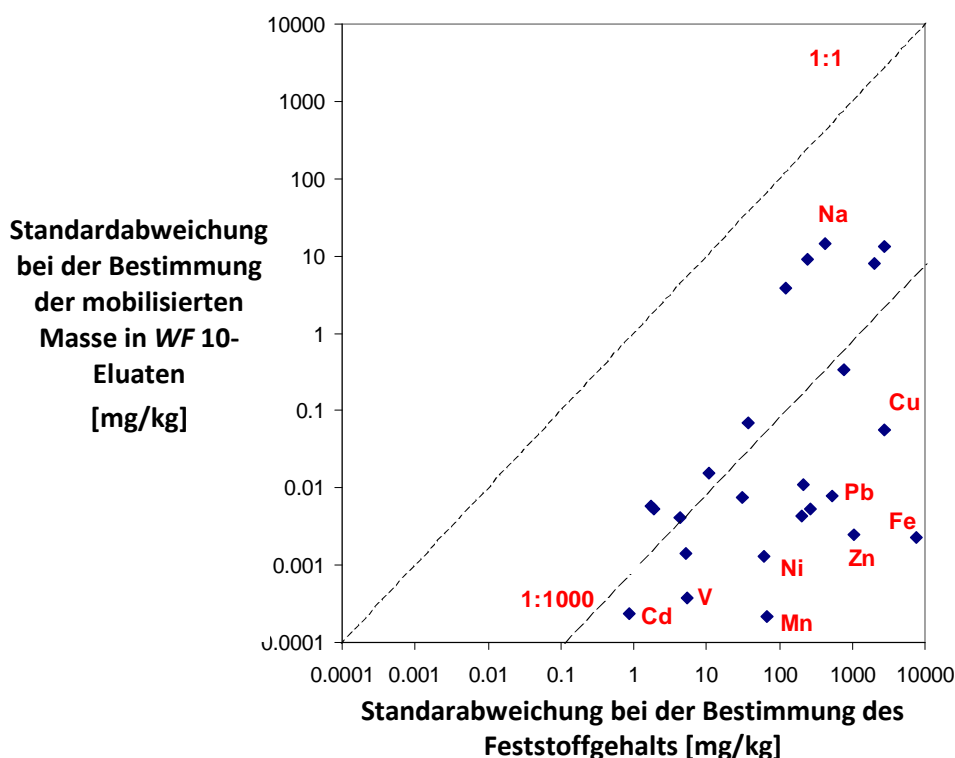


Abb. 4.5: Standardabweichungen bei der Bestimmung von Schwermetallkonzentrationen in Eluaten versus Feststoffgehalten. I.d.R. um den Faktor 1000 höhere Unsicherheiten bei der Bestimmung von Feststoffgehalten. Abbildung verändert nach van der Sloot (2008).

Zusammenfassung 4.1.3.1

- Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Feststoff sind nicht dazu geeignet Grundwasser- und Bodengefahrenpotentiale zu begrenzen.
- Eine Grundwasser- und Bodengefahrenbeurteilung muss deshalb auf Eluatuntersuchungen im Wasser begründet werden.
- Die Notwendigkeit einer Begrenzung von Feststoffgehalten unter abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten bleibt davon unberührt.

Das Heranziehen naturwissenschaftlicher Kriterien für die Festlegung von Grenzwerten im Feststoff waren nicht Gegenstand und Aufgabe des UBA-Projekts von Susset & Leuchs (2008a) und dieses Ergänzungsvorhabens. Die Diskussion der Notwendigkeit einer Begrenzung von Feststoffgehalten muss vor dem Hintergrund des Erkenntnisstands von einer Grundwassergefahrenbeurteilung entkoppelt werden. Die Festlegung von Feststoffgrenzwerten für Bodenmaterialien im Rahmen des AE 2 EBV in Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011) erfolgte durch das BMU unabhängig von den Ergebnissen dieses Projekts und nicht unter Gesichtspunkten des Grundwasserschutzes. Die Festlegung eines PAK-Feststoffgehaltes von 10 mg/kg - gleichwertig für alle Materialklassen von RC-Baustoffen - durch das BMU in der MantelV erfolgte ebenfalls nicht unter Grundwasserschutzaspekten, sondern dient der Vermeidung von teerhaltigen Beimischungen in RC-Baustoffen im Regelungsbereich der EBV vgl. Kapitel 9.1.1 Teil II dieser Bericht). Auch dieses Thema war nicht Gegenstand dieses Ergänzungsvorhabens. Allerdings muss der neue Feststoffwert bei der Abschätzung von Verwertungsquoten von RC-Baustoffen mitberücksichtigt werden (vgl. Kapitel 9).

4.1.3.2 Säulenversuch als Referenzverfahren zur Untersuchung des Quellterms und zur Klassifizierung von Materialqualitäten mit Referenzkonzentrationen in WF 2-Säulenkurzeluaten

Wesentlich für die Umsetzung der neuen Bewertungskonzeption in der geplanten EBV ist eine geeignete Methode zur Bestimmung der für die Bewertung relevanten Konzentrationen im Sickerwasser. Im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes „Sickerwasserprognose“ wurde herausgearbeitet, dass zur Beurteilung mineralischer Materialien und auch von Altlasten hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials für das Grundwasser, neben i.d.R. zu aufwändigen Feldlysimeterversuchen, Laborsäulenversuche die realitätsnächsten Ergebnisse liefern. Konzentrationen in ausführlichen Säulenversuchen und WF 2-Säulenkurzeluaten waren mit Feldlysimeterergebnissen in der Mehrzahl der Fälle direkt vergleichbar (siehe u.a. Delay et al. 2007, Kalbe et al. 2008, Susset & Leuchs, 2008b, Grathwohl & Susset, 2009, 2010). Im Falle von Abweichungen, z.B. einer Unterschätzung von Säule versus Feld oder bei ansteigenden Konzentrationen über die Zeit (z.B. ansteigende Vanadiumkonzentrationen im Sickerwasser von Hausmüllverbrennungsaschen, Susset & Leuchs, 2008a) konnte gezeigt werden, dass die Konzentrationen in Laboreluaten bei WF 2 bereits hinreichend hoch waren, so dass eine sichere Bewertung des Umweltrisikos erfolgen konnte (da die Konzentrationen bereits oberhalb der jeweiligen Materialwerte lagen). Weiterführend wurden geochemische Modellierungsergebnisse aus der Leach XS Datenbank (Energy Centre of the Netherlands (ECN), www.leaching.org) zur Evaluierung des Stofffreisetungsverhaltens mineralischer Ersatzbaustoffe herangezogen (freundliche Unterstützung durch Herrn H. van der Sloot). Für die Übereinstimmungsuntersuchung und die Überwachung der Qualitäten in der Praxis sowie zur Beurteilung von altlastverdächtigen Böden (z. B. im Rahmen einer Orientierenden Erkundung) kann ein Säulenkurzeluat bis WF 2 (einfache Beprobung und Analyse des Eluates nach Sammeln bis WF 2) durchgeführt werden. Das Analysenergebnis wird unmittelbar mit den Materialwerten zur Klassifizierung einer Materialqualität verglichen oder mit den medienenschutzbasierten Einbauwerten im Hinblick auf den Grundwasserpfad direkt beurteilt.

Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass die mittelfristig auftretenden Konzentrationen im realen Boden-Sickerwasser durch ein Eluat bei niedrigerem WF 2 besser abgebildet werden können, als mit dem bislang üblichen Verfahren nach DIN EN 12457 – 4, einem Schüttel-eluat mit einem WF 10 (u.a. Susset & Leuchs, 2008b; Delay et al. 2007; Thiem et al., 2006, Thiem & Stieber, 2005, Kalbe et al., 2009, Grathwohl & Susset, 2009, van der Sloot et al., 2008). Die Konzentration bei WF 2 ist eine kumulative Konzentration, die sich aus der kumulativen Masse, die bis WF 2 freigesetzt wird, bezogen auf das gesamte Wasservolumen, das bis WF 2 anfällt, ergibt (Grathwohl & Susset, 2009). Wie Abbildung 4.6 verdeutlicht, repräsentiert die kumulative Konzentration in Säulenkurzeluaten bis WF 2 (DIN 19528, 2009) eine mittlere Konzentration, die zwischen anfänglich hohen Konzentrationen und langfristig niedrigeren Konzentrationen (z. B. diffusionslimitiertes Tailing von Metallen oder Organika) oder auch langfristig höheren Konzentrationen (z. B. ansteigenden Konzentrationen über die Zeit, Astrup et al., 2005) mittelt.

Die bis WF 2 kumulierte Konzentration stellt sich bei gängigen Bauweisen mittelfristig innerhalb bewertungsrelevanter Zeiträume (mehrere Jahre bis wenige Jahrzehnte) im Sickerwasser an der Unterseite des Materials ein. Im Gegensatz dazu repräsentiert der bisher gängige Schütteltest bei WF 10 (nach DIN EN 12457 – 4, 2003 oder DIN 38414, 1984) Konzentrationen im Sickerwasser, die sich sehr langfristig einstellen (z.B. nach 240 Jahren bei einem Lärmschutzwall mit einer 4 m mächtigen Schicht aus Recyclingbaustoff, einer Trockenraumdichte von 1800 kg/m³ und einer Sickerwasserrate von 300 mm/Jahr; Grathwohl & Susset, 2009; Susset & Leuchs, 2008a,b; vergleiche auch LS/time-conversion tool in LeachXS: www.leaching.org). Bei hohen WF, kann die Verdünnung von gut löslichen Substanzen mit limitierter (mobiler) Masse im Feststoff (z.B. Chloride, Sulfat und einige Schwermetalle) zu Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen führen. Ein generelles Problem hoher WF sind analytische Fehler, die bei geringen Konzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenzen ansteigen. Diese Effekte bei hohen WF führen letztlich zur Fehlinterpretation oder zur Unterschätzung des Grundwassergefahrenpotentials (vergleiche ent-

sprechender Diskussionsstand in technischen Komitees des CEN sowie Spiegelgremien des DIN und ISO im Zuge der Konkretisierung der Untersuchungsmethoden für die Construction Products Directive (CPD) der EU, siehe auch van der Sloot et al., 2008). Für den Gesetzgeber stellen die langfristigen Konzentrationen im Sickerwasser bei hohen *WF* (z.B. 10, mit entsprechend langfristigen Beurteilungszeiträumen von je nach Bauweise mehreren hundert Jahren) im Sickerwasser nicht die bewertungsrelevanten Konzentrationen dar. Für eine Zulassung von Einbauweisen mineralischer Ersatzbaustoffe in technischen Bauwerken muss deshalb die gemittelte Konzentration nach mittelfristigen Zeiträumen (Jahre bis wenige Jahrzehnte) bekannt sein und berücksichtigt werden. Anderenfalls müssten bei Bewertung mit z.B. *WF* 10-Eluat hohe Sicherheitsaufschläge auf Grenzwerte vorgenommen werden, die nur schwer ableitbar sind. Grundsätzlich wird bei den aktuellen Bundesverordnungsverfahren zur Novellierung der BBodSchV und zur ErsatzbaustoffV im Rahmen der MantelV (BMU, 2011), per Konvention eine über den Zeitraum bis *WF* 2 gemittelte Konzentration zur Bewertung einer Grundwassergefahr herangezogen und entsprechende Untersuchungsmethoden mit *WF* 2 eingeführt. Diese Konvention bedeutet, dass einerseits im Falle eines raschen Konzentrationsrückgangs insbesondere in dünn-schichtigen Einbauweisen (vgl. Kapitel 4.1.3.3 und 4.1.3.6) das mittel- langfristige Umweltrisiko überschätzt wird, während andererseits im eher exotischen Fall von langfristig ansteigenden Konzentrationen das Langzeitrisko für Boden und Grundwasser unterschätzt wird. Die Bedeutung der Unschärfen von Konventionen bei der Festlegung des bewertungsrelevanten *WF* wird in Kapitel 4.1.3.6 diskutiert.

Der Wechsel von hohem *WF* (z.B. 10) zu niedrigem *WF* (z.B. 2) ist zunächst unabhängig von der Eignung der Untersuchungsmethode zur Herstellung eines Eluates. Das bisher übliche, nicht validierte, und für Böden und Schlämme (nicht für Abfälle) genormte Elutionsverfahren mit *WF* 10 (DEV S4) wird deshalb in der MantelV (BMU, 2011) nicht mehr eingesetzt werden können. Im Rahmen nationaler und internationaler Forschungsprojekte wurden Säulenversuche weiterentwickelt und 2009 durch das Deutsche Institut für Normung (DIN) normiert und erfolgreich validiert (DIN 19528). Der Säulenversuch basiert auf europäischen und internationalen Entwürfen und Erfahrungen aus zahlreichen Forschungsprojekten (u.a. Susset & Leuchs, 2008a; Susset & Leuchs, 2008b; Kalbe et al. 2007; Kalbe et al. 2008, Lopez Meza et al., 2009). Bei der Normung im DIN wurde besonderer Wert auf die Praktikabilität des Verfahrens gelegt. Im Gegensatz zu den europäischen Normen wird i.d.R. die Originalprobe bzw. -körnung untersucht und die Aufsättigungs- und Perkulationsraten werden so eingestellt, dass das Versuchsergebnis in 1-3 Arbeitstagen (Säulenkurzeluat bis *WF* 2 als Übereinstimmungstest) bzw. in einer Arbeitswoche (ausführlicher Säulenversuch mit 4 Fraktionen zur grundlegenden Charakterisierung) vorliegt. Vergleichbare Ergebnisse liegen nach CEN- oder ISO-Perkulationsnormen erst nach einer bzw. 4 Arbeitswochen vor (z.B. CEN TS 14405). Die europäischen und internationalen Normentwürfe konnten aufgrund mangelnder Validierung bislang nicht als endgültige Normen verabschiedet werden. Erstmalig liegt mit DIN 19528 ein validierter Säulenversuch vor, während sich sämtliche internationale Perkulationsverfahren (z.B. des Europäischen Komitees für Normung, CEN und der American Society for Testing And Materials, ASTM) noch im Vornormstadium (Technical Specification, TS) befinden.

Alle Säulenperkulationsnormen werden im Aufwärtsstrom betrieben. Nach DIN 19528 werden in einem ausführlichen Säulenversuch für die Basischarakterisierung 4 Fraktionen bei *WF* 0,3, 1, 2, und 4 gesammelt und in einem Säulenkurztest für die Übereinstimmungsuntersuchung das wässrige Eluat bis zu *WF* 2 gesammelt. Mit der Norm DIN 19528 liegt nunmehr ein Elutionsverfahren vor, das oben genannten Ansprüchen hinsichtlich einer genaueren Betrachtung des Verhaltens von mineralischen Ersatzbaustoffen Rechnung trägt.

Neben dem Säulenversuch wurde auch ein Schütteltest bei *WF* = 2 genormt (DIN 19529, 2009). Die Validierungsergebnisse beider DIN-Normen haben zu hinreichend guten Verfahrenskenndaten geführt (vgl. Verfahrenskenngrößen in DIN 19528, 2009 und in DIN 19529, 2009, Details in Kalbe et al. 2008 und praktische Aspekte der beiden Methoden in Kalbe et al., 2009). Nunmehr wird der Säulenversuch nach Norm DIN 19528 auch als Diskussionsgrundlage für die geplanten Robustheitstests (engl.: ruggedness testing) - und Validierungs-

studien für die europäischen und internationalen Normungsgremien (CEN und ISO) auf europäischer Ebene eingebracht (Task-Projekt des UFZ Leipzig).

Unabhängig vom grundsätzlichen Wechsel von hohen $WF = 10$ auf niedrige $WF = 2$ wurde im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens überprüft, ob die Ergebnisse im Schüttel eluat bei $WF 2$ nach DIN 19529 und im $WF 2$ Säulenkurzeluat nach DIN 19528 zu einer vergleichbaren Beurteilung der Materialqualitäten, also Bestimmung der Materialwerte führen. Letztlich soll anhand der Auswertung verfügbarer Vergleichsdatensätze für die verschiedenen mineralischen Ersatzbaustoffe eine Grundlage für das BMU geschaffen werden, die es erlaubt zu entscheiden, ob das $WF 2$ -Schüttelverfahren nach DIN 19529 im Rahmen der Güteüberwachung für die werkseigene Produktionskontrolle und die regelmäßige Fremdüberwachung gleichwertig eingesetzt werden kann. Dies ist laut Verordnungsgeber nur dann möglich, wenn eine einheitliche Materialwertetabelle in der ErsatzbaustoffV für beide Methoden gelten kann. Der Säulenversuch nach DIN 19528 bleibt dabei das Referenzverfahren für die Prüfung der Einhaltung der Materialwerte in $WF 2$ -Eluaten im Rahmen der Güteüberwachung nach EBV (BMU, 2011).

Zusammenfassung 4.1.3.2

- Laborsäulenversuche liefern vergleichsweise realitätsnahe Ergebnisse zur Beurteilung mineralischer Ersatzbaustoffe und Altlastenmaterialien hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials für Boden und Grundwasser (Quellterm Sickerwasserprognose).
- $WF 2$ entspricht bei gängigen technischen Bauweisen der EBV und dauerhaften Verfüllungen mittelfristigen und damit bewertungsrelevanten mittleren Konzentrationen im Sickerwasser.
- Der bisher gängige Schütteltest bei $WF 10$ prognostiziert langfristige und damit weniger bewertungsrelevante mittlere Konzentrationen im Sickerwasser, die aufgrund Verdünnung stark herabgesetzt sein können und weil sie unter Umständen im Bereich der Bestimmungsgrenze liegen, mit höheren Unsicherheiten belegt sind. Dies kann letztlich zu Fehlinterpretation oder Unterschätzung des Boden- und Grundwasser-gefährdungspotentials führen, welchen mit hohen und nur schwierig ableitbaren Sicherheitsaufschlägen auf Grenzwerten begegnet werden müsste.
- Mit der DIN 19528 liegt nunmehr ein validiertes Säulenversuchsverfahren vor, das den genannten Ansprüchen hinsichtlich einer genaueren Betrachtung des Verhaltens von mineralischen Ersatzbaustoffen und der Praktikabilität Rechnung trägt.
- Durch die Auswertung verfügbarer Vergleichsdatensätze von Säulen- und Schüttel eluaten nach DIN 19528 bzw. DIN 19529 wird geprüft, ob innerhalb der werkseigenen Produktionskontrolle und innerhalb der regelmäßigen Fremdüberwachungen auch der genormte und validierte $WF 2$ -Schütteltest nach DIN 19529 verwendet werden kann. Dies ist laut Verordnungsgeber nur dann möglich, wenn eine einheitliche Materialwertetabelle nach Anhang 1 der EBV für beide Methoden gelten kann.

4.1.3.3 Stofffreisetzungsszenarien zur Schematisierung des Quellterms

Drei grundlegende Stofffreisetzungsszenarien können unterschieden werden (vgl. Abb. 4.6):

- Quelltermtyp I: Gut wasserlösliche Substanzen wie insbesondere Salze (z.B. Chlorid und Sulfat) reichern sich i.d.R. rasch ab und zeigen bei verschiedenen Proben eines mineralischen Ersatzbaustoffes, also innerhalb einer Materialgruppe (z.B. Hausmüllverbrennungsaschen oder RC-Baustoffe) i.d.R. ein bemerkenswert reproduzierbares Stofffreisetzungsverhalten. Das Abklingverhalten kann mittels Anpassung von analytischen Lösungen der Advektions-Dispersionsgleichung an Messdaten aus ausführlichen Säulenversuchen i.d.R. sehr gut beschrieben werden (vgl. Abb. 4.6, links sowie Susset & Leuchs, 2008a und Grathwohl & Susset, 2009). Diese "Typkurven", erlauben eine generalisierte Ableitung von Maximalkonzentrationen von Salzen in WF 2-Eluaten für verschiedene mineralische Ersatzbaustoffe in verschiedenen Einbauweisen der EBV, bei welchen ein kurzfristiges Abklingen unter die GFS im Sickerwasser am Ort der Beurteilung innerhalb des Beurteilungszeitraums von 4 Jahren erwartet werden kann.
- Quelltermtyp II: Schwermetalle zeigen i.d.R. ein intermediäres Stofffreisetzungsverhalten (Abb. 4.6, Mitte), das z.B. durch anfängliche Auswaschung mobiler Schwermetallanteile, die oftmals komplexiert mit gelöstem organisch gebundenem Kohlenstoff (DOC, Dissolved Organic Carbon) im Wasser vorliegen oder durch komplexe chemische Reaktionen in der Feststoffmatrix des mineralischen Ersatzbaustoffes dominiert ist (siehe detaillierte Diskussion in, z.B. Grathwohl & Susset, 2009; Dijkstra, 2007; Dijkstra et al., 2004, 2006). Oft schließt sich mittel- oder langfristig ein diffusionslimitiertes Tailing der Schwermetallkonzentrationen im Eluat an, das aufgrund langsamer Diffusionsprozesse in intrapartikulären Poren lange anhalten kann. Insgesamt resultiert i.d.R. ein dynamisches Freisetzungsverhalten mit langfristig +/- konstanten Stoffkonzentrationen, die sehr lange oberhalb der Grenzwerte liegen können. Die Standardabweichungen der mittleren Stofffreisetzungsraten sind wesentlich höher und die Elution kann i.d.R. nicht mit einer generalisierten Typkurve beschrieben werden, da je nach Bindungsform der Metalle von Probe zu Probe ein sehr unterschiedliches Verhalten resultiert (vgl. Grathwohl & Susset, 2009; Susset & Leuchs, 2008a)
- Quelltermtyp III: Bei hochsorbptiven organischen Stoffen wie z.B. PAK (Abb. 4.6, rechts) und wenig mobilen Schwermetallanteilen können sich über lange Zeiträume und WF-Bereiche Gleichgewichtszustände halten (Grathwohl & Susset, 2009, Susset, 2004). Das Beispiel in Abb. 4.6 (rechts) zeigt ein Konzentrationsplateau, so dass identische aktuelle und kumulative Konzentrationen bei WF 2 resultieren. Erst längerfristig gehen auch hier die Eluatkonzentrationen zurück und es stellen sich Nichtgleichgewichtsbedingungen in der Säule ein. Der Übergang von Gleichgewicht zu Nichtgleichgewicht kann von Probe zu Probe sehr unterschiedlich sein und hängt insbesondere von den Sorptionseigenschaften des organischen Stoffes sowie von Menge und Art (Alter, thermische Überprägung etc.) des organisch gebunden Kohlenstoffes ab (vgl. Susset, 2004 und Grathwohl, 1998).

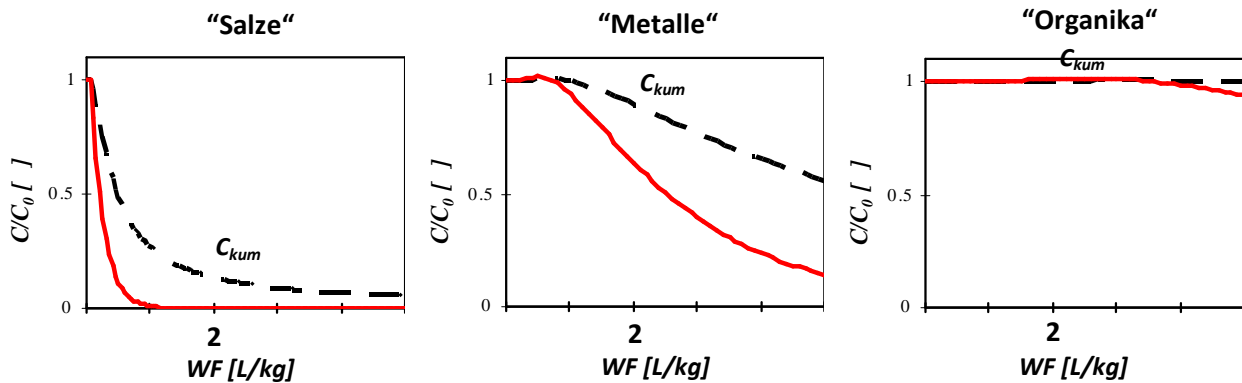


Abb. 4.6: Drei grundlegende Typkurven der Stofffreisetzung (Quelltermtypen I-III), verändert nach Susset & Grathwohl (2011): Für jeden Quelltermtyp sind die aktuellen Konzentrationen (durchgezogene Linien, C , C_0) und die kumulativen Konzentrationen (C_{kum} , gestrichelte Linien) schematisch eingezeichnet (berechnet mit analytischen Lösungen aus Grathwohl & Susset, 2009). Die kumulative Konzentration entspricht der gesamten Masse die bis zum WF der Probenahme freigesetzt wurde (z.B. bis WF 2 bei einem Säulenkurztest nach DIN 19528) bezogen auf das bis dahin durchströmte Wasservolumen. Links: Gut lösliche Substanzen (z.B. Chlorid, Sulfat oder mobile Metallanteile in bestimmten Materialien, z.B. sortenreine Ziegel) zeigen ein typisches Abklingverhalten (vgl. gemessenen Daten und Modellierungen von Typkurven in Grathwohl & Susset, 2009). Für jeden mineralischen Ersatzbaustoff mit relevanten Salzkonzentration wurde eine maximal zulässige Konzentration in WF 2-Eluaten (per Konvention die Referenzkonzentration für die Quelltermprognose) berechnet, bei der ein kurzfristiger Konzentrationsrückgang von der Anfangskonzentration C_0 auf GFS an der Unterseite des technischen Bauwerks/der Einbauschicht gewährleistet sein soll; Mitte und rechts: Für retardierbare Substanzen wie "Metalle" (Mitte) und hydrophobe "Organika" (rechts) wird per Konvention die kumulative Konzentration bis WF 2 als konstante Referenzkonzentration für die weitere Umweltrisikoprüfung eingesetzt (Betrachtung der Rückhaltung und / oder des Abbaus sowie der Anreicherung in konservativen Bodenszenarien über den Beurteilungszeitraum).

Je nach Material gibt es Abweichungen von den oben gezeigten grundlegenden Freisetzungsmustern (siehe auch Susset & Leuchs, 2008b). Zum Beispiel findet Susset (2010b) auch für mobile Anteile von Schwermetallen (z.B. Chrom, ges. und Vanadium) in verschiedenen sortenreinen Ziegeln ein reproduzierbares Abklingverhalten ähnlich wie bei gut wasserlöslichen Salzen, das mittels Anpassung des Modells von Grathwohl & Susset (2009) an eine repräsentative Datengrundlage von ausführlichen Säulenversuchsergebnissen mit sortenreinen Ziegeln gut beschrieben werden kann. Für den Einsatz verschiedener sortenreiner Ziegelmateriale als mineralischer Ersatzbaustoff für Natursteinmehle (wie z.B. Porphy) in dünn-schichtigen Bauweisen (z.B. Tennendeckenbeläge von Sportplätzen) bis zu einer per technischer Norm festgelegten Mächtigkeit von 6 cm, wurde auch für die höchsten gefundenen Anfangskonzentration der Schwermetalle in Ziegeln ein kurzfristiges Abklingen der Konzentrationen im Sickerwasser auf die GFS an der Unterseite dieser technischen Bauweisen gefunden. Dieses Freisetzungsverhalten wäre nach aktuellem Erkenntnisstand dem Quelltermtyp I zuzuordnen und entsprechend zu bewerten.

Zu Quelltermtyp II besteht nach wie vor besonders Forschungsbedarf. Insbesondere sollten die Datengrundlagen zum Stofffreisetzungsverhalten mit ausführlichen Säulenversuchen und Felduntersuchungen verbessert werden. Wie die Ergebnisse für sortenreine Ziegel zeigen, können nähere Untersuchungen des Stoffabklingverhaltens insbesondere für homogene Materialströme, die aus einem konstanten industriellen Produktionsprozess stammen, durchaus bewertungsrelevant sein. Das reproduzierbar rasche Abklingverhalten von Schwermetallen aus Ziegeln wird auf einen extrem steilen Konzentrationsgradienten zwischen immobilisierter Phase und mobiler Phase von Ziegeln zur Beginn der Elution zurückgeführt. So ist denkbar, dass die geogen vorhandenen Schwermetalle im silikatischen Schichtgitter der Tonminerale durch den Brennprozess, bei dem eine extrem hohe innere Oberfläche des

Ziegels geschaffen wird, an den Kontaktflächen mobilisiert werden und mit dem Austausch der ersten Porenvolumen in Säulenversuchen rasch ausgewaschen werden, so dass sich im *WF 2*-Eluat sehr hohe Konzentrationen einstellen können. Dies kann insbesondere bei der Betrachtung von dünn-schichtigen Bauweisen zu regelungsrelevanten Überschätzungen des Gefahrenpotentials führen, wenn die EBV oder GrwV direkt angewendet würden. Die restlichen Schwermetallanteile im Feststoff werden dann nur sehr langsam, vermutlich aufgrund extrem langsamer Intrapartikeldiffusionsprozesse kinetisch limitiert, freigesetzt.

Zusammenfassung 4.1.3.3

- Für eine generalisierte Abschätzung des Boden- und Grundwassergefahrenpotentials von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und dauerhaften Verfüllungen müssen Konventionen getroffen und Quelltermtypen schematisiert werden
- Vereinfachend lassen sich drei grundlegende Stofffreisetzungsszenarien unterscheiden:
 - Quelltermtyp I: Rasches Abklingen von Salzen und mobilen Anteilen von Schwermetallen „endliche Quellen“,
 - Quelltermtyp II: Intermediäres Stofffreisetzungsverhalten von i.d.R. Schwermetallen mit anfänglichem Abklingen und langfristig konstanten Konzentrationen
 - Quelltermtyp III: stark sorbierende Organika mit konstanten Konzentrationen im Eluat (Gleichgewichtsbedingungen - also mehr oder weniger „unendliche Quellen“).
- Für Salze können gut belegte, reproduzierbare Abklingfunktionen gefunden werden, so dass für jeden mineralischen Ersatzbaustoff mit relevanten Salzkonzentration eine maximal zulässige Konzentration in *WF 2*-Eluaten berechnet werden kann, die hier einen kurzfristigen Konzentrationsrückgang auf GFS an der Unterkante des technischen Bauwerks/der Einbauschicht innerhalb eines kurzfristigen Beurteilungszeitraums von 4 Jahren gewährleisten soll.
- Für Schwermetalle und Organika sind Typkurven i.d.R. bisher nicht hinreichend gut belegt und oftmals unsicher.
- Eine nähere Untersuchung des Stofffreisetzungsverhaltens von Schwermetallen erscheint notwendig. Am Beispiel von verschiedenen sortenreinen Ziegelarten kann anhand repräsentativer Daten von ausführlichen Säulenversuchen und Anpassung einer Abklingfunktion gezeigt werden, dass die mobilen Anteile von Chrom, ges. und Vanadium ein reproduzierbares rasches Abklingverhalten aufweisen.
- Für andere mineralische Ersatzbaustoffe besteht insbesondere bezüglich des Stofffreisetzungsverhaltens von Schwermetallen (Quelltermtyp II) Forschungsbedarf, insbesondere sollten die Datengrundlagen zum Stofffreisetzungsverhalten mit ausführlichen Säulenversuchen und Felduntersuchungen verbessert werden.
- Nach aktueller Erkenntnislage wird deshalb i.d.R. empfohlen für Schwermetalle und hydrophobe Organika für ein generalisierendes Fachkonzept der EBV die kumulative Konzentrationen (C_{kum}) bei *WF 2* als konstante Referenzkonzentration für die weitere Umweltrisikoprüfung zu verwenden
- Eventuell auftretende Abklingeffekte oder langfristig ansteigende Konzentrationen in spezifischen reaktiven Materialien werden hierbei vernachlässigt, was zu Über- bzw. Unterschätzungen des Gefahrenpotentials in speziellen Fällen führen kann.

4.1.3.4 Numerische Modellierung der Verdünnungseffekte in technischen Bauwerken

In einigen technischen Bauwerken können hydraulische Prozesse zu einer Reduzierung der entlang der Bauwerksunterkanten gemittelten Sickerwasserraten führen. Diese Verdünnungseffekte werden auf Kapillarsperreneffekte zurückgeführt, die sich entlang der Böschung von Dämmen oberhalb grobkörniger Materialien ausbilden können. Dabei sind Neigung und Durchlässigkeitskontrast der Schichten maßgeblich, der wiederum stark vom Sättigungsgrad der Poren abhängt. Mit einem numerischen Modell (siehe Beyer et al., 2007 oder 2008) wurde für jede technische Einbauweise der EBV (vgl. Definition in Tabelle 1, z.B. Lärmschutzwälle und Straßendämme mit bestimmter Geometrie und Infiltrationsraten und spezifischen technischen Einbauschichten von mineralischen Ersatzbaustoffen mit bestimmter Mächtigkeit) die entlang der Unterkanten der einzelnen technischen Einbauschichten gemittelten Sickerwasserraten berechnet. Dies führt zu schichtspezifischen Verdünnungsfaktoren für die verschiedenen Einbauweisen, die wiederum zu höheren maximal zulässigen Konzentrationen sowohl für nicht-retardierbare Substanzen wie Salze als auch für retardierbare Substanzen wie Schwermetalle und Organika führen. Desweiteren resultiert aus der Teilumströmung von Bauwerksbereichen eine verringerte, entlang der Bauwerksunterkante gemittelte Sickerwasserrate. Diese mittlere Sickerwasserrate stellt eine wesentliche Eingangsgröße für die Transportmodellierung in der unterlagernden ungesättigten Zone dar. Eine verringerte, mittlere, bauwerksspezifische Sickerwasserrate führt zu längeren Aufenthaltszeiten und zu effektiverem Abbau abbaubarer Substanzen in der darunterliegenden ungesättigten Bodenzone und wirkt sich günstig auf die Höhe der medianschutzbasierten Einbauwerte aus (vgl. Abbildung 4.7 und Ablaufschema in Abb. 1.1 Kapitel 1).

Auch eine verringerte Gesamtinfiltration (z.B. durch geringeren Niederschlag oder geringere Abflussbeiwerte (vgl. Kapitel 4.1.3.5 und Kapitel 3) führt zu verringerten entlang der Bauwerksunterkante gemittelten Sickerwasserraten mit den oben genannten Effekten für retardierbare und / oder abbaubare Substanzen. Eine verringerte Gesamtinfiltration wirkt sich allerdings gegenteilig auf die medianschutzbasierten Einbauwerte von Salzen aus. Da insgesamt weniger Wasser im Quellterm für die Auswaschung von Salzen zur Verfügung steht verlangsamt sich der Auswaschungsprozess und es resultieren folglich niedrigere maximal zulässige Quelltermkonzentrationen und medianschutzbasierten Einbauwerte für Salze, die ein Abklingen der Konzentrationen auf den GFS innerhalb eines Beurteilungszeitraums von 4 Jahren gewährleisten sollen (bei Salzen wird die bauwerks- und szenariospezifische absolute Zeitskala betrachtet, bei Metallen eine konstante Konzentration bei $WF\ 2$, wobei $WF\ 2$ nach unterschiedlichen Zeiträumen erreicht wird, vgl. Kapitel 4.1.3.2 und 4.1.3.6).

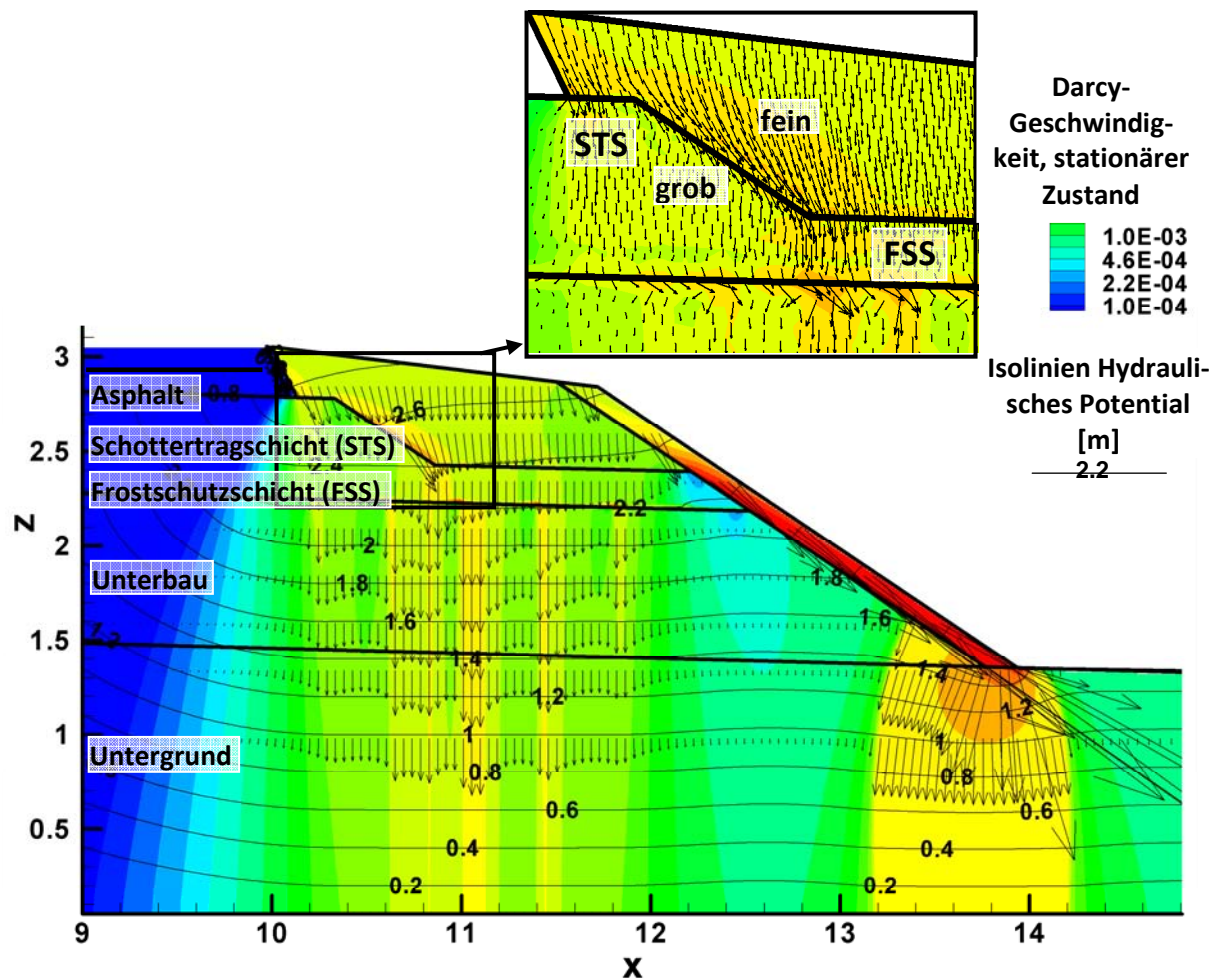


Abb. 4..7: Fließvektoren und Potentiallinien der Sickerwasserströmung in einem Straßendamm. Die Fließvektoren sind mit Pfeilen dargestellt. Im vergrößerten Bereich wird der Kapillarsperreneffekt veranschaulicht. Die höhere Durchlässigkeit des nahezu wassergesättigten feinen Materials führt hier zu einem bevorzugten Fließen. Dadurch werden mineralische Ersatzbaustoffe in der Schottertragschicht (STS) und in der Frostschutzschicht (FSS) nur teilweise durchströmt (verändert nach Susset & Grathwohl, 2011).

Zusammenfassung 4.1.3.4

- Für technische Bauwerke mit Kapillarsperreneffekten wurde die Durchströmung numerisch modelliert.
- Es wurden gängige numerische Modelle und weitere Modellansätze zur Verifizierung der Ergebnisse eingesetzt.
- Bei nur teilweiser Durchströmung des Bauwerks bzw. einzelner Einbauschichten sind entlang der Bauwerksunterkante gemittelte Sickerwasserraten herabgesetzt.
- Schichtspezifische Verdünnungsfaktoren führen zu einer Erhöhung der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen (sowie der medien-schutz-basierten Einbauwerte und der Materialwerte bei *WF 2*) für alle betrachteten Substanzklassen.
- Verringerte mittlere Sickerwasserraten an der Unterkante des Bauwerks gehen als wesentliche Größe in die Transportberechnung in der unterlagernden ungesättigten Zone ein; dies führt zu längeren Aufenthaltszeiten (Retardation) und effektiverem Abbau und damit zu höheren maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen (medien-schutz-basierte Einbauwerte und Materialwerte) für retardier- und/oder abbaubare Substanzen.
- Eine verringerte Gesamteinfiltration reduziert ebenfalls Sickerwasserraten an der Unterkante des Bauwerks. Bei Salzen führt eine verringerte Gesamteinfiltration im Quellterm zu einer längeren Auswaschung und damit zur Herabsetzung der maximal zulässigen Quelltermkonzentration (gegenteiliger Effekt im Vergleich zu Metallen/Organika).

4.1.3.5 Ableitung medianschutzbasierter Einbauwerte für Salze (Quellterm)

Die medianschutzbasierten Einbauwerte für Salze wurden für jeden mineralischen Ersatzbaustoff mit relevanten Salzkonzentrationen und jede spezifische Einbauweise in technischen Bauwerken separat berechnet (Abb. 4.8). Salze können zwar nachweislich schwach retardiert werden (z.B. Sulfat, vgl. Susset & Leuchs, 2008a; Förstner & Grathwohl, 2007; Beyer et al., 2008), was aber nicht dazu führt, dass die Aufenthaltszeit in der ungesättigten Zone auf einer Transportstrecke von 1 Meter 200 Jahre erreichen könnte (vgl. Konventionen und Randbedingungen in Kapitel 4.1.1) und deshalb innerhalb dieses Fachkonzepts und aus Sicht des Verordnungsgebers nicht relevant ist. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist auch keine hinreichende Retardation für Fluorid bekannt bzw. quantifizierbar. Aus diesem Grund können Retardations-, Abbau- oder Umwandlungsprozesse für Salze wie Chlorid, Sulfat oder Fluorid im Fachkonzept nicht berücksichtigt werden. Die medianschutzbasierten Einbauwerte für Salze sind deshalb unabhängig vom Transportszenario, d.h. unabhängig von den Untergrundverhältnissen und vom Grundwasserflurabstand und hängen nur vom materialspezifischen Freisetzungsverhalten (Quelltermfunktion, vgl. Kapitel 4.1.3.3 Teil I und Abbildung 4.7, links und Ablaufschema in Abb. 1.1 Kapitel 1), den klimatischen Faktoren (Niederschlag, Evapotranspiration, Sickerwasserrate, etc.), der bauwerksspezifischen Hydraulik (gemittelte Sickerwasserraten, Verdünnungsfaktoren), Material- und konstruktionsspezifischen Trockenraumdichten im Einbauzustand und der Mächtigkeit der spezifischen technischen Einbauweise ab.

Für Fluorid sind die Datengrundlagen zum Freisetzungsverhalten sehr begrenzt. Die wenigen vorliegenden Daten deuten auf ein dynamisches Elutionsverhalten mit mehr oder weniger konstanten Konzentrationen über längere Zeiträume und weite *WF*-Bereiche hin (vgl. Kapitel 4.1.2.4 Teil II). Im Rahmen dieses Fachkonzepts konnten deshalb kein materialspezifisches Abklingverhalten für Fluorid berücksichtigt werden. Dies bedeutet bei entsprechender Umsetzung in der EBV, dass Fluorid, sofern keine Verdünnungseffekte in einer bestimmten Einbauweise vorliegen, sowohl im ungünstigen und im günstigen Fall nach derzeitigem Kenntnisstand den GFS einhalten muss.

Für die Berechnung des Abklingverhaltens von Chlorid und Sulfat wurde in Abstimmung mit dem BMU, BMVBS und der BaSt wie bereits bei Susset & Leuchs (2008a) vereinfachend die Gesamtinfiltrationsrate angesetzt. Es erfolgt damit keine Unterscheidung zwischen den schichtspezifischen mittleren Sickerwasserraten. Die so ermittelten zulässigen Quelltermkonzentrationen bei *WF* 2 für Salze werden wiederum für die Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten für die einzelnen Einbauschichten mit den aus den numerischen Modellen abgeleiteten Verdünnungsfaktoren multipliziert. Werden gleiche oder verschiedene mineralische Ersatzbaustoffe in mehreren Schichten übereinander eingebaut können ein abweichendes Freisetzungsverhalten und eine längere Freisetzungsdauer von Salzen resultieren. Im Fall der Schottertragschicht ist dies allerdings nicht relevant, da diese kaum durchströmt wird. Bei Frostschutzschichten und Unterbau würden sich die Stofffreisetzungspotenziale im „Worst-case“ addieren. Die Verdünnungsfaktoren gelten aber unabhängig von der Übereinanderschichtung gleicher oder verschiedener mineralischer Ersatzbaustoffe.

Die für die einzelnen Einbauweisen und technischen Bauwerke spezifischen Transportparameter und die Charakteristiken der Quelltermfunktionen für Chlorid und Sulfat für verschiedene mineralische Ersatzbaustoffe finden sich in detaillierten Tabellen bei Susset & Leuchs (2008a) und wurden im Rahmen dieses Projekts überprüft und ggf. an neue Messergebnisse angepasst oder für neue Materialien abgeleitet (vgl. Kapitel 4.2.2 Teil II).

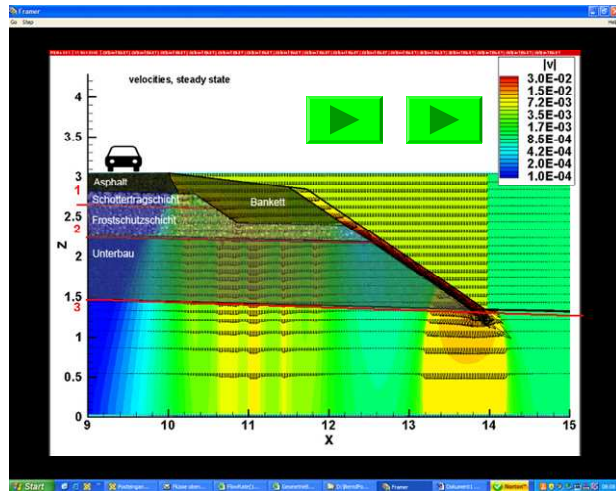
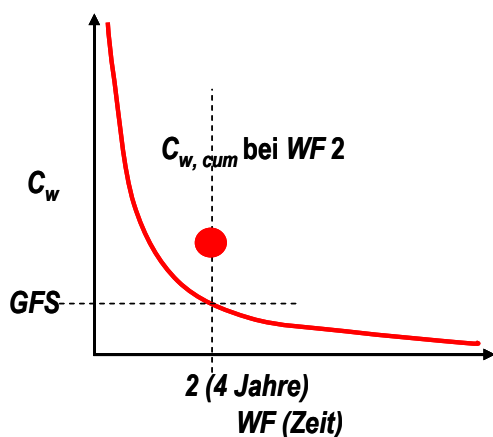


Abb. 4..8: Berücksichtigung des zeitlichen Abklingverhaltens von Chlorid und Sulfat bei der Ableitung von medienschutzbasierten Einbauwerten in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften, den Schichtmächtigkeiten, dem Niederschlag und der Infiltration, von bauwerksspezifischen Sickerwasserraten und der Durchströmung (Verdünnungsfaktoren). Links: Quelltermfunktion zur Beschreibung des stoff- und materialspezifischen Freisetzungsverhaltens; rechts: Numerische Simulation der Durchströmung exemplarisch für den Seitenraum eines Straßendammes.

4.1.3.6 Diskussion der WF 2-Konvention zur Ermittlung einer mittelfristig konstanten Referenzkonzentration zur Quelltermprognose

Die Stärke einer Konvention liegt in der Vereinfachung komplexer Zusammenhänge, was für ein generalisiertes bundeseinheitlich geltendes Regelwerk wie die EBV dringend notwendig ist. Anderenfalls könnten nur Einzelfallbetrachtungen bzw. Einzelfallgenehmigungen erfolgen. Die Schwäche einer Konvention liegt in der „Unschärfe“ der Betrachtungsweise, die sich durch die Vereinheitlichung oftmals komplexer Zusammenhänge ergibt (hier: die Gleichsetzung der WF 2-Konzentrationen mit der mittelfristig zu erwartenden Sickerwasserkonzentrationen unterhalb von mineralischen Ersatzbaustoffen). Die Unschärfen der WF 2-Konvention werden im Folgenden, obwohl vielfach veröffentlicht (z.B. Susset & Leuchs, 2008a, Grathwohl & Susset, 2009, Susset & Grathwohl, 2010) und mit den Länderarbeitsgemeinschaften und anderen Fachgremien eingehend diskutiert (z. B. auf der 61. Sitzung des LAWA-AG am 8./9.6.2010) im Folgenden nochmals veranschaulicht:

„Unschärfe 1“ – unterschiedliche Mittelungszeiträume für die Referenzkonzentration bei WF 2: Je nach Mächtigkeit der in der EBV geregelten Einbauweisen von z.B. 50 cm (Tragschichten) bis z.B. 4 m (z.B. Ober- und Unterbau von Straßendämmen) liegen der WF 2-Konvention unterschiedliche Mittelungszeiträume zu Grunde, weil die Zeit für die Durchsickerung eines Bauwerks mit der Mächtigkeit zunimmt. Beispielsweise wird WF 2 in einem 4 m mächtigen Lärmschutzwall mit einer Einbaudichte des mineralischen Ersatzbaustoffes von 1800 kg/m³ und einer Sickerwasserrate von 300 mm/Jahr in 48 Jahren erreicht (vgl. Gleichungen in Grathwohl & Susset, 2009; Susset & Leuchs, 2008a, b; und LS/time-conversion tools in LeachXS: www.leaching.org, van der Sloot). Für eine 50 cm mächtige Tragschicht würde bei sonst gleichen Einbaubedingungen ein Mittelungszeitraum von nur 6 Jahren resultieren. Die der WF 2-Konvention entsprechenden Mittelungszeiträume für die technischen Bauwerke der EBV schwanken folglich im Bereich von wenigen Jahren bis zu 50 Jahren.

„Unschärfe 2“ – Unterschiedliche Zeiträume der Überschreitung der GFS/Bezugsmaßstäbe innerhalb des Mittelungszeitraums bei WF 2:

Gerade weil das Abklingverhalten von Schwermetallen aufgrund fehlender Datengrundlagen nicht abschließend geklärt ist (siehe Kapitel 4.1.3.3) bzw. i.d.R. nicht generalisierbar ist, wurde für Schwermetalle und Organika in der EBV durch den Ordnungsgeber per Konvention eine kumulierte Eluatkonzentration bei WF 2 als Referenzkonzentration gewählt. Abbildung 4.9 veranschaulicht die bekannte und in den Fachgremien eingehend diskutierte Tatsache, dass trotz mittelfristiger, gemittelter Einhaltung der Grenzwerte (je nach Untergrundverhältnissen (Bodenkategorie, GW-Abstand entweder der stoffspezifische GFS bzw. Bezugsmaßstab oder medienschutzbasierter Einbauwert) im WF 2-Eluat (Referenzkonzentration), die Grenzwerte durch die aktuellen Konzentrationen zeitweise überschritten, dauerhaft erreicht oder infolge eines langfristigen Konzentrationsanstiegs langfristig überschritten werden können. Abbildung 4.9 zeigt beispielsweise, dass der Bezugsmaßstab von Vanadium von 20 µg/L (oben) von Beginn an eingehalten wird. Aufgrund langsamer Freisetzungsprozesse kann dieser aber über sehr lange Zeiträume (z.B. mehrere 100 Jahre) erhalten bleiben. In diesem Fall mit +/- konstantem, niedrigen Konzentrationsplateau (Tailing) wird im „Worst-case“ dauerhaft der entsprechende Grenzwert eingestellt. Innerhalb der WF 2 - Konvention kann demnach nicht unterschieden werden, ob die Konzentrationen langfristig unter die Bestimmungsgrenze abklingt oder über sehr lange Zeiträume konstante Konzentrationen im Grenzwertbereich vorliegen oder diese im „Worst-case“ langfristig sogar ansteigen. Bei einem raschen Konzentrationsabfall (Abb. 4.9 unten) können im WF-Bereich von ca. 1,5 L/kg die aktuellen Konzentrationen im Sickerwasser den BM von Vanadium deutlich überschreiten (hier bis maximal um den Faktor 2,75). Gemittelt über den Mittelungszeitraum bis WF 2 wird dieser dennoch eingehalten.

Da wie oben beschrieben („Unschärfe 1“) je nach Bauweise unterschiedliche Mittelungszeiträume resultieren, werden bei hohen Schichtmächtigkeiten von Bauwerken die Grenzwerte durch Schwermetalle und PAK im Fall 2 (Abb 4.9 unten) auch länger als kurzfristig (> 4 Jahre) überschritten (bei Salzen wird dagegen anhand der Quelltermfunktionen das Abklingverhalten über absolute Zeit betrachtet – der Überschreitungszeitraum wird damit exakt auf 4 Jahre begrenzt). Allerdings ist das Risiko einer mittel- bis längerfristigen deutlichen Überschreitung von Grenzwerten bei einer Beurteilung mit engeren WF 2 gegenüber einer Bewertung bei WF 10, hinreichend begrenzt. Die WF 2-Konvention stellt damit gegenüber der bisher üblichen Bewertung des Gefährdungspotentials von mineralischen Ersatzbaustoffen (und auch Altlasten) in WF 10 – Schütteleluaten eine realitätsnähere Behandlung dar (in vielen Fällen ist man bei einer Bewertung auf Basis von WF 10-Eluat wegen Verdünnung etc. (siehe oben) „blind“ für das eigentliche Problem einer mittel-längerfristigen auch deutlichen Grenzwertüberschreitung). Für eine Bewertung im Rahmen der EBV sind sowohl aus rechtlicher als auch aus fachlicher Sicht mittlere und mittelfristige Konzentrationen bei WF 2 relevant. Die LAWA unterstützt gemäß Ihrer Stellungnahme der LAWA AG „zu den fachlichen Grundlagen der geplanten Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung“ vom 26.09.2008 (liegt dem BMU vor) diese Vorgehensweise und argumentiert entsprechend, dass „aus Sicht des Grundwasserschutzes dem Wechsel auf eine Elutionsmethode mit einem Wasser/Feststoffverhältnis von 2:1 gefolgt werden kann, da sich der Verdünnungseffekt weniger stark auswirkt und so „realitätsnähere“ Stoffkonzentrationen im Eluat ermittelt werden.“

Im Fall von dünn-schichtigen Bauweisen kann die WF 2-Konvention aufgrund der Unschärfe bezüglich des Mittelungszeitraums jedoch zu einer deutlichen Überschätzung des Grundwasser- und Bodengefahrenpotentials führen. Susset (2010c) zeigt am Beispiel von maximal 6 cm mächtigen Tennendecken, dass WF 2 bei sonst gleichen Einbaubedingungen gegenüber den Standardbauweisen der EBV viel früher in weniger als 9 Monaten erreicht wird. Bei direkter Übertragung der WF 2-Konvention auf dünn-schichtige Bauweisen - also einer Bewertung des Grundwasser- und Bodengefahrenpotentials mit einer Referenzkonzentration bei WF 2 – würde man hier das Gefahrenpotential stark überschätzen, da abweichend von

der BMU-Konvention im EBV-Konzept mit Beurteilung von Konzentrationen nach Jahren bis Jahrzehnten, eine nur kurzfristig vorliegende hohe Konzentration zu Elutionsbeginn als bewertungsrelevante Referenzkonzentration herangezogen würde. Übertragen auf den Mittelungszeitraum von im Mittel ca. 40 Jahren bei EBV müssten bei den dünnsschichtigen Szenarien bis 6 cm Mächtigkeit entsprechend der Konvention in der EBV kumulierte Konzentrationen bei *WF* von ca. 223 für die Grundwasser- und Bodengefahrenbeurteilung angesetzt werden.

Innerhalb des Regelungsbereichs der EBV befinden sich bisher zwei dünnsschichtige Bauweisen: Die Bauweise mit der laufenden Nr. 15 „Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen“ mit typischen Mächtigkeiten von 3 cm und die Bauweise mit der laufenden Nr. 16 „Deckschicht ohne Bindemittel“ mit typischen Mächtigkeiten von 6 cm. Diese Schichtmächtigkeiten wurden durch Susset & Leuchs (2008a) bei den Abklingfunktionen von Salzen unmittelbar nach Fachkonzept berücksichtigt. Bei der Bewertung von Schwermetallen und Organika werden, wie in Kapitel 4.1.3.3 beschrieben, jedoch konstante Quellstärken angenommen. Insofern hätten die geringeren Mächtigkeiten keine Auswirkung auf die Bewertung. Da keine belastbaren Daten vorlagen, gingen Susset & Leuchs (2008a) bei der Bewertung dieser Bauweisen allerdings nach einem Abwägungsprozess wie folgt vor: *„.....der geringe Schadstoffvorrat der geringmächtigen Bauweisen „Bettungssand“ und „Deckschicht“ wurden positiv dahingehend berücksichtigt, dass geringe Überschreitungen der konzeptionellen Einbaukonzentrationen toleriert werden“* (vgl. Kapitel 4.6, 4. Absatz in Susset & Leuchs, 2008a) und weiter *„.....die Einordnungen der Mineralstoffe ergeben sich relativ zur Zuordnung der Materialien zu den wasserdurchlässigen Bauweisen und abgestuft in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials. Aus Sicht der Autoren sind sie stimmig zur Beurteilung der wasserdurchlässigen Bauweisen, im Einzelfall, da harte Beurteilungskriterien fehlen, jedoch grundsätzlich diskutabel.“* (vgl. Kapitel 3.6, 7. Absatz in Susset & Leuchs, 2008a). Während hier nach damaligem Kenntnisstand eine Abwägung vorgenommen wurde, liegen nun für das Anwendungsfeld sortenreiner Ziegel in Tennendecken fachlich robuste Beurteilungskriterien für die Bewertung dieser speziellen Materialien in dünnsschichtigen Bauweisen bis zu 6 cm Mächtigkeit vor, anhand derer eine Umweltgefährdung nach dem medienschutzbasierten Fachkonzept ausgeschlossen werden kann (vgl. Messdaten und empirischen Berechnungen in Susset, 2010c und Kapitel 4.1.3.3).

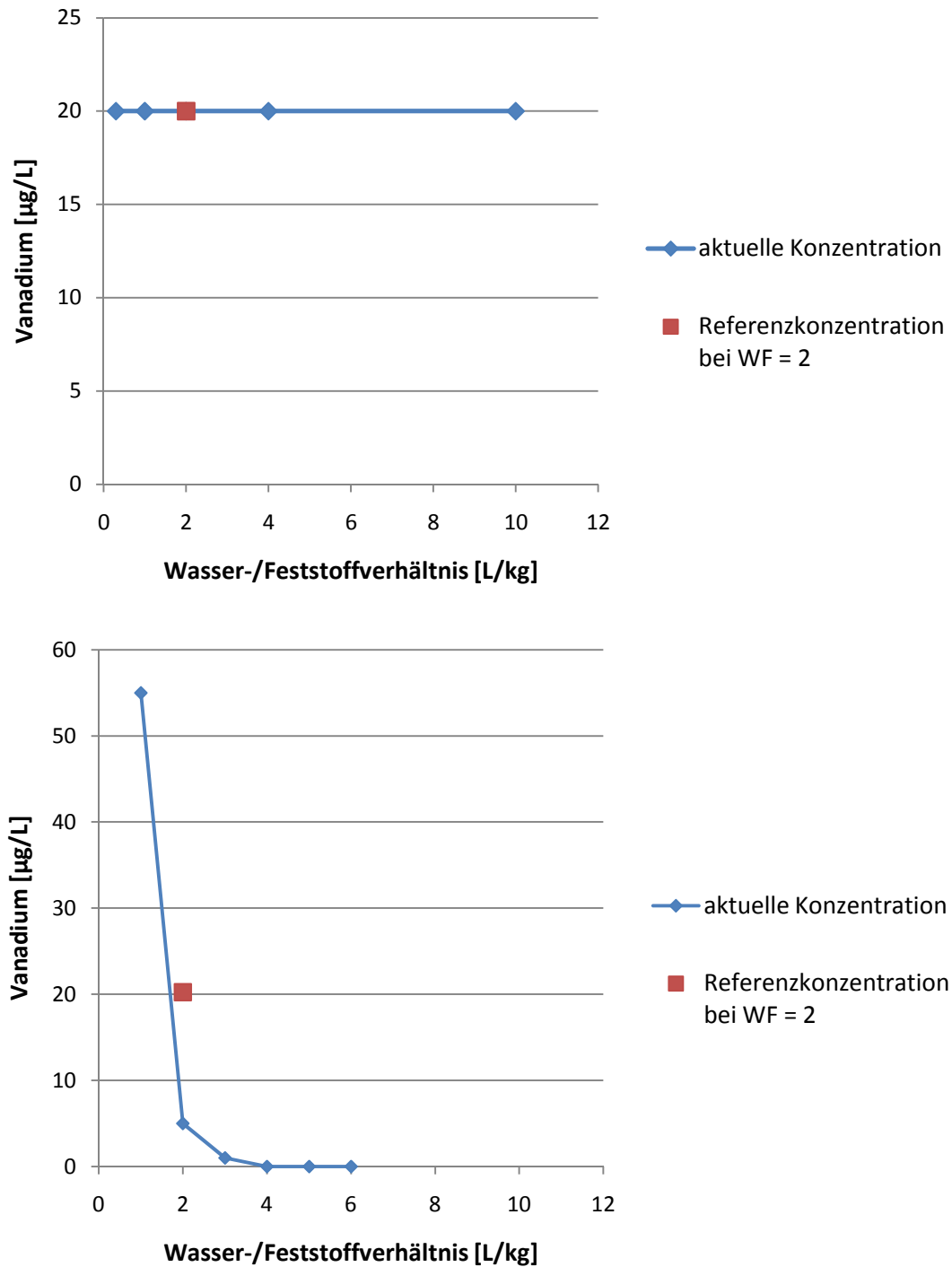


Abb. 4.9: Bedeutung der Konvention des BMU bei der Bewertung von mittleren, mittelfristigen Konzentration im Sickerwasser in kumulierten $WF 2$ - Eluaten. Oben: Langfristig konstant niedriger Konzentrationen (Tailing) im Bereich des Bezugsmaßstabes für Vanadium – der Grenzwert liegt langfristig an. Unten: Rascher Konzentrationsabfall auf Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze innerhalb $WF 1,5$ – der Grenzwert wird zeitweise, je nach Bauwerksmächtigkeit und Sickerwasserrate auch länger als 4 Jahre überschritten. In beiden Fällen wird im Referenzeluat der EBV bei $WF 2$ der Grenzwert im Mittel eingehalten.

4.1.4 Transportterm – Transportprognose

4.1.4.1 Ableitung medienschutzbasierter Einbauwerte für retardierbare und / oder abbaubare Stoffe

Kapitel 4 und 5 im technischen Teil II zeigen detaillierte Berechnungsergebnisse. Wie in Kapitel 4.1.1 diskutiert können Retardation/Abbau per Konvention nur dann berücksichtigt werden, wenn der höchste zu erwartende Grundwasserstand mehr als 1 Meter unterhalb der Unterkante des technischen Bauwerks oder der dauerhaften Verfüllung mit mineralischen Ersatzbaustoffen liegt. Zur Ableitung von medienschutzbasierten Einbauwerten für retardierbare und/oder abbaubare Stoffe werden drei Fälle unterschieden: Liegen ungünstige Bodeneigenschaften vor oder liegt der höchste zu erwartende Grundwasserstand weniger als 1 Meter unterhalb der Unterkante des technischen Bauwerks sind grundsätzlich - abgesehen vom Vorliegen bauwerkspezifischer Verdünnungsfaktoren - die GFS oder Bezugsmaßstäbe im Säulenkurzeluat bis *WF* 2 unmittelbar einzuhalten. In diesem Fall ist keine Transportmodellierung notwendig (vgl. Abb. 1.1 in Kapitel 1 Teil I). Für Fallgestaltungen, bei welchen die Mächtigkeit der grundwasserfreien Transportschicht mehr als einen Meter beträgt, wurde abhängig von der Bodenart (Sand oder Lehm/Schluff/Ton) für jeden retardierbaren und ggf. abbaubaren Stoff eine maximal zulässige, konstante Quelltermkonzentration im *WF* 2-Eluat berechnet, die auch bei dauerhafter Einwirkung auf das Bodensegment nicht zu einem Durchbruch von Sickerwasser mit Konzentrationen oberhalb der Geringfügigkeitsschwellen/Bezugsmaßstäbe und nicht zu einer Anreicherung von mehr als 50 % der Filterkapazität (= Vorsorgewerte – Hintergrundwert) innerhalb der Betrachtungszeiträume von 200 bzw. 500 Jahren führt.

Für das generalisierte Regelungskonzept der EBV wurden zwei Bodenkategorien unterschieden: Sandige Böden mit i.d.R. moderatem Retardations- und Abbaupotential und schluffig/lehmig/tonige Böden mit i.d.R. höherem Retardations- und Abbaupotential. Diese Bodenszenarien wurden durch Beyer et al. (2007, 2008) und Grathwohl et al. (2006) auf der Grundlage einer statistischen Auswertung typischer Bodeneigenschaften der Hauptbodeneinheiten in Deutschland aus der Bodenübersichtskarte (BÜK 1000) der BGR (BGR, 2005) im Maßstab 1:1.000.000 und einer darauf aufbauenden Klassifizierung von Unterboden/Untergrundeinheiten parametrisiert. Susset & Leuchs (2008a) diskutieren im Einzelnen die Zielgrößen dieser Auswertung. Im Folgenden wird kurz zusammengefasst: Zielgrößen der Auswertung sind Profilmächtigkeit (ohne A-Horizonte), Tongehalt, pH-Wert, TOC-Gehalt sowie einige bodenphysikalische Kenngrößen. Grundsätzlich wurden jeweils Werte bestimmt, die von allen oder 90 % der auswertbaren Sand- bzw. Schluffprofile der BÜK 1000 mindestens eingehalten werden können bzw. i. d. R. günstiger sind. Dies gilt auch für die Auswahl der Lagerungsdichten und nutzbaren Feldkapazitäten (höhere Trockenraumdichten bzw. geringe nutzbare Feldkapazitäten führen zu einer höheren Retardation, also stärkeren Verzögerung des Schadstofftransportes gegenüber dem konservativen Tracer). Insgesamt soll damit sichergestellt werden, dass 90% der sandigen oder schluffigen Böden Deutschlands, die hier für die Transportmodellierung der medienschutzbasierten Einbauwerte verwendeten Sorptionsqualitäten mindestens einhalten oder übertreffen. Damit wurde die Voraussetzung für eine generalisierte Bewertung in einem Regelwerk geschaffen, so dass ohne Einzelfallprüfung bei Nachweis des Standardfalls mit einfachen Mitteln eine Entscheidung über die Zulässigkeit einer Verwertungsmaßnahme getroffen werden kann. Im Vollzug ist deshalb keine Messung der Transportparameter im Boden, sondern nur eine einfache kartografische oder bodenkundliche Entscheidung notwendig, ob ein ungünstiger Fall (höchster zu erwartender Grundwasserstand < 1 m unterhalb des Bauwerks oder ungünstige Rückhalteigenschaften wie z.B. von Karstgebirgen oder Kiesterrassen), ein moderat günstiger Fall (mindestens 1 Meter Sandboden und höchster zu erwartender Grundwasserstand > 1 m unterhalb des Bauwerks) oder ein günstiger Fall (mindestens 1 Meter Lehm, Schluff oder "bessere" Böden mit noch höherem Sorptionsvermögen wie z.B. Ton und höchster zu erwartender Grundwasserstand > 1 m unterhalb des Bauwerks) vorliegt.

Für die Transportmodellierung wurde die, in Susset & Leuchs (2008b), beschriebene analytische Lösung der Advektions-Dispersionsgleichung durch Liedl et al. (2006) in ein gängiges Tabellenkalkulationsprogramm umgesetzt. Die Retardation wurde mit Pedotransferfunktionen von Utermann et al. (2005) abgeschätzt (substratübergreifende Freundlichisothermen). Hierzu wurde die substratübergreifende Freundlichisotherme nach Utermann mit den oben genannten statistisch abgeleiteten Bodenparametern für die beiden Bodenkategorien parametrisiert und mittels Linearisierung für den jeweiligen Konzentrationsbereich (detailliert in Susset & Leuchs, 2008a und Kapitel 4.1.2.3 Teil II) daraus der konzentrationsabhängige Verteilungskoeffizient berechnet. Die maximal zulässige konstante Quelltermkonzentration, die eine Rückhaltung des betrachteten Stoffes über den jeweiligen Beurteilungszeitraum gewährleistet wurde iterativ bestimmt. Abbau wurde mit einem einfachen kinetischen Ansatz 1. Ordnung unter Verwendung konservativer Abbauraten modelliert (vgl. Gleichungen und Diskussion der Abbauraten in Susset & Leuchs, 2008a, sowie Zusammenstellung aller Eingangsgrößen in Kapitel 4).

Zur Berechnung der Anreicherung wurde die insgesamt im Beurteilungszeitraum in Abhängigkeit der Höhe der konstanten Quelltermkonzentration freigesetzte Stoffmenge (Emission) auf die Masse des darunterliegenden Bodens bezogen. Damit ergibt sich eine über 1 Meter Transportzone gemittelte Feststoffkonzentration, die wie in Kapitel 4.1.1 ausführlich diskutiert nicht mehr als 50 % der Filterkapazität, gegeben durch den Bodenvorsorgewert abzüglich des Hintergrundwertes, betragen darf. Hieraus ergibt sich eine maximal zulässige, konstante Quelltermkonzentration aus dem Anreicherungskriterium.

Für jedes relevante Schwermetall und für die relevanten organischen Schadstoffe und jede Einbauweise bzw. jedes technische Bauwerk wurden schließlich maximal zulässige Quelltermkonzentrationen für die verschiedenen Sickerwasserraten bestimmt, die entweder durch das Anreicherungs- oder das Durchbruchkriterium limitiert sind. Die medianschutzbasierten Einbauwerte erhält man durch Multiplikation der maximal zulässigen konstanten Quelltermkonzentration mit den bauwerksspezifischen Verdünnungsfaktoren die sich ggf. aus den verschiedenen hydraulischen Bedingungen ergeben (vgl. Kapitel 5 und Ablaufschema in Abb. 1.1).

Abbildung 4.10 veranschaulicht die einzelnen Arbeitsschritte zur Berechnung medianschutzbasierter Einbauwerte für retardierbare und/oder abbaubare Stoffe. Es wird eine Sickerwasserprognose in drei Schritten durchgeführt.

1. Prüfung des Durchbruchkriteriums: Berechnung der zulässigen (konstanten) maximalen Quelltermkonzentration im *WF 2 - Eluat*, die eine Rückhaltung der Stoffe in einem Meter Rückhaltezone über einen nachhaltigen Zeitraum, der seitens des BMU für den Vorsorgebereich mit 200 Jahren für technische Bauwerke und 500 Jahren für Verfüllungen festgelegt wurde, gewährleistet. Wie die Ergebnisse in Abbildung 4.10 zeigen, wären für das hier betrachtete wenig mobile Schwermetall extrem hohe konstante Quellstärkekonzentrationen zulässig ($> 10.000 \mu\text{g/L}$) und die Konzentrationsfront würde dennoch innerhalb von 200 Jahren nicht an der Unterseite auftreten. Die Durchbruchdauer von Sickerwasserkonzentrationen oberhalb der GFS- oder Bezugsmaßstäbe würde hier auch bei sehr hohen Quellkonzentrationen einen Zeitraum von mehreren 1000 Jahren einnehmen. Für abbaubare Stoffe, wie z. B. PAK, wird zusätzlich der Bioabbau berücksichtigt. Effektiver Bioabbau führt zu einer zusätzlichen Verzögerung des Durchbruchs und zu einer Absenkung der dauerhaft und maximal erreichbaren Konzentrationen.
2. Prüfung des Anreicherungskriteriums: Berechnung der zulässigen (konstanten) maximalen Quelltermkonzentration im *WF 2 - Eluat*, so dass die Stoffanreicherung der zurückgehaltenen Stoffe im Beurteilungszeitraum gemittelt über 1 Meter Bodenprofil (einfache Berechnung durch Bezug der Emission im Betrachtungszeitraum auf die Masse des Bodenvolumens) nicht zu einer Anreicherung von mehr als 50 % der Fil-

terkapazität führen. Wie die Ergebnisse in Abb. 4.10 zeigen (rote Strichlinie, Konzentrationsprofile) führt hier bereits eine konstante Quellstärke von 250 µg/L zu einer Anreicherung auf 20,5 mg/kg (= 50 % der Filterkapazität von 41 mg/kg in Schluffböden für das hier betrachtete Schwermetall) gemittelt über das Bodenprofil.

3. Die für dieses Szenario zulässige maximale Quelltermkonzentration beträgt folglich 250 µg/L, da hier das Anreicherungskriterium limitiert. Der medianschutzbasierte Einbauwert zur Bewertung der Zulässigkeit des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen nach EBV ergibt sich schließlich durch die Multiplikation der maximal zulässigen Quelltermkonzentration mit evtl. gegeben bauwerksspezifischen Verdünnungsfaktoren.

Die Festlegung von Beurteilungszeiträumen von 200 Jahren bei technischen Bauwerken und bis 500 Jahren bei permanenten Verfüllungen per Konvention birgt folgende „Unschärfe“: Im „Worst-case“ würde bei konstanter Quellstärke in Abhängigkeit der Schadstoffeigenschaften nach unterschiedlich langen Zeiträumen (hunderte bis tausende Jahre) mit einem Durchbruch der Stoffe am Übergang zur gesättigten Zone in das Grundwasser zu rechnen sein.

Die Festlegung einer mittleren Anreicherung über 1 Meter birgt folgende „Unschärfe“: Die „tatsächliche“ Verteilung der angereicherten Stoffe über das Bodenprofil ist nicht gleichmäßig, sondern auf den oberen Bereich beschränkt (vgl. Abb. 4.10, mit dem Retardationsmodell berechnete braune Linie). Bei nicht abbaubaren persistenten Schadstoffen würde sich im „Worst-case“ einer quasi unendlichen Quelle nach sehr langen Zeiträumen die Quelltermkonzentration und die mit dieser Sickerwasserkonzentration korrespondierende Feststoffkonzentration auf der gesamten Sickerstrecke bis zum Grundwasser einstellen, was im vorliegenden Beispiel des wenig mobilen Schwermetalls aber erst nach über 40000 Jahren der Fall wäre.

Allerdings ist nicht zu erwarten, dass eines der beiden genannten „Worst-case“-Szenarien (langfristiger Durchbruch bei konstanter Quelle nach 200 Jahren und Anreicherung über das gesamte Bodenprofil) eintritt, da die Quelltermkonzentrationen von Metallen und Organika mittel- langfristig zurückgehen können und dann wieder eine Desorption der angereicherten Stoffe in der Transportzone erfolgt, d. h. mittel-langfristig wird die Filterfunktion des Bodens bei voll reversibler Sorption wieder vollständig hergestellt. Da die Endlichkeit der Quelle von Metallen/Organika nach heutigem Stand des Wissens (siehe auch diverse BMBF-Projekte und Diskussion in Kapitel 4.1.3.3), für einen generalisierten Ansatz, i.d.R. noch nicht prognostiziert werden kann und Metalle/Organika sorptionslimitiert über mehrere Jahrzehnte oder Jahrhunderte Konzentrationen deutlich oberhalb der GFS im Sickerwasser an der Unterseite der Quelle einstellen können (Susset & Leuchs, 2008b, siehe auch ausführliche Diskussion in der Synopse zur LABO-Stellungnahme unter www.uba.de) werden im Bewertungsansatz per Konvention konstante Quellstärkekonzentrationen bei *WF* 2 eingesetzt. Durch die kombinierte Betrachtung von Durchbruchs- und Anreicherungskriterien werden mit dem hier verwendeten Transportmodell Fragestellungen wie maximale Feststoffkonzentrationen, Verteilungen im Bodenprofil und Konzentrationsdurchbruch bis in das Grundwasser vollständig berücksichtigt. Es erfolgt damit eine ganzheitliche Analyse des Umweltgefährdungspotentials für Boden und Grundwasser.

4.1.4.2 Wesentliche Einflussgrößen auf die Höhe medianschutzbasierter Einbauwerte

Wie das Ablaufschema in Kapitel 1 (Abb. 1.1) verdeutlicht sind die medianschutzbasierten Einbauwerte nur für retardierbare/abbaubare Stoffe abhängig von der Untergrundkonstellation (ungünstig/moderat günstig Sand/günstig Lehm/Schluff/Ton), den Sorptionsqualitäten der beiden Bodenkategorien und den Sorptions- und Abbaueigenschaften der betrachteten Stoffe, vom Betrachtungszeitraum (höhere zulässige Grenzkonzentrationen bei technischen Bauwerken mit nur 200 Jahren Rückhaltung gegenüber Verfüllungen, bei welchen die Rück-

haltung über 500 Jahre gewährleistet sein muss) und den bauwerksspezifischen Sickerwasserraten und Verdünnungsfaktoren (z. B. bei Teildurchströmung eines Lärmschutzwalles).

Im ungünstigen Fall mit einem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand zwischen 0,1 m und 1,0 m unterhalb der Unterkante des technischen Bauwerks resultieren niedrigere medien-schutzbasierte Einbauwerte als i.d.R. in günstigen Fällen mit i.d.R. hinreichenden Rückhalt- und Abbaupotentialen. Im ungünstigen Fall entsprechen die medien-schutzbasierten Einbauwerte dann den GFS oder Bezugsmaßstäben, wenn keine Verdünnungseffekte im Bauwerk selbst vorliegen. In Einbauweisen mit Verdünnungseffekten ergeben sich auch im ungünstigen Fall gegenüber den GFS und Bezugsmaßstäben zum Teil deutlich erhöhte medien-schutzbasierte Einbauwerte.

Im günstigen Fall Sand oder Lehm/Schluff/Ton resultieren i.d.R. höhere medien-schutzbasier-te Einbauwerte. Mit wenigen Ausnahmen sind medien-schutzbasierte Einbauwerte im günstigen Fall Lehm/Schluff/Ton höher als im moderat günstigen Fall Sand, weil die Verteilungskoeffizienten im letzteren Fall höher sind. Es gibt aber auch einige wenige Schwermetalle, die aufgrund der pH-Abhängigkeit im hier betrachteten Sandboden höhere Rückhaltung zeigen als in der Bodenkategorie Lehm/Schluff/Ton (z.B. Molybdän, vgl. Kapitel 4 Teil II). Weiterhin steigen die medien-schutzbasierte Einbauwerte mit sinkender Sickerwasserrate an, da bei niedrigerer Sickerwasserrate längere Aufenthaltszeiten und effektiverer Abbau resultieren. Einige Metalle zeigen insbesondere bei hohen Sickerwasserraten und im moderat günstigen Fall Sand keine ausreichende Rückhaltung und sind somit mit den Werten im ungünstigen Fall identisch (vgl. Tabellen 4.11 und 4.12 in Kapitel 4). Die medien-schutzbasierten Einbauwerte von Stoffen, die aufgrund hoher Sorption und geringer Mobilität gut zurückgehalten werden, sind i. d. R. über das Anreicherungskriterium limitiert (wie. z. B. Chrom, Blei, i. d. R. Kupfer und i.d.R. Cadmium). Für die Bewertung dieser Stoffe spielt die Höhe der GFS oder des Bezugsmaßstabes deshalb keine Rolle (vgl. auch Beispiel in Abbildung 4.10).

Im Ergebnis sind für Metalle und Organika die GFS oder die Bezugsmaßstäbe nur im ungünstigsten Fall einzuhalten, wenn der GW-Abstand zu gering ist oder wenn kein ausreichendes Rückhaltepotalential vorliegt und keine Verdünnungsprozesse im Bauwerk selbst stattfinden. Für die Mehrzahl der anderen Fälle sind deutlich höhere konstante maximale Quellskonzentrationen zulässig, die über die Bauwerksbreite gemittelt verdünnt und/oder über den Beurteilungszeitraum zurückgehalten werden und zugleich gemittelt über 1 Meter Bodenprofil nicht zu einer Anreicherung > 50 % Filterkapazität führen.

4.1.5 Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5

Abschließend wurden alle medien-schutzbasierten Einbauwerte (Salze, Metalle, Organika) gleichermaßen mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 multipliziert (vgl. Definition in Tabelle 1). Dieser wurde nicht quantitativ auf Basis von Forschungsergebnissen abgeleitet sondern per Konvention festgelegt. Die durch den Verhältnismäßigkeitsfaktor erhöhten medien-schutzbasierten Einbauwerte und Materialwerte führen für einzelne Bauweisen zu einer positiveren Bewertung als unmittelbar nach Fachkonzept (z. B. wenn nur ein oder wenige Parameter die zulässigen medien-schutzbasierte Einbauwerte um maximal 50 % überschreiten) und nur im Einzelfall zu Abweichungen von den medien-basierten Anforderungen. Dies kann u.U. dazu führen, dass eine Materialprobe in der Güteüberwachung den um den Faktor 1,5 erhöhten Materialwert im Eluat exakt erreicht, aber zum Beispiel für Salze der GFS in vereinzelt Bauweisen rein rechnerisch nicht nach 4 Jahren sondern in Abhängigkeit des Abklingverhaltens erst nach ca. 6 – 7 Jahren eingehalten werden bzw. nach 4 Jahren eine Sulfat-Konzentration von noch ca. 350 mg/L statt der GFS von 240 mg/L vorliegen würde.

Für Metalle/Organika würde in diesen Ausnahmefällen und bei vereinzelt Bauweisen der Durchbruch rein rechnerisch nicht nach 200 Jahren, sondern je nach Sorptionsverhalten der Stoffe und Sorptionsqualität der Böden frühestens nach ca. 150 Jahren erfolgen bzw. die Anreicherung das 50 % Filterkapazitätskriterium bis um 50% überschreiten (also 75% der Filterkapazität erreichen).

In der Konsequenz bedeutet der Verhältnismäßigkeitsfaktor keine Erhöhung der GFS oder des Bezugsmaßstabs, da mit dem Faktor nicht Zielwerte erhöht sondern Unsicherheiten berücksichtigt werden und die um den Faktor erhöhten Werte nicht generell „ausgenutzt“ werden, sondern nur im Einzelfall, wenn einzelne Proben in der Güteüberwachung einzelne Materialwerte oder medienschutzbasierte Einbauwerte überschreiten würden.

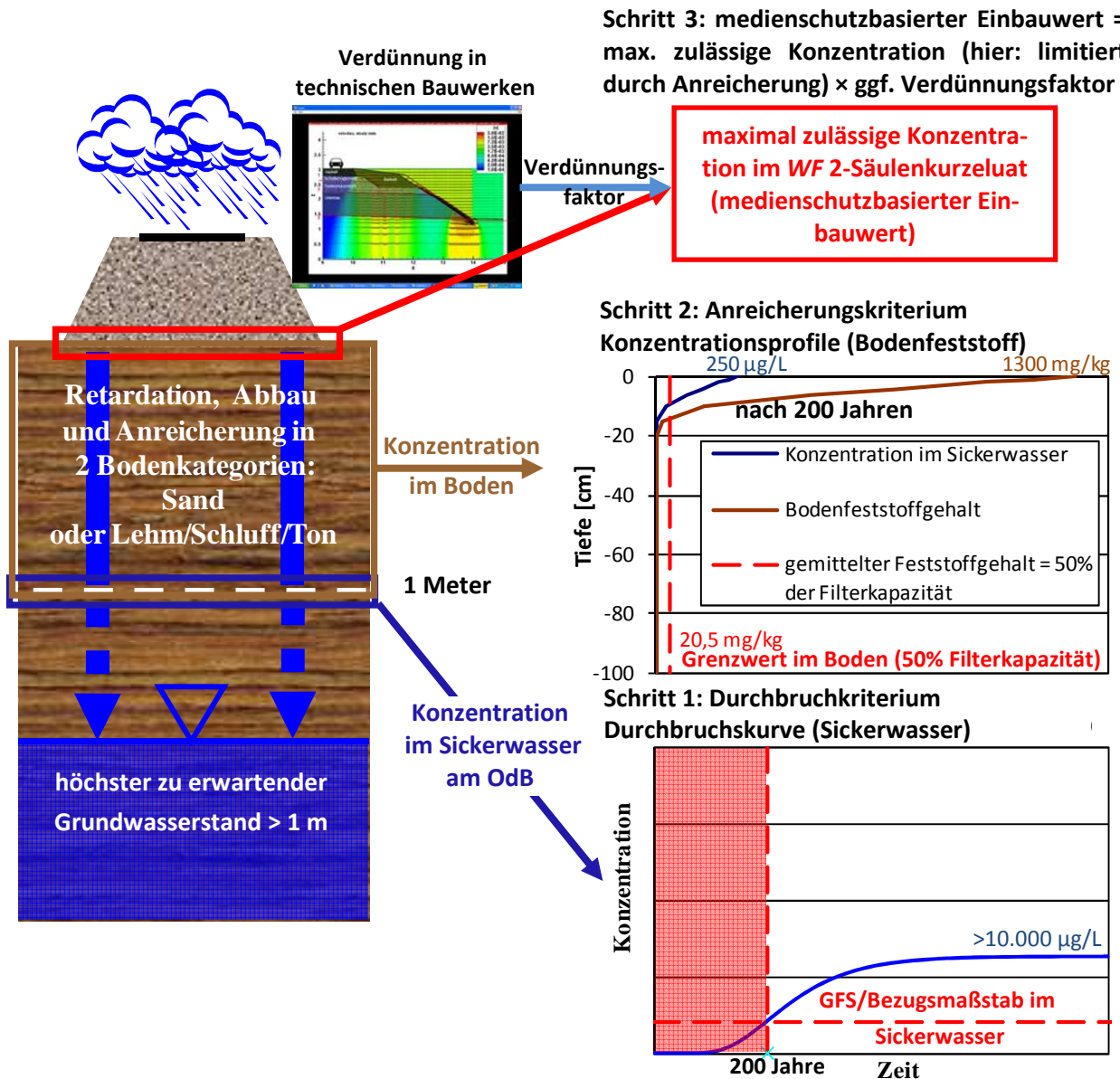


Abb. 4.10: Fachkonzept zur Ableitung medien-schutzbasierter Einbauwerte von Schwermetallen und Organika für verschiedene Einbauweisen von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken, unter Berücksichtigung von Retardation und ggf. Abbau von Organika und Metallen sowie der gemittelten Anreicherung in einer 1 Meter mächtigen Bodenzone. Ggf. werden Verdünnungseffekte innerhalb der technischen Bauwerke bei der Ableitung von medien-schutzbasierten Einbauwerten berücksichtigt, indem die maximal zulässige Quelltermkonzentration mit entsprechenden Verdünnungsfaktoren multipliziert wird. C_s : Konzentration im Feststoff, C_w : Konzentration im Sickerwasser.

4.1.6 Ableitung von Materialwerten, Materialklassen und zulässigen Einbauweisen

Kapitel 6 und Anhang 6 zeigen detaillierte Ergebnisse der Materialwerteableitungen. Für die Entscheidung über die Zulässigkeit eines mineralischen Ersatzbaustoffes in einer speziellen Einbauweise, müssen die bewertungs- und regelungsrelevanten Substanzen identifiziert und Grenzkonzentrationen in *WF 2*-Eluaten zur Charakterisierung der Materialqualität des Ersatzbaustoffes definiert werden. In den oben genannten Forschungsprojekten und weiterführend im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens wurde eine Vielzahl von Materialproben der verschiedenen in der EBV zu regelnden mineralischen Ersatzbaustoffe untersucht (vgl. Kapitel 6). Insgesamt liegen mehr als 700 Ergebnisse von Säulenkurzeluaten bis *WF 2* und ausführlichen Säulenversuchen nach DIN 19528 (2009) vor.

Das Verfahren zur Evaluierung von Materialqualitäten mineralischer Ersatzbaustoffe kann in folgende Verfahrensschritte unterteilt werden (vgl. Ablaufschema in Abb. 1.2, Kapitel 1):

Im ersten Schritt werden die relevanten Substanzen auf der Grundlage einer statistischen Auswertung der Konzentrationsverteilungen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 identifiziert. Bewertungsrelevant sind aus Sicht des Grundwasserschutzes alle Stoffe, die in *WF 2*-Eluaten von mineralischen Ersatzbaustoffen mit dem 90. Perzentil oberhalb der GFS liegen.

In der EBV ist geplant in der Praxis der Güteüberwachung nur solche Stoffe zu untersuchen, die regelungsrelevant sind. Stoffe sind für die EBV dann regelungsrelevant, wenn die 90. Perzentile in *WF 2*-Säulenkurzeluaten die GFS oder Bezugsmaßstäbe überschreiten und wenn diese Konzentrationen zu einer Limitierung der Einsetzbarkeit des bestimmten mineralischen Ersatzbaustoffes im Hinblick auf die medienenschutzbasierten Einbauwerte führen. Ist zum Beispiel die Zulässigkeit einer Qualitätsklasse eines mineralischen Ersatzbaustoffes aufgrund z.B. hoher Sulfatkonzentrationen bereits auf Einbauweisen mit niedrigeren Anforderungen (höheren ME) limitiert und unterschreiten ausgehend von einer als hinreichend repräsentativ anerkannten Datengrundlage die Maximalwerte von z.B. Chlorid die medienenschutzbasierten Einbauwerte dieser Einbaukonstellation, macht es keinen Sinn einen Materialwert für Chlorid für eine regelmäßige Güteüberwachung festzulegen (weil dieser voraussichtlich ohnehin immer unterschritten wird und somit irrelevant ist). Bei den Schwermetallen wurden bei einigen mineralischen Ersatzbaustoffen neue spezifische Belastungsparameter wie Antimon, Molybdän und Vanadium nachgewiesen (Susset & Leuchs, 2008a; Dehoust et al. 2007). Je nach mineralischem Ersatzbaustoff ergeben sich dabei unterschiedliche regelungsrelevante Parameterumfänge. Beispielweise wurden für Recyclingbaustoffe zwischenzeitlich 370 Proben ausgewertet und im Ergebnis folgende regelungsrelevante Stoffe in *WF 2*-Eluaten identifiziert: Sulfat, $\Sigma 15$ EPA PAK, Chrom, ges., Kupfer und Vanadium.

Im zweiten Schritt werden basierend auf einer statistischen Auswertung der Konzentrationsverteilungen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten und unter Berücksichtigung limitierender medienenschutzbasierter Einbauwerte für bestimmte praxisrelevante Einbauweisen, typische Stoffkonzentrationen identifiziert, die sich zur Charakterisierung einer Materialklasse eignen. Im Fall starker Schwankungen der Eluatqualitäten eines mineralischen Ersatzbaustoffes (verursacht durch eine hohe Variabilität heterogener Massenströme, wie z.B. Abbruchmaterial und Bauschutt), bietet es sich an verschiedene "Materialklassen" für den gleichen Ersatzbaustoff zu kategorisieren (z.B. Materialklasse 1 – 3 für Recyclingbaustoffe), wenn die Qualitäten hinreichend gut voneinander unterscheidbar sind. Aufgrund der besseren Auflösung im *WF2*-Säuleneluat können auch Materialklassen mit vergleichsweise geringen Konzentrationsunterschieden noch voneinander unterschieden werden. Beispielsweise wurden die Materialwerte der Materialklasse RC 1 an den medienenschutzbasierten Einbauwerten der Pflasterbauweisen (u.a. Nr. 18) und über Fußnote 4 an die Plattenbelagsbauweisen (u.a. Nr. 17) orientiert um für diese günstigste RC-Klasse alle offenen Einbauweisen für den günstigen Fall einer Sandunterlagerung zulassen zu können, da diese in der Praxis marktrelevant sind. In diesen Bauweisen limitieren i.d.R. die medienenschutzbasierten Einbauwerte von Vanadium, Sulfat und $\Sigma 15$ EPA PAK und müssen deshalb als Materialwerte im Eluat festgelegt werden. Dagegen liegen die Maximalwerte für Kupfer und Chrom, ges. laut Statistiken für Eluate von RC-Baustoffen deutlich unterhalb der in diesen Einbauweisen zulässigen medienenschutzba-

sierten Einbauwerte. In diesen Fällen wurden die Maximalwerte der Statistik als Materialwerte festgelegt. Die Materialwerte unterschreiten dann die eigentlich zulässigen medianschutzbasierten Einbauwerte. Die Festlegung günstiger Materialklassen mit weiten Einsatzbereichen im offenen Einbau macht selbstverständlich nur dann Sinn, wenn die damit verbundenen einzuhaltenden medianschutzbasierten Einbauwerte oder Materialwerte in der Praxis auch erreichbar sind. Beispielsweise wurden die offenen Einsatzbereich für HMVA-1 aus AE 1 EBV in Abstimmung mit den Branchenvertretern gestrichen, da die Erreichbarkeit der Materialwerte nach den nun vorliegenden wesentlich verbesserten Datengrundlagen praxisfern und unrealistisch ist. In der geplanten EBV gibt es deshalb nur noch zwei HMVA-Materialklassen mit entsprechend angepassten höheren Materialwerten und Einschränkungen bei den umweltoffenen Einbauweisen.

Im letzten Schritt werden für jeden mineralischen Ersatzbaustoff die Materialwerte mit den medianschutzbasierten Einbauwerten für die wasserdurchlässigen und teildurchlässigen Einbauweisen verglichen. Die Verwertung eines Materials in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Bauweisen der EBV ist nur dann zulässig, wenn alle relevanten Eluatkonzentrationen im Säulenkurzeluat bis *WF 2* die medianschutzbasierten Einbauwerte einer bestimmten Bauweise einhalten können. Im Ergebnis werden die Zulässigkeiten in den Einbautabellen (+/-) (vgl. Definition in Tabelle 1) bewertet.

Susset & Leuchs (2008a) geben einen detaillierten Überblick zum Ableitungsverfahren von Materialwerten für den ersten Arbeitsentwurf. Die Materialwerte wurden im Rahmen dieses Projekts überarbeitet (Kapitel 6 Teil II).

4.2 Umsetzung des Fachkonzepts im ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV

Das Fachkonzept wurde im AE 1 EBV anhand detaillierter Tabellen umgesetzt. In den Materialwertetabellen (vgl. Definition Tabelle 1) sind für jeden mineralischen Ersatzbaustoff und ggf. für verschiedene Materialklassen eines mineralischen Ersatzbaustoffes die Materialwerte für die relevanten Stoffe aufgelistet (Grenzkonzentrationen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528, vgl. Materialwertetabellen in Anhang 1, AE 1 EBV, BMU, 2007). Die Einbautabellen zeigen für jeden mineralischen Ersatzbaustoff und ggf. für verschiedene Materialklassen die potenziellen zulässigen Einsatzweisen in technischen Bauwerken (vgl. Einbautabellen, „+/-“-Listen in AE 1 EBV, BMU, 2007). Die medianschutzbasierten Einbauwerte wurden durch das BMU für die Bewertungen in AE 1 EBV mit einem Verhältnismäßigkeitsfaktor von 1,5 multipliziert, während die Materialwerte unverändert blieben.

Bei der Umsetzung in der Ersatzbaustoffverordnung werden drei Szenarien unterschieden: Im ungünstigen Fall, wenn der höchste zu erwartende Grundwasserstand knapp unter der Bauwerksunterkante liegt ($>0,1 - 1$ m), müssen die GFS bzw. Bezugsmaßstäbe im *WF 2* - Säulenkurzeluat unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 direkt eingehalten werden, was den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen mit ungünstigen Materialqualitäten stark einschränkt. Im günstigen Fall, wenn der höchste zu erwartende Grundwasserstand > 1 m unterhalb der Bauwerksunterkante liegt, resultieren aufgrund der Rückhalte- und Abbauprozesse i.d.R. höhere medianschutzbasierte Einbauwerte und deshalb ergeben sich abhängig von den beiden Bodenkategorien erweiterte Einsatzweisen auch von Materialien mit ungünstigerer Materialqualität bzw. höheren Materialwerten. Die beiden Bodenkategorien Sand und Lehm/Schluff/Ton können in der Praxis auf der Basis von Bodenkarten oder einfacher Bodenansprachen ohne zusätzlichen Mess- und Untersuchungsaufwand unterschieden werden. Höhere Materialwerte führen zu höheren Verwertungsquoten, da höhere Prozentanteile des Massenstroms diese Materialwerte einhalten können. Zugleich werden aber die zulässigen Einbauweisen mit steigenden Materialwerten zunehmend eingeschränkt. Bei der Festlegung der Materialwerte versucht man die Klassenbildung innerhalb einer Materialklasse dahingehend zu optimieren, dass möglichst große Mengen des mineralischen Ersatzbaustoffes in den für einen bestimmten mineralischen Ersatzbaustoff technisch und ökonomisch relevanten Einsatzgebieten unmittelbar nach dem medianschutzbasierten Konzept eingebaut werden können.

Für die Umsetzung in der ErsatzbaustoffV wird ein Güteüberwachungssystem mit material-spezifischen Untersuchungsprogrammen (Materialwerte, Anzahl der Untersuchungen, Zeitplan und Testmethoden) zur Bestimmung und Zuordnung der Materialqualität rechtsverbindlich. Das Güteüberwachungssystem basiert auf einem ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 (2009) für den Eignungsnachweis (Basischarakterisierung) und der erweiterten Fremdüberwachung und auf dem Säulenkurztest bis *WF 2* nach DIN 19528 (2009) für die regelmäßige werkseigene Produktionskontrolle und regelmäßige Fremdüberwachung. Bei Eignungstest und erweiterter Fremdüberwachung wird ein weites Spektrum an Parametern und Stoffen (vgl. Anhang 3, Tabelle 2, AE 1 EBV, BMU, 2007) geprüft. Dagegen werden bei der regelmäßigen Güteüberwachung (werkseigene Produktionskontrolle und regelmäßige Fremdüberwachung) nur die relevanten Schlüsselparameter (regelungsrelevante Stoffe), die für die verschiedenen mineralischen Ersatzbaustoffe identifiziert wurden, geprüft (vgl. Materialwertetabellen in Anhang 1, AE 1 EBV). Anhand der Ergebnisse der Güteüberwachung wird untersucht, ob eine Probe mit Materialwerten übereinstimmt und die Materialqualität bzw. Materialklasse bestimmt (siehe vergleichbare geplante oder bereits eingeführte Güteüberwachungsverfahren in EU-Mitgliedsstaaten, z.B., Finnland, Wahlström et al., 2000).

Jedes technische Bauwerk und die technischen Einbauweisen in den Einbautabellen sind gemäß den einschlägigen Technischen Richtlinien des Erd- und Straßenbaus definiert. Der Verordnungsgeber verfolgt mit der ErsatzbaustoffV das Ziel die Verwertung von ausgewählten güteüberwachten Ersatzbaustoffen, die die definierten Anforderungen einhalten zu fördern, indem aufwendige wasserrechtliche Einzelfallgenehmigungen wegfallen.

Die Regelungen sind aber nicht abschließend, was bedeutet, dass die Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen bei von den Standardbauweisen der EBV abweichenden Einbauweisen oder Untergrundkonstellationen (z.B. neue innovative technische Einbauweisen oder z.B. Vorliegen eines Grundwasserflurabstand von 16 m im Festgestein aber weniger als 1 Meter mächtige Unterbodenzone) im Rahmen von Einzelfallgenehmigungen bewertet werden können.

5 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Ergänzungsvorhaben untergliedert sich in folgende wesentliche Arbeitsschwerpunkte:

- Überarbeitung und Neuableitung medienschutzbasierter Einbauwerte
- Überarbeitung und Neuableitung von Materialwerten und -klassen
- Überarbeitung und Neueinführung von Einbautabellen
- Normung und Validierung, Auswertung von Vergleichsdatensätzen Säulenversuch / Schüttelversuch
- Ableitung von Verwertungsquoten.

Die einführend beschriebenen „politischen“ Konventionen (mittlere, mittelfristige Referenzkonzentration bei *WF*2; Beurteilungszeiträume: kurzfristige Abklingdauer der Salze von 4 Jahren, 200 Jahre/500 Jahre Rückhaltung und max. Anreicherung < 50 % Filterkapazität), die Modellrandbedingungen und der Verhältnismäßigkeits-Faktor 1,5 des BMU waren bereits Grundlage des AE1 EBV und wurden mit den beteiligten Kreisen intensiv diskutiert. Im Ergebnis des 2. Workshops des BMU am 20./21.05.2008 in Dessau wurde das UBA-Fachkonzept nach Susset & Leuchs (2008), die Konventionen und der Verhältnismäßigkeits-Faktor des BMU durch die beteiligten Kreise grundsätzlich als Grundlage für AE 2 EBV (Artikel des AE 1 MantelV 2011). Wesentliche Kritikpunkte waren jedoch die noch geringen Erfahrungen mit den neu eingeführten *WF* 2-Säulen- und Schüttelulaten, die noch ausstehende abschließende Normung dieser Verfahren und die teils lückenhaften Datengrundlagen zur Bewertung der Eluatqualitäten von mineralischen Ersatzbaustoffen zur Ableitung der später in der Güteüberwachung einzuhaltenden Materialwerte. Im Zusammenhang mit letzterem Punkt wurde kritisiert, dass eine Folgenabschätzung der Verordnung kaum möglich sei. Weiter wurde die Komplexität der Einbautabellen kritisiert, die für jeden mineralischen Ersatzbaustoff und ggf. deren Materialklassen, die Zulässigkeit der Verwertung von Ersatzbaustoffen in bestimmten nach den einschlägigen Technischen Regelwerken eindeutig definierten Bauweisen klar regeln. Allerdings wurde auf direkte Nachfrage des BMU beim genannten BMU-Workshop grundsätzlich zugestimmt, an den Einbautabellen für den AE 2 EBV in der MantelV 2011 festzuhalten.

Im Einzelnen wurden im Rahmen des Ergänzungsvorhabens für AE 2 EBV nachfolgend beschriebene Arbeiten durchgeführt. Bei den Weiterentwicklungen handelt sich um Konkretisierungen und Anpassungen an neue Erkenntnisstände, die sich ausnahmslos innerhalb des Fachkonzepts von Susset & Leuchs (2008a) bewegen.

5.1 Überarbeitung und Neuableitung medienschutzbasierter Einbauwerte

5.1.1 Numerische Modellierung der Durchströmung von Straßendambauweisen und Hinterfüllungen mit neuen Inputparametern nach Studie der BaSt von 2008 sowie Neumodellierung von Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG (vgl. Kapitel 3 im technischen Teil II)

Basierend auf den Ergebnissen einer „Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe“ (U-VAGE) der BaSt, an der die betroffenen Abteilungen des BMVBS (WS, E, B), des BMU und Ländervertreter aus dem Straßen- und Umweltbereich beteiligt waren, überarbeitete die BaSt die Modellannahmen für Straßenbaudämme (vgl. BaSt-Bericht Bürger et al., 2008, geänderte Geometrien, Durchlässigkeiten und Abflussbeiwerte). Nach Bürger et al. (2008) resultieren i.d.R. erhöhte Abflussbeiwerte, was zu niedrigeren entlang der Bauwerksunterkanten gemittelten Sickerwasserraten und stärkerer Verdünnung führt. Auf dieser Grundlage wurden die medienschutzbasierten Einbauwerte für die betroffene Straßendambauweisen mit den laufenden Nummern 11-13: „Tragschichten ohne Bindemittel (STS, FSS), Bodenverbesserung und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht“ und mit den laufenden Nummern 25-26: „Hinterfüllung von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden“ neu modelliert.

Im Ergebnis resultieren aus den numerischen Modellierungen der Straßendämme mit den durch die BaSt vorgeschlagenen geänderten Geometrien, Infiltrationsparametern und Ab-

flussbeiwerten auch bei kombinierter Bewertung von Metallen, Organika und Salzen insgesamt deutlich höhere medienschutzbasierte Einbauwerte und folglich höhere Materialwerte, erweiterte zulässige Einbaumöglichkeiten und höhere Verwertungsquoten für die Mehrzahl der mineralischen Ersatzbaustoffe. Aufgrund der resultierenden höheren zulässigen medienschutzbasierten Einbauwerte ist der Einsatz aller hier untersuchten mineralischen Ersatzbaustoffe in Schottertragschichten und i.d.R. eine Verwertung in Frostschutzschichten möglich. Hiermit können die Verwertungsquoten verbessert und zugleich der Medienschutz gewährleistet werden, ohne vom Fachkonzept abzuweichen.

In Rahmen eines Drittmittelprojekts des ZAG mit der Deutschen Bahn AG wurden vier weitere Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG (DB) und damit verbunden 15 verschiedene spezielle Einbauweisen der DB für den AE 2 EBV neu modelliert und die medienschutzbasierten Einbauwerte berechnet. Sämtliche Ergebnisse werden in Kapitel 3-5 detailliert vorgestellt.

5.1.2 Korrektur des Anreicherungskriteriums von Blei (Filterkapazität von Blei) nach Empfehlung des BOVA der LABO von 2008 (vgl. Kapitel 4 im technischen Teil II)

Der Bodenvorsorgeausschuss (BOVA) der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) hat mit einer Stellungnahme zu AE1 EBV und zum Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008) folgenden Änderungsbedarf bei den Modellkriterien für den Stoff Blei begründet (Auszug aus LABO-Stellungnahme vom 26.09.2008, abgestimmt auf der 34. Vollversammlung der LABO): *„Bei der Quantifizierung der zulässigen Rückhaltung von Blei wird im Falle der Sandböden der Hintergrundwert für norddeutsche flazifluviatile Sande (12 mg Pb/kg), im Falle von Lehm der Hintergrundwert für Geschiebelehme in Höhe von 29 mg Pb/kg zugrunde gelegt. Dies führt aufgrund der in die weitere Berechnung einfließenden Differenz von Vorsorgewert und Hintergrundwert zu sehr hohen zulässigen Blei-Einträgen in den rückhaltenden Boden. Deutschlandweit liegen die Hintergrundwerte für Blei in den Unterböden des Ausgangsgesteins Sand allerdings zwischen 12 und 42 mg Pb/kg, im Falle der Bodenart Lehm zwischen 26 und 59 mg Pb/kg. Daher wird aus fachlicher Sicht empfohlen, substratgemittelte Hintergrundwerte für Blei bei Sanden in Höhe von 30 mg Pb/kg zu verwenden. Dies hat auch zur Konsequenz, dass die zulässigen Blei-Einträge reduziert werden.“*

Das BMU hat daraufhin den Projektnehmer damit beauftragt, abweichend vom ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV die maximale Filterkapazität von Blei entsprechend dem Vorschlag des BOVA der LABO anzupassen: Die Hintergrundwerte für Sand und Lehm/Schluff wurden von 12 mg/kg auf 30 mg/kg bzw. von 29 mg/kg auf 43 mg/kg angehoben. Dadurch verringern sich die für die theoretische „Auffüllung“ zur Verfügung stehende Filterkapazität und die zulässigen medienschutzbasierten Einbauwerte für Blei, da die medienschutzbasierten Einbauwerte dieses wenig mobilen Schwermetalls in allen Szenarien alleine durch das Anreicherungskriterium limitiert ist (vgl. Ergebnisse in Kapitel 4.1.2.5 Teil II). Diese Korrektur bedeutet für die Verwertungsquoten von mineralischen Ersatzbaustoffen und für Bodenmaterial keine zusätzliche Limitierung, da das Schwermetall für die meisten mineralischen Ersatzbaustoffe nicht bewertungsrelevant ist. Im Falle einer Bewertungsrelevanz von Blei (für Bodenmaterial, Gießereikupolofenschlacken und Gießereirestsande) wirkt Blei i.d.R. nicht verwertungslimitierend.

5.1.3 Geänderte Bezugsmaßstäbe nach Studie der BGR aus 2010 (vgl. Kapitel 4 im technischen Teil II)

Die BGR hat im Rahmen einer aktuellen Studie zusätzlich 879 Ober- und Unterbodenproben von 296 unbelasteten Monitoringstandorten in Deutschland in WF 2 –Eluaten untersucht (Utermann & Fuchs, 2010). Hiermit sollten die bisher für AE 1 EBV statistisch aus WF 5-Eluaten abgeleiteten Bezugsmaßstäbe nochmals in WF 2–Eluaten überprüft und ggf. korrigiert werden und hintergrund- sowie methodenspezifische Prüfwerte für die Novelle der BBodSchV abgeleitet werden. Diese Bezugsmaßstäbe ersetzen dann – wie bisher - die GFS. Grundlage dieser Vorgehensweise ist die Hypothese des BMU, dass Böden, die diese methodenspezifischen Hintergrundwerte im WF 2-Eluat unterschreiten, natürliche Böden

sind, die in ihrer derzeitigen Stoffausstattung in der Fläche keine Gefährdung für das Grundwasser darstellen können.

Änderungen der Bezugsmaßstäbe wurden in den Modellierungen für AE 2 der EBV in der MantelIV 2011 berücksichtigt und führen dann zu geänderten medienenschutzbasierten Einbauwerten und damit zu Neubewertungen der Materialwerte und der zulässigen Einbauweisen, wenn das Durchbruchskriterium den medienenschutzbasierten Einbauwert eines Stoffes limitiert (für vergleichsweise mobile Stoffe, vgl. Erläuterungen in Kapitel 4.1.4 und Ergebnisse in Kapitel 4.1.2.4 Teil II sowie Kapitel 5). I.d.R. resultieren aus der neuen Studie der BGR erhöhte Bezugsmaßstäbe, und damit erhöhte zulässige medienenschutzbasierte Einbauwerte und Materialwerte für mineralische Ersatzbaustoffe und damit letztlich höhere Verwertungsquoten in den günstigen Materialklassen.

Die Herabsetzungen der Bezugsmaßstäbe von Cadmium und Zink wirken sich in der EBV kaum aus, da diese nur für Bodenmaterial (Cd, Zn) und Gießereirestsande (Zink) zwar regelungsrelevant aber kaum verwertungslimitierend, da gut einhaltbar sind (detailliert in Kapitel 5 Teil II).

5.1.4 Geänderte Sorptionsisothermen für AMPA und sonstige Herbizide sowie für Glyphosat nach Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg von 2008 (vgl. Kapitel 4 im technischen Teil II)

Die DB hat dem BMU frühzeitig den Bedarf einer Überprüfung der Ableitung von Verteilungskoeffizienten für die Herbizide Glyphosat und AMPA angezeigt. In einem Fachgespräch des UBA mit der DB, der BMU-Fachbegleitung und dem Fraunhofer Institut Schmallenberg wurde abgestimmt, dass Sorptionsuntersuchungen mit repräsentativen Unterböden für die Stoffe Glyphosat und AMPA durchgeführt werden können, um möglicherweise realitätsnähere Verteilungskoeffizienten abzuleiten, die dann dem BMU zur Umsetzung in AE 2 EBV empfohlen werden. Die Auswahl von Unterböden, die möglichst repräsentativ für die beiden Fall-szenarien „Sand“ und „Schluff/Lehm/Ton“ der ErsatzbaustoffV sein sollen, erfolgte durch die BGR. Die Vorgehensweise und Probenauswahl wurde auf einer Sitzung des Fachbeirates Bodenuntersuchung (FBU) am 13.10.2008 abgestimmt. Seitens BGR wurden zwei repräsentative Böden für die Untersuchungen bereitgestellt, an welchen das Bahn-Umwelt-Zentrum Adsorptionsisothermen durchgeführt hat. Das Fraunhofer Institut Schmallenberg hat die Untersuchungsergebnisse ausgewertet und eine Empfehlung für die Anwendung von Verteilungskoeffizienten für die Ableitung von medienenschutzbasierten Einbauwerten für AE 2 EBV abgegeben. Im Ergebnis ergeben sich für die Herbizide Glyphosat und das Abbauprodukt AMPA höhere Verteilungskoeffizienten, die durch den Projektnehmer im Auftrag des BMU für die Berechnung der medienenschutzbasierten Einbauwerte für AE 2 EBV eingesetzt wurden (vgl. Kapitel 4 Teil II). Die Gruppe sonstige Herbizide und AMPA wurden in Susset & Leuchs (2008a) mit einer Modellsubstanz betrachtet. Entsprechend werden auch hier für sonstige Herbizide die gleichen (neu abgeleiteten) Sorptionsparameter verwendet wie für AMPA. Es resultieren erhöhte zulässige medienenschutzbasierte Einbauwerte und Materialwerte für Gleisschotter und damit höhere Verwertungsquoten der günstigen Materialklassen von Gleisschottern.

5.1.5 Aussetzung des Durchbruchkriteriums für AMPA gemäß Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg von 2010 und Berechnung der medienenschutzbasierten Einbauwerte für AMPA (Gleisschotter) auf Basis des Anreicherungskriteriums (vgl. Kapitel 4 im technischen Teil II)

AMPA, das Abbauprodukt des Herbizid-Wirkstoffes Glyphosat, wird gemäß Gutachten des Fraunhofer Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie in Schmallenberg vom 26.02.2010 nicht als relevanter Metabolit eingestuft. Demnach gilt nach Fraunhofer Institut der in der TVO festgelegte Grenzwert von 0,1 µg/l je Einzelsubstanz nicht für AMPA. Daraus leitet die DB ab, dass der GFS der LAWA für PSMBP, der auf dem an der Nachweisgrenze orientierten Grenzwert für Pflanzenschutzmittel der Trinkwasserverordnung (TVO) basiert, ebenfalls nicht gilt. Außerdem wird seitens DB argumentiert, dass die Konzentrationen und Frachten von AMPA durch die Regelung von Glyphosat (Materialwerte von Glyphosat wer-

den rechtsverbindlich eingeführt) bereits mit limitiert sind (laut Fraunhofer Gutachten liegen die Maxima der Rückstände von AMPA bei 30 % des Ausgangswirkstoffs von Glyphosat, Anmerkung Susset: Dies gilt unter der Annahme einer vergleichbaren Persistenz des Ausgangswirkstoffes und der Rückstände). Das BMU folgt dem Gutachten des Fraunhofer Instituts und der Argumentation und setzt den im Fachkonzept von Susset & Leuchs (2008) verwendeten Zielwert für AMPA von 0,1 µg/l aufgrund der jetzt durch das Fraunhofer Institut begutachteten Nichtrelevanz des Metaboliten AMPA aus. Daraufhin wurde im Branchengespräch für AMPA, als nicht relevanter Glyphosat-Metabolit, festgelegt, dass das Durchbruchskriterium bzw. der Zielwert im Grundwasser für AMPA ausgesetzt werden soll und medienschutzbasierte Einbauwerte und die daran orientierten Materialwerte für Gleisschotter anhand des bodenschutzorientierten Anreicherungskriteriums berechnet werden sollen (siehe Protokoll). Für GS-0, der überall einsetzbar sein soll und deshalb die GFS bzw. Bezugsmaßstäbe einhalten muss, fehlt damit ein fachliches Bewertungskriterium, wenn der Wert im Wasser ausgesetzt wird. Für die Festlegung eines Materialwertes wurde durch das BMU folgenden Konvention getroffen: Es wird ein Wert von 2,5 µg/l festgelegt der ausgehend von den im Branchengespräch genannten möglichen Bezugsmaßstäben für AMPA von 5 bzw. 10 µg/l konservativ gewählt ist und etwa dem halben GS-1-Wert entspricht. Kapitel 4 und Anhang 4 zeigen die Ergebnisse dieser Änderungen).

5.1.6 Geänderte Linearisierung der Sorptionsisotherme von Vanadium nach Empfehlung durch das BMU aufgrund Expertengespräch vom 05.11.2010 (vgl. Kapitel 4 im technischen Teil II)

Das LANUV NRW (Susset & Leuchs, 2008a) hatte für Vanadium als einziges Schwermetall eine sehr konservative Linearisierung der Freundlichisotherme für die Ermittlung des Verteilungskoeffizienten zwischen Feststoff und Wasser (K_d) angewendet (detailliert in Kapitel 4.1.2.3 Teil II). In einem Expertengespräch des BMU und UBA mit Vertretern aus Wissenschaft, Behörden und Industrie wurde festgestellt, dass das gängige „ K_d -Mitte-Verfahren“ hinreichend konservativ ist.

Im Ergebnis hat das BMU und das UBA mit seinen Vertretern aus den Bereichen Abfall, Wasser- und Bodenschutz das ZAG damit beauftragt, auch im Sinne der Kontinuierlichkeit in der Vorgehensweise, bei den Bewertungen für die EBV beim Vanadium, wie bei allen anderen Schwermetallen das „ K_d -Mitte-Verfahren“ anzuwenden.

5.2 Überarbeitung und Neueinführung von Materialwerten und -klassen

5.2.1 Bewertung und Neuaufnahme von Kupferhüttenschlacken (CUM) und Braunkohleflugaschen (BFA) in AE 2 EBV (vgl. Kapitel 4 im technischen Teil II)

Neuableitung von Materialwerten für Kupferhüttenschlacken und Braunkohleflugaschen auf der Grundlage der durch die Aurubis AG, Vattenfall, VGB und BDEW zur Verfügung gestellten Messdaten in ausführlichen Säulenversuchen und *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528.

5.2.2 Auswertung neuer Datengrundlagen zur Überprüfung bzw. Anpassung von Materialwerten (vgl. Kapitel 6 im technischen Teil II und Anhang 6)

Dankenswerterweise haben viele Verbände, das FEhS - Institut für Baustoff-Forschung (FEhS-Institut) und die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) für die Mehrzahl der mineralischen Ersatzbaustoffe neue Datengrundlagen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten und ausführlichen Säulentests nach DIN 19528 und teilweise in *WF 2*-Schüttelueluaten nach DIN 19529 erhoben und dem ZAG/BMU zur Verfügung gestellt.

Anhand der neuen deutlich verbesserten Datengrundlagen wurden die Bewertungs- und Regelungsrelevanz der bisher für den AE 1 EBV als relevant identifizierte Stoffe überprüft. Für die relevanten Stoffe der mineralischen Ersatzbaustoffe wurden an die neuen Datengrundlagen angepasste Materialwerte im Säulenkurzeluat bis *WF 2* abgeleitet. Diese ergeben sich entweder direkt aus den medienschutzbasierten Einbauwerten für eine bestimmte Einbaukonstellation oder aus den materialspezifischen Belastungen (statistisch einhaltbare Konzentrationen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten). Die Differenzierung von Materialwertekategorien innerhalb gleicher Materialklassen ist nur bei solchen Ersatzbaustoffen sinnvoll, die eine große Streuung aufweisen und bei denen eine Trennung von verschiedenen Materialqualitäten möglich ist, die in der Praxis in relevanter Menge hergestellt werden können (Verwertungsquote). Zielsetzung bei der Materialwerteableitung ist es, in Übereinstimmung mit dem medienschutzbasierten Ableitungskonzept und unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 bei den medienschutzbasierten Einbauwerten und bei den Materialwerten, Materialklassen zu bilden, welche einerseits möglichst viele zulässige Einsatzmöglichkeiten und andererseits möglichst hohe Verwertungsquoten aufweisen (vgl. 4.1.6). Gegenüber AE 1 EBV ergeben sich zum Teil deutlich erhöhte Materialwerte in den einzelnen Materialklassen und folglich deutlich erhöhte Verwertungsquoten bei gleich bleibenden oder teilweise, aufgrund der Neumodellierungen der Straßendämme (siehe Kapitel 5.1.1) deutlich verbesserten Einsatzmöglichkeiten. Dies wird wie folgt begründet:

1. Die Materialwerte wurden für AE 2 EBV an die durch den Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 (vgl. Kapitel 4.1.5) erhöhten medienschutzbasierten Einbauwerte für bestimmte Einbaukonstellationen angepasst. Dies ist eine logische Konsequenz aus der Anwendung des Faktors für die medienschutzbasierten Einbauwerte nach AE 1 EBV. Der Medienschutz ist, wenn man den Faktor 1,5 - wie in AE 1 EBV bereits für die medienschutzbasierten Einbauwerte geschehen - akzeptiert, stets gewährleistet (die medienschutzbasierten Einbauwerte werden immer eingehalten); die Verwertungsquoten können zu Gunsten der günstigeren Materialklasse verschoben werden. Beispiel: Der Materialwert von Kupfer eines mineralischen Ersatzbaustoffes wäre 50 µg/L, der medienschutzbasierte Einbauwert nach Susset & Leuchs (2008) in der limitierenden Bauweise wäre 40 µg/L, so dass damit ein “-“ in der Einbautabelle resultiert. Für AE 1 EBV wurde der ME nachträglich durch das BMU mit 1,5 multipliziert. Es resultiert ein medienschutzbasierter Einbauwert von 60 µg/L und damit abweichend vom Fachkonzept nach Susset & Leuchs ein “+“- Zeichen in der Einbauliste. Der Materialwert von 50 µg/L wurde jedoch für AE 1 EBV nicht geändert. In AE 2 EBV würde für dieses Beispiel der Materialwert an den medienschutzbasierten Einbauwert von 60 µg/L angepasst, also Erhöhung des Materialwertes für dieses Beispiel von 50 µg/L auf 60 µg/L ohne Änderungen des Gefahrenpotentials für die Umweltmedien.

2. Die Neumodellierungen der Straßendambauweisen und Hinterfüllungen nach neuer Parametrisierung durch die BaSt führen grundsätzlich zu höheren medien-schutzbasierten Einbauwerten und damit zu höheren zulässigen Materialwerten und Verwertungsquoten, die bei der Materialwerteableitung für den AE 2 EBV berücksichtigt wurden (vgl. Kapitel 5.1.1).
3. Die Materialwerte wurden in AE 2 EBV in erster Linie an den limitierenden medien-schutzbasierten Einbauwerten der mit einer bestimmten Materialklasse verbundenen zu-lässigen Einbauweisen orientiert. Diese medien-schutzbasierten Einbauwerte markieren die maximal zulässigen *WF 2*-Eluatkonzentrationen für bestimmte Einbaukonstellationen. Für den AE 1 EBV wurden die Materialwerte dagegen i.d.R. statistisch abgeleitet, wobei die Datengrundlage möglicherweise nicht hinreichend repräsentativ war. Daraus resul-tierten zwar statistisch gut einhaltbare Materialwerte, diese sind jedoch oft niedriger als die nach dem Ableitungskonzept zulässigen medien-schutzbasierten Einbauwerte. Diese Vorgehensweise würde zu einer, auch aus Sicht des Medienschutzes, unnötigen Ein-schränkung der Verwertungsquoten führen.
4. Einbauweisen, die einerseits stark verwertungs-limitierende Materialwerte besitzen und andererseits für bestimmte Branchen bzw. mineralische Ersatzbaustoffe technisch und ökonomisch nicht relevant sind, wurden in Rücksprache mit Branchenvertretern gestri-chen – damit konnten Materialwerte an höhere zulässige medien-schutzbasierte Einbau-werte anderer marktrelevanter Einbauweisen mit entsprechend geringeren Anforderun-gen angepasst werden.

Die Materialwerte stellen folglich i.d.R. Maximalwerte dar, die unmittelbar nach dem weiter-entwickelten Fachkonzept unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors zulässig sind und den Medienschutz gewährleisten. Höhere Materialwerte sind unmittelbar nach Fachkonzept nicht zulässig, ohne die Einsatzmöglichkeiten (Einbautabellen der EBV) weiter einzuschränken. Selbstverständlich können aber Materialwerte erhöht werden, wenn Bau-weisen mit hohen Anforderungen (also niedrigen medien-schutzbasierten Einbauwerten) „aufgegeben“ werden oder wenn sich herausstellt, dass diese aus marktpolitischen oder technischen Gründen nicht relevant sind. Im Rahmen des Ergänzungsvorhabens hat das BMU zahlreiche Branchengespräche durchgeführt um gemeinsam mit Branchenvertreten genau geprüft, welche Bauweisen denn tatsächlich technisch und ökonomisch sinnvoll sind. Anderenfalls würden die Verwertungsquoten in einer Klasse unnötig durch eine technisch und ökonomisch nicht relevante Bauweise eingeschränkt, was in AE 1 EBV teilweise der Fall war.

5.3 Überarbeitung und Neueinführung von Einbautabellen (vgl. Kapitel 7 im technischen Teil II)

5.3.1 Aktualisierung der Einbautabellen

Anpassung der Einbautabellen für AE 2 EBV: Die Bewertung der zulässigen Einbauweisen („+/-“-Bewertung) in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten wasserdurchlässigen und teilwasserdurchlässigen Bauweisen wurden an die neuen Materialwerte und Materialklassen angepasst. Für GKOS, EDS, CUM und BFA wurden neue Einbautabellen erarbeitet. Für GS in Bahnbauweisen der DB wurden separate Einbautabellen zur Bewertung von 15 verschiedenen spezifischen Bahnbauweisen eingeführt (vgl. Kapitel 7).

5.3.2 Redaktionelle Überarbeitung der Einbautabellen

In Branchengesprächen des BMU wurde seitens der Vertreter der Fachverbände und Straßenbaubehörden befürwortet, an den Einbautabellen grundsätzlich festzuhalten und diese lediglich redaktionell zu überarbeiten. Auch wurde kein Änderungsbedarf der Reihenfolge der Einbauweisen in der Matrix mehr gesehen, da zwischenzeitlich ein „Gewöhnungseffekt“ eingetreten sei. Auch eine Zusammenfassung von Zeilen bzw. Bauweisen der Einbautabellen mit gleichen Bewertungen wurde aus dem zuvor genannten Grund abgelehnt. Ebenfalls wurde eine Zusammenfassung von Einbauweisen mit nur geringen Bewertungsunterschieden abgelehnt, da dadurch die konkreten Bewertungsunterschiede einzelner Einbauweisen verloren gehen. Schließlich mussten bei Zusammenfassungen von Bauweisen mit unterschiedlichen Bewertungen stets die ungünstigsten Bewertungen für die aggregierte Zeile übernommen werden, um den Medienschutz in allen Einbauweisen gewährleisten zu können.

Für den AE 2 EBV wurde eine Spalte mit laufender Nummerierung der Einbauweisen eingeführt und eine Anpassung der Bezeichnungen der Einbauweisen an die Definitionen der RuA-StB (Entwurf 2004) vorgenommen.

5.3.3 Gegenüberstellung von Vorschlägen für die Bewertung geschlossener Einbauweisen

Nachweislich geschlossene (wasserundurchlässige) oder im Sinne der RuA-StB (E2004) teilwasserdurchlässige Bauweisen (mit letzteren sind hydraulisch- oder bitumengebundene Tragschichten gemeint) können nicht unmittelbar nach Fachkonzept bewertet werden, da wissenschaftliche Kriterien fehlen. Die Bewertungen nach Susset & Leuchs (2008a) für den AE 1 EBV basierten deshalb auf einer relativen Zuordnung der mineralischen Ersatzbaustoffe zu den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten wasserdurchlässigen Bauweisen und abgestuft in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials. Sie sind grundsätzlich diskutabel. Im Auftrag des BMU wurden weitere Entscheidungsgrundlagen für die Bewertung der Zulässigkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen in geschlossenen Einbauweisen (siehe Einbautabellen des AE2 EBV in der MantelV 2011, laufende Nummern 1 bis 7 sowie 10 und 14) und im Sinne der RuA-StB (Entwurf 2004) teilwasserdurchlässigen Einbauweisen (siehe Einbautabellen laufende Nummern 8 und 9) erarbeitet. Hierzu wurden Analogieschlüsse zu den Bewertungen der geschlossenen und teilwasserdurchlässigen Bauweisen nach LAGA-Eckpunktepapier (2004) und nach RuA-StB (Entwurf 2004) durchgeführt und den Bewertungen von Susset & Leuchs (2008) gegenübergestellt. Die Grundsatzentscheidung zur Bewertung der geschlossenen Bauweisen wird durch das BMU getroffen und ist nicht Gegenstand des wissenschaftlichen Ableitungskonzepts. Bei Übernahme der Bewertungen nach LAGA und/oder RuA-StB können sich Abweichungen zu den Bewertungen im AE 1 EBV nach Susset & Leuchs (2008a) ergeben.

5.4 Normung und Validierung, Vergleichsdatensätze Säulenversuch/Schüttelversuch

5.4.1 Normung, Validierung (vgl. Kapitel 1 im technischen Teil II)

Die Normung und Validierung des Säulenversuchs und des Schüttelversuchs wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Normen DIN 19528 und DIN 19529 wurden im Januar 2009 unter www.beuth.de veröffentlicht. Sowohl für den Säulenversuch als auch für den WF 2-Schütteltest liegen zwischenzeitlich fundierte Praxiserfahrungen vor: Neben den 25 Teilneh-

mer-Laboratorien der Ringversuche haben zahlreiche Vertragslaboratorien der Industrieverbände neue Datengrundlagen nach DIN 19528 und DIN 19529 erhoben und intensive Erfahrung mit den neuen Normen gesammelt (vgl. Kapitel 2 Teil II). Am 09. November 2010 wurden die Praxiserfahrungen auf dem Anwenderseminar der Bundesanstalt für Materialforschung- und -prüfung (BAM) und des Gewerblichen Instituts für Umweltanalytik (GIU GmbH), mit über 150 Teilnehmern diskutiert. Aktuell werden Anwenderempfehlungen formuliert um daraus Praxisseminare zu entwickeln. Beide Normen sind damit durchaus in der Praxis eingeführt.

5.4.2 Auswertung von Vergleichsdatensätzen Säulenversuch/Schüttelversuch (vgl. Kapitel 8 im technischen Teil II)

Im Auftrag des BMU wurde durch das ZAG für AE 2 EBV die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von *WF 2*-Säulenkurzversuchen nach DIN 19528 (2009) und von *WF 2*-Schüttelversuchen nach DIN 19529 (2009) untersucht. Dabei wurde in zwei Schritten vorgegangen:

1. Prozessbasierte Analyse der Vergleichbarkeit von Schüttel- und Perkulationsverfahren: Grathwohl & Susset (2009) haben hierzu eine Literaturrecherche und analytische Modellierungen durchgeführt und international veröffentlicht. Aus prozessbasierten Gründen sind theoretische Abweichungen bis i.d.R. ca. 50 % zwischen *WF 2*-Schütteltests und *WF 2*-Säulenversuchen zu erwarten (vgl. Kapitel 8).
2. Analyse von Paralleldatensätzen auf Vergleichbarkeit der Ergebnisse: Statistische Auswertung der Konzentrationen in *WF2*-Säulenkurzeluaten und *WF2*-Schüttelaluaten und Prüfung einer gleichwertigen Anwendbarkeit für die Güteüberwachung. Der Säulenversuch nach DIN 19528 ist Referenzmethode für das Ableitungskonzept. Für die Güteüberwachung in der EBV ist geplant im Rahmen des Eignungsnachweises einmalig einen ausführlichen Säulenversuch mit der jeweiligen Lieferkörnung durchzuführen. Aus den Ergebnissen des ausführlichen Säulenversuchs kann nach DIN 19528 die *WF 2*-Konzentration im Säulenkurztest berechnet werden. Diese ersetzt die erste Fremdüberwachung und dient zur Einordnung des Materials in eine Qualitätsklasse anhand eines Konzentrationsvergleichs mit den jeweiligen Materialwerten nach Anhang 1 der EBV. Auch für die erweiterte Fremdüberwachung ist ein ausführlicher Säulenversuch notwendig und ersetzt wiederum eine Fremdüberwachung indem das Ergebnis nach DIN 19528 berechnet wird. Angesichts dieser Systematik macht es wenig Sinn im Rahmen der Fremdüberwachung zum Eignungsnachweis und der erweiterten Fremdüberwachung ein *WF 2*-Schüttelaluat nach DIN 19529 durchzuführen, da für Eignungsnachweis und erweiterte Fremdüberwachung ohnehin ein ausführlicher Säulenversuch nach DIN 19528 notwendig wird. Aufgrund der Sorge, dass *WF 2*-Säulenkurztests nach DIN 19528 wesentlich zeit- und kostenaufwendiger und damit weniger praktikabler sind als *WF 2*-Schüttelaluaten nach DIN 19529 wird zum Teil weiterhin der Bedarf gesehen, die Gleichwertigkeit beider Verfahren zu überprüfen. Fachvorträge und Veröffentlichungen und das oben erwähnte Anwenderseminar der BAM und der GIU GmbH zeigen, dass ein Säulenkurztest nur unwesentlich oder gar nicht aufwendiger ist als ein *WF 2*-Schüttelaluat nach DIN 19529. Unabhängig von dieser Diskussion wurde im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens anhand des statistischen Vergleichs der Ergebnisse von Vergleichsdatensätzen überprüft, ob das Schüttelverfahren nach DIN 19529 für die werkseigene Produktionskontrolle und die regelmäßige Fremdüberwachung (nicht für Eignungstests und erweiterte Fremdüberwachung), innerhalb der zulässigen Überschreitungen zur gleichen Bewertung eines mineralischen Ersatzbaustoffes im Rahmen einer Güteüberwachung führt. Eine gleichwertige Einführung beider Verfahren in AE 2 EBV für die WPK und regelmäßige FÜ ist nur dann möglich, wenn gleiche Materialwertetabellen zu Grunde liegen können (vgl. Kapitel 8).

5.5 Entwicklung von Vorschlägen für die Güteüberwachung

Ein Beraterkreis "Güteüberwachung – EBV" mit Vertretern aus Verwaltung, Wissenschaft, Industrieverbänden und Praxis (Baustoffprüfer, Verwertungsbetrieb) hat einen auf der Fachebene diskutierten Vorschlag zur Konzeption, Untersuchungsumfang, Turnus und Überschreitungsregelungen erarbeitet.

5.6 Ableitung von Verwertungsquoten unter Berücksichtigung der materiellen Anforderungen der EBV, Validierung mit Praxisdatensätzen (vgl. Kapitel 9 im technischen Teil II)

5.6.1 Ableitung von Verwertungsquoten

Basierend auf der nun vorhandenen, deutlich verbesserten Datengrundlage, wurden per Perzentil-Rückrechnung die einhaltbaren Konzentrationen bzw. der Materialwerte der Einzelstoffe bestimmt, um die limitierenden Stoffe zu identifizieren. Abschließend wurden für die vorhandene Datenbasis, die Verwertungsquoten eines Ersatzbaustoffes oder der verschiedenen Qualitätsklassen abgeschätzt, indem jeweils die einhaltbaren Perzentile von Materialwertekombinationen entsprechend eines Güteüberwachungsverfahrens berechnet wurden. Die Verwertungsquoten können unter der Annahme einer Repräsentativität des Datensatzes für die in der Praxis produzierten Qualitäten als Grundlage für eine Rechtsfolgenabschätzung bezüglich der umweltrelevanten Merkmale herangezogen werden. Die auf diese Weise abgeschätzten Verwertungsquoten sind konservativ einzuschätzen, da Überschreitungsregelungen in der Güteüberwachung nach AE 2 der EBV in der MantelV 2011 erarbeitet werden, hier nicht mitberücksichtigt werden konnten. In der Praxis sind deshalb noch deutlich höhere Verwertungsquoten möglich.

Es ist allerdings zu betonen, dass diese Abschätzung der Verwertungsquoten alleine unter Berücksichtigung der materiellen Anforderungen der EBV (Einhaltbarkeit der Materialwerte) erfolgt. Es kann also abgeschätzt werden, wie viel Prozent der Proben aus Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes in bestimmten Einbauweisen zulässig wären. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass die zwischenzeitlich vorliegenden Datengrundlagen repräsentativ für die in der Praxis zu erwartenden Materialqualitäten sind. Damit können die Folgen der Festsetzungen von Umwelanforderungen (Materialwerte) der EBV abgeschätzt werden. Die Abschätzung der technischen Machbarkeit und von Marktpotenzialen für die Verwertung bestimmter mineralischer Ersatzbaustoffe in bestimmten Einbauweisen nach EBV ist nicht Gegenstand dieser Auswertungen. Für eine realitätsnähere Abschätzung der zukünftigen Lenkung der Stoffströme ist eine Betrachtung der technischen Machbarkeit bestimmter Einbauweisen und der Marktpotenziale notwendig. Letzteres ist sehr schwierig, da sich die Marktpotenziale bei Einführung eines bundeseinheitlichen gesetzlichen Regelwerks ändern können.

6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt „Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge“ wird durch das BMU koordiniert und dient der fachlichen Begleitung des BMU im Verordnungsgebungsverfahren der geplanten ErsatzbaustoffV. Hierdurch ergaben sich zahlreiche Kooperationen und eine enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Bundesministerien, Bundes- und Landesfachbehörden, Normungsgremien, länderübergreifenden Fachgremien und mit den betroffenen Industriebranchen und Betrieben. Außerdem wurde intensiv mit anderen Projektgruppen im Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ des BMBF und dessen Koordination am Heinrich-Sontheimer-Laboratorium zusammengearbeitet. Die nachfolgende Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Im Zusammenhang mit der Verzahnung des Fachkonzepts mit politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen und Konventionen war eine enge Zusammenarbeit u.a. mit folgenden Institutionen erforderlich:

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin
- Umweltbundesamt Berlin/Dessau
- Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- verschiedene Länderministerien und Landesfachbehörden (z.B. im Rahmen von Bund-Ländergesprächen)
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
- Länderarbeitsgemeinschaft Boden
- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall

Im Zusammenhang mit der Auswahl von Bodenparametern für die Standardbodenszenarien der EBV war eine enge Zusammenarbeit u.a. mit folgenden Institutionen erforderlich:

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Umweltbundesamt Berlin/Dessau
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf/Recklinghausen
- Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

Im Zusammenhang mit der Parametrisierung von technischen Bauwerken im Straßen- und Erdbau für die Standardszenarien der EBV war eine enge Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen im Rahmen der „Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe“ (UVAGE) erforderlich:

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn/Berlin
- Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach
- Umweltbundesamt, Dessau/Berlin
- Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart
- Oberfinanzdirektion, Hannover
- Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz
- Landesbetrieb Straßenbau NRW, Gelsenkirchen
- Landesbetrieb Straßenbau Saarland, Neunkirchen

Im Zusammenhang mit der Parametrisierung von technischen Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG für die Standardszenarien der EBV war eine enge Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen erforderlich:

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin
- Deutsche Bahn AG, Berlin
- Eisenbahn-Bundesamt, Berlin

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung von Vorschlägen für die Güteüberwachung war eine enge Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen im Rahmen der Arbeitsgruppe „Güteüberwachung-EBV“ erforderlich:

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin
- Bundesverband der Deutschen Industrie
- Bundesvereinigung Recyclingbaustoffe, Duisburg
- Bundesgütegemeinschaft Recyclingbaustoffe, Berlin
- Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg, Ostfildern
- Baustoff Recycling Bayern, München
- Gewerbliches Institut für Umweltanalytik, Teningen
- Ingenieurbüro Dinkgraeve
- Institut für Baustoffprüfung und Umwelttechnik, Langenbeutungen
- KM GmbH, Bochum
- Remex, Düsseldorf

Im Zusammenhang mit der Beschaffung von Messdaten und der Ableitung von Materialwerten und Materialklassen verschiedener mineralischer Ersatzbaustoffe wurden zahlreiche Branchengespräche mit Vertretern der betroffenen Industriebranchen geführt. Hierbei ging es u.a. um sehr praktische Fragestellungen wie z.B. die Identifizierung von praxis- und marktrelevanten Einbauweisen, an welchen die Materialwerte orientiert wurden. U.a. mit folgenden Institutionen erfolgte eine enge Zusammenarbeit:

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn/Berlin
- Landesanstalt für Umwelt, Natur und Messungen Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Bundesverband der Deutschen Industrie, Projektgruppe Wasserwirtschaft, Boden, Grundwasser
- Bundesverband Baustoffe, Steine und Erden, Berlin
- Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, Bonn
- Bundesvereinigung Recyclingbaustoffe, Duisburg
- Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg, Ostfildern
- Qualitätssicherungssystem Recyclingbaustoffe Baden-Württemberg, Ostfildern
- Baustoff Recycling Bayern, München
- Deutsche Bahn AG, München
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Berlin
- Verband Deutscher Großkraftwerksbetreiber VGB Powertech
- Vattenfall Europe Generation AG, Berlin
- Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen Deutschland, Würzburg
- Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Hausmüllverbrennungsaschen
- FEhS-Institut für Baustoff-Forschung, Duisburg
- Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, Düsseldorf
- Aurubis AG, Hamburg

Teil II: Technischer Teil - eingehende Darstellung der Ergebnisse der Weiterentwicklungen des Ableitungskonzepts

1 Allgemeinverständlichen Darstellung der Ableitungsmethodik in der Fachöffentlichkeit

Eine wesentliche Aufgabe des Projektnehmers im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens ist eine kontinuierliche fachliche Begleitung des BMU zu diesem Themenfeld während des Verordnungsgebungsverfahrens. Dazu gehört eine allgemeinverständliche Darstellung der komplexen Ableitungsmethodik in der Fachöffentlichkeit, um die Transparenz der Grenzwerteableitungen und damit die Konsensfähigkeit der Verordnung zu erhöhen. Hierzu wurde die intensive Öffentlichkeitsarbeit der Projektleitung in Form von Fachvorträgen bei Fachworkshops und bei nationalen sowie internationalen Konferenzen und die Mitarbeit bei Fortbildungsveranstaltungen, fortgeführt. Desweiteren zählen hierzu die Fachbegleitung des BMU bei BMU-Internen Abstimmungssitzungen und Abstimmungssitzungen der Verordnungsentwürfe mit Bund- und Ländervertretern und Interessensvertretungen der betroffenen Industriebranchen. Zur Vorbereitung der Abstimmungssitzungen hat der Projektnehmer fachliche Hintergrundpapiere (z. B. für Arbeitsgruppensitzungen und Bund-Ländergespräche) und Branchenpapiere für die so genannten Branchensitzungen mit den einzelnen Fachverbänden erarbeitet. Zur naturwissenschaftlichen Begründung der gewählten fachlichen Ableitungskriterien und der Grenzwerte und zur Darstellung der komplexen Ableitungsmethodik wurden diverse Stellungnahmen zum Fachkonzept beantwortet und eigene Stellungnahmen verfasst. Ein ganz wesentlicher Bestandteil der naturwissenschaftlichen Begründung sind Veröffentlichungen in Form von wissenschaftlichen Konferenzvorträgen und schriftlichen Konferenzbeiträgen sowie Fachpublikationen in nationalen und internationalen Fachzeitschriften. Im Folgenden wird ein Überblick zu den wesentlichen Arbeiten gegeben. Die nachfolgenden Auflistungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

1.1.1 Nationale und internationale Fachkonferenzen, Seminare und Workshops (Vorträge und Seminarunterlagen, Abhaltung von Seminaren)

- Susset, B. (2010): Geplante ArtikelV ErsatzbaustoffV, GrwV, BBodSchV und Auswirkungen auf Genehmigungen.- Vortrag 13. Steine- und Erdenseminar - Genehmigungsverfahren für die Betriebe der Steine- und Erdenindustrie, 23. und 24.11.2010 beim Industrieverband Steine und Erden, Baden-Württemberg, Ostfildern (Vortragsunterlagen).
- Susset, B. (2010): Säulen- und Schüttelversuche zur Beurteilung bewertungsrelevanter Stoffkonzentration im Sickerwasser am Beispiel von Praxisdatensätzen - Anwenderseminar der Bundesanstalt für Materialprüfung und- forschung (BAM) und des Gewerblichen Instituts für Umweltanalytik (GIU Teningen) GmbH, BAM, Berlin.
- Susset, B. (2010): Welche Parameter und Werte tun wem wie weh? - Identifizierung verwertungslimitierender Parameter der EBV unter Berücksichtigung der Verzahnungen mit GrwV und BBodSchV - 13. Baustoff-Recycling-Tag, Filderstadt, 06.10.2010
- Susset, B. (2010): PAK: Vorkommen, Freisetzung und Transportverhalten, Abhaltung Fachseminar "PAK: Vorkommen, Freisetzung- und Transportverhalten" am 28.09.2010 in der IHK Augsburg.
- Susset, B. (2010): Fachliche Eckpunkte der ErsatzbaustoffV - Verzahnung mit GrwV, BBodSchV, Folgeabschätzung, Fortbildungsverband boden und altlasten Baden-Württemberg, Seminar 06/2010, 13.07.2010, CVJM Stuttgart
- Susset, B. (2010): Fachliche Eckpunkte der ErsatzbaustoffV - Verzahnung mit GrwV, BBodSchV, Dialog Wirtschaft Umwelt NRW, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, 16.06.2010, Düsseldorf, Vortrag und Unterlagen.
- Susset, B. (2010): Fachliche Eckpunkte der ErsatzbaustoffV - Begründung von Grenzen für neue Materialwerte und zulässige Einbauweisen von Hausmüllverbrennungssaschen, Jahreshauptversammlung der Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken (IGAM) 2010, Hotel Klosterpforte, Marienfeld
- Susset, B. (2010): ErsatzbaustoffV, GrundwasserV, BBodSchV - Erfahrungen bei der wissenschaftlichen Ableitung von Grenzwerten, Beispiele für mögliche Umsetzungen von Forschungsergebnissen in Regelungskonzepte und die Praxis, Forschungsseminar der TU Braunschweig, Arbeitsgruppe Prof. Durner, 10. Juni 2010, TU Braunschweig

- Susset, B. (2010): Fachliche Eckpunkte der ErsatzbaustoffV - Verzahnung mit GrwV, BBodSchV, Folgeabschätzung, ALTLASTEN 2010, 11. KA Altlastenseminar, 09.-10.06.2010, IHK Karlsruhe.
- Susset, B. (2010): GrundwasserV, ErsatzbaustoffV, BBodSchV - Erfahrungen bei der wissenschaftlichen Ableitung von Grenzwerten für mineralische Ersatzbaustoffe.- Fachgespräch acatech „Forschung zur Weiterentwicklung eines flächenhaften Grundwasserschutzes“, AG Wasserbeschaffenheit des Projektes „Georessource Wasser-Herausforderung Globaler Wandel“, 18. Mai 2010, Ernst-Reuter-Haus, Berlin
- Susset, B. (2010): Fachliche Eckpunkte der ErsatzbaustoffV - Verzahnung mit Wasserrecht (WHG, GrwV, GFS etc.), Weiterentwicklungen für den 2. Arbeitsentwurf.- Tagung des Umweltkolleg Lünen zum zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV, 23. April 2010, Zeche Zollverein, Essen
- Susset, B. (2010): Fachliche Eckpunkte der ErsatzbaustoffV - Weiterentwicklungen für den 2. Arbeitsentwurf.- Bund-Ländergespräch zum fortgeschriebenen Entwurf der Grundwasserverordnung und zu den Eckpunkten der Rechtssetzungsvorhaben der ErsatzbaustoffV und der Änderung der Bundesbodenschutzverordnung, 15. April 2010, BMU, Bonn
- Susset, B. (2009): PAK: Vorkommen, Freisetzung□ und Transportverhalten, Abhaltung Fachseminar „PAK: Vorkommen, Freisetzungs- und Transportverhalten“ am 01.12.2009 im Nabeshima Bau der Technischen Universität in Dresden
- Susset, B. (2009): Zweiter Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV (AE 2 EBV) - Stand der fachlichen Arbeiten und geplante Güteüberwachung.- 12. Baustoff-Recycling-Tag, Filderstadt, 14.10.2009
- Susset, B. (2009): Sickerwasserprognose zur Ableitung von Grenzwerten (ErsatzbaustoffV, Novelle BBodSchV) und Anwendung - Aktueller Stand von Modellierungsansätzen, geeignete Labormethoden, Normung, geplante Umsetzung in Regelwerke, Forum Altlasten/Bodenschutz 2009, am 23.-24.09.2009 im BEW Duisburg
- Susset, B. (2009): Fachliche Grundlagen für die geplante ErsatzbaustoffV des BMU- Sickerwasserprognose zur Ableitung von Medienschutzbasierten Einbauwerten und Materialwerten im Eluat für Recyclingbaustoffe.- Baustoff-Recycling-Forum 22. - 23. September am Chiemsee
- Susset, B. (2009): Sickerwasserprognose und Elutionsverfahren in der geplanten Ersatzbaustoffverordnung am Beispiel der Recyclingbaustoffe - Ableitung von Medienschutzbasierten Einbauwerten und Materialwerten zur Bewertung der Zulässigkeit des Einbaus von Ersatzbaustoffen.- Fachveranstaltung der Entsorgungsgemeinschaft Nord „Aktuelle Entwicklungen im Abfallrecht“ am 14.09.2009 in Neumünster Krefeld
- Susset, B. (2009): Sickerwasserprognoseforschung – Wesentliche F&E-Ergebnisse und Stand der Produktentwicklungen (Nationale Standards und Regelungskonzepte) sowie erste Ergebnisse der Übertragung auf internationale Ebene - TASK-Unterstützungsmaßnahme des Gutachterbüros Dr. Susset: „Internationale Gremienarbeit zur Übertragung der F&E-Produkte (hier: DIN-Normen) auf EU- (CEN) und internationale (ISO) Ebene“, Vortrag auf dem TASK – Symposium I am 23. und 24.06.2009 in Leipzig, Volkspalast, Alte Messe
- Susset, B., Grathwohl, P. (2009): Ruggedness Testing to Develop a Practicable Percolation Upflow Test: Interpretation of test results, applicability in regulation, recommended test conditions for standardization.- oral presentation and extended abstract, WASCON 2009, 3-4-5 June 2009 in Lyon - France
- Susset, B., Grathwohl, P., Leuchs, W. (2009): Derivation of Leaching Standards – a Regulatory Concept for the Upcoming German Federal Decree for the Use of Mineral Waste Materials and By-Products.- oral presentation and extended abstract, WASCON 2009, 3-4-5 June 2009 in Lyon - France
- Susset, B. (2009): Sickerwasserprognose und Elutionsverfahren in der geplanten ErsatzbaustoffVO- Vortrag und Beratungen zum Seminar 4/2009: Wohin mit Bodenmaterial und Bauschutt? - fortbildungsverbund boden und altlasten Baden-Württemberg am 22.04.09 in Stuttgart.
- Wagner, R., Susset, B. (2008): UUMA-expert meeting “End of waste for mineral residues – aspect of concern in earth construction und UUMA-Seminar in Helsinki, Finland.- Organisator: UUMA (advanced materials technology for infrastructure building) development programme and the Ministry of the Environment, 24.-25.11.2008, Finland (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- Susset, B., Leuchs, W. (2008): Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten durch eine systematisierte Bewertung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser.- Vortrag und Seminarunterlagen zum 10. Workshop „Produkte aus der thermischen Abfallverwertung“ des VGB Powertec und ITAD am 06.11.2008 in Burg Warberg.
- Susset, B. (2008): Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe und Analysemethoden für die ErsatzbaustoffV.- Vortrag und Seminarunterlagen zum 11. Baustoff-Recycling-Tag des Qualitätssicherungssystems Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e. V. (QRB) am 08.10.2008 in der Filharmonie in Filderstadt-Bernhausen.

- Susset, B., Leuchs, W., Grathwohl, P. (2008): Sickerwasserprognose: (Untersuchungs-) Methoden und Umsetzung.- Vortrag und Seminarunterlagen, BEW –Forum Altlasten / Bodenschutz 2008 am 25.09.2008, BEW, Bildungsstätte Duisburg.
- Susset, B. (2008): Impact of Groundwater Risk Assessment Research on German and European Regulations.- Vortrag und Unterlagen beim 5. BMBF Forum for Sustainability on 23. - 25. September 2008, in Berlin, Fona ForumSession D1 From Research to Marketable Products - The Terra-, Aqua-, Site Remediation Centre and Network TASK Leipzig. <http://www.fona.de/de/6577>
- Susset, B. (2008): BBodSchV/ErsatzbaustoffV: Konsequenzen aus dem BMBF-F&E-Vorhaben „Sickerwasserprognose“.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung „Umweltanalytik“ des Deutschen Verbands Unabhängiger Prüflaboratorien e.V. (VUP) auf der VUP-Jahrestagung 2008 am 29.05.2008 in Darmstadt.
- Susset, B., Leuchs, W. (2008): Wissenschaftliche Grundlagen des Verordnungsentwurfs (Materialwerte, Analytik, Einbautabellen).- Vortrag und Unterlagen zum BMU-Workshop „Anforderungen an den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe und an Verfüllungsmaßnahmen“ am 20. und 21. Mai 2008 im Umweltbundesamt in Dessau
- Susset, B. (2008): Konsequenzen aus dem BMBF-F&E-Vorhaben "Sickerwasserprognose" für die Novellierung der BBodSchV und die Bundesverordnung über die Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LANUV NRW "Gefährdungsabschätzung Boden-Gewässer" beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 06.05.2008 in Essen.
- Susset, B. (2008): Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe und Analysemethoden für die ErsatzbaustoffV.- Vortrag und Seminarunterlagen zum Expertengespräch Aachener Altlastensachverständiger 2008 am 25.04.2008 in Aachen.
- Susset, B. (2008): Untersuchungsmethoden zur Sickerwasserprognose, Konzept und Stand der Aktivitäten.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LANUV NRW "Feststoffuntersuchungen 2008" beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 21. und 22.04.2008 in Essen.
- Susset, B. (2008): Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe und Analysemethoden für die ErsatzbaustoffV.- Vortrag und Seminarunterlagen zum BMU-Fachgespräch mit dem Bund der Deutschen Industrie (BDI) am 11.03.2008 im BMBF, Bonn.
- Susset, B. (2007): Konsequenzen aus dem BMBF-F&E- Vorhaben "Sickerwasserprognose" für die Novellierung der BBodSchV und für die Bundesverordnung über die Verwertung von mineralischen Sekundärrohstoffen.- Vortrag und Seminarunterlagen zur Fachveranstaltung „Sickerwasserprognose“ des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz und des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Rheinland-Pfalz, am 14.11.2007 in Mainz.
- Susset, B., Leuchs, W. (2007): Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten durch eine systematisierte Bewertung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser.- Vortrag und Seminarunterlagen zum 9. Workshop „Produkte aus der thermischen Abfallverwertung“ des VGB Powertec und ITAD am 08.11.2007 in Würzburg.
- Susset, B. (2007): Konsequenzen aus dem BMBF-F&E-Vorhaben „Sickerwasserprognose“ für die Novellierung der BBodSchV und für die Verwertung.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LANUV NRW "Gefährdungsabschätzung Boden-Gewässer" beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 03.05.2007 in Duisburg.
- Susset & Leuchs (2007): Gemeinsame Tagung der beiden forschungsbegleitenden Gremien zu den UBA-F+E „Aufkommen und Qualität mineralischer Abfälle“ und „Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden“ am 14.02.07 in Bonn mit Vertretern der Umweltverwaltungen von Bund und Ländern sowie der Wirtschaftsverbände.
- Leuchs & Susset (2006): Präsentation der Zwischenergebnisse und des weiteren Vorgehens im Rahmen des UBA-Workshops „Anforderungen an die Verwertung mineralischer Abfälle und von Bodenmaterial“ am 25.10.2006 in Dessau (Teilnehmer: Vertreter der Fachausschüsse der Länder- und Bundesverwaltung)
- Susset, B (2006): Ausgewählte Ergebnisse und Konsequenzen aus dem Teilprojekt des LUA NRW im BMBF-Verbundvorhaben "Sickerwasserprognose" für die Verwertung und Gefährdungsabschätzung.- Konferenzpapier und Vortrag beim VEGAS Statuskolloquium 2006, am 28.09.2006 in Stuttgart.
- Susset (2006): Ableitung von Quellstärkefunktionen im Rahmen der BMBF-Task-Force „Quellstärkefunktionen am 13.04.2006 und 20.07.2006 beim Projektträger und der Projektkoordination in Karlsruhe
- Susset, B. (2006): Konsequenzen aus dem BMBF-Verbundvorhaben „Sickerwasserprognose“ für die Verwertung und Gefährdungsabschätzung für den Vollzug.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LUA NRW "Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Altlasten, Erfahrungen bei der

- Einzelfallbearbeitung“ beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 29.-30.05.2006 in Essen.
- Susset, B. (2006): Quelltermuntersuchung – Ergebnisse des BMBF-Förderschwerpunktes und weiteres Vorgehen.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LUA NRW “Gefährdungsabschätzung Boden-Gewässer“ beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 27.04.2006 in Duisburg.
- Susset, B. (2006): BMBF-Verbundvorhaben Sickerwasserprognose, Konzept und Stand der Aktivitäten.- Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LUA NRW “Fachgespräch Feststoffuntersuchung 2006, Neue Entwicklungen in der Abfall- und Altlastenuntersuchung.-“ beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 20.-21.03.2006 in Essen.
- Susset, B. (2005): Stand des BMBF-Vorhabens Sickerwasserprognose – Ergebnisse für die Praxis?.- Vortrag und Unterlagen zur Großen Dienstbesprechung des Umweltministeriums Baden-Württemberg mit den unteren Verwaltungsbehörden am 18./19. Oktober 2005 in Kehl.
- Susset, B. (2005): SMART-Workshop 2.- Seminarblock zur SMART-Modellierung der Quellstärke und zeitlichen Quellstärkenentwicklung, Vorträge, Übungen und Seminarunterlagen im Juli 2005 am Zentrum für Angewandte Geowissenschaften in Tübingen.- in Liedl, R.; Grathwohl, P.; Finkel, M.; Susset, B.; Bold, S (2005): SMART-Workshop 2.
- Susset, B. (2005): Lysimeter- und Eluatuntersuchungen zur Bestimmung der zeitlichen Quellstärke-Entwicklung.- Vortrag und Seminarunterlagen zur fachlichen Informationsveranstaltung des LUA NRW “Der Wirkungspfad Boden-Grundwasser“ beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) am 21.04.2005 in Duisburg
- Susset, B (2005): Ausgewählte Ergebnisse und offene Fragen aus dem BMBF-Projekt "Quellstärke".- Workshop “Abschätzung der Sickerwasserbeschaffenheit mittels Labormethoden“, 28.02-01.03.2005 beim Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LFW) in Wielenbach, Seminarvortrag und Seminarunterlagen
- Susset, B (2004): Förderschwerpunkt Sickerwasserprognose des BMBF: Projektüberblick, Forschungsschwerpunkte und aktueller Stand.- Vortrag und Seminarunterlagen zur Veranstaltung “Sickerwasserprognose“ des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein am 25. August 2004 in Flintbek.
- Susset, B (2004): Ermittlung der zeitlichen Quellstärkenentwicklung in Großlysimetern - Teilprojekt des LUA NRW im BMBF-Förderschwerpunkt “Sickerwasserprognose“.- Vortrag auf einer Informationsveranstaltung des LUA NRW am 13.07.2004 zur Exkursion des Forschungsinstitutes Jülich (Institut ICG-IV, Agrosphäre) zum Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen in Essen.
- Susset, B. (2004): Sickerwasserprognose: Stand der Forschung und Perspektiven.- Vortrag zur fachlichen Informationsveranstaltung des LUA NRW “Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Altlasten - Methoden zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten; Erfahrungen bei der Einzelfallbearbeitung“ beim Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW), 29.-30.06. 2004.
- Susset, B (2004): Funktionsweise, Durchführung, Ergebnisse und Modellierung von Säulenversuchen sowie Ergebnisse aus Lysimeteruntersuchungen.- Durchführung des Workshops “Sickerwasserprognose“, Vorträge und Seminarunterlagen zum Workshop, bei der FH-DGG Tagung in Darmstadt, 19. bis 23. Mai 2004, Vorträge.
- Susset, B., Delschen, T., Leuchs, W. (2004): Untersuchung der zeitlichen Quellstärken-Entwicklung in Großlysimetern - ein Teilprojekt des LUA NRW im BMBF-Forschungsverbund “Sickerwasserprognose“.- In Klotz, D.: “Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern“.- Niederschrift von Vorträgen und Postern des 4. GSF-Lysimeterworkshops vom 20.-21.04.04, GSF-Bericht 02/04, Vortrag und Abstract.
- Susset, B., Delschen, T., Leuchs, W. (2004): Stoffaustrag aus mineralischen Abfällen: Untersuchung der zeitlichen Quellstärkeentwicklung in Großlysimetern des LUA NRW.- In: Dohmann, M.: Tagungsband zur 37. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 24.3.-26.3.2004 in Essen, Vortrag und Abstract.
- Susset, B. (2004): Untersuchung der zeitlichen Quellstärken-Entwicklung in Großlysimetern.- Vortrag zum 2. Meeting der Projektgruppe “Quellstärke“ des HSL am 25. Februar 2004 im Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe
- Susset, B. (2004): Untersuchung der zeitlichen Quellstärken-Entwicklung in Großlysimetern.- Vortrag zum 2. Meeting der Projektgruppe “Transportprognose“ des HSL im Januar 2004 im Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe
- Liedl, R.; Grathwohl, P.; Finkel, M.; Susset, B.; Bold, S (2003): SMART-Workshop I.- Seminarblock zur SMART-Modellierung der Quellstärke und zeitlichen Quellstärkenentwicklung, Vorträge, Übungen und Seminarunterlagen am 12. und 13.12. 2003 am Zentrum für Angewandte Geowissenschaften in Tübingen.

- Susset, B. (2003): Untersuchung der zeitlichen Quellstärken-Entwicklung in Großlysimetern - ein LUA-Teilprojekt im BMBF-Forschungsverbund "Sickerwasserprognose".- Vortrag beim Gemeinschaftlichen Kolloquium des Geologischen Dienstes und des LUA NRW am 12. Mai 2003 in Düsseldorf.
- Susset, B. (2003): Untersuchung der zeitlichen Quellstärken-Entwicklung in Großlysimetern.- Vortrag, Langfassung und Kurzbeitrag zum Statusseminar "Sickerwasserprognose" des PTFA am 23. März 2003 im Forschungszentrum Karlsruhe
- Susset, B. (2003): Untersuchung der zeitlichen Quellstärken-Entwicklung in Großlysimetern.- Vortrag, Langfassung und Kurzbeitrag zum Statusseminar "Sickerwasserprognose" des PTFA am 20. Februar 2003 im Forschungszentrum in Karlsruhe.
- Bold, S., Susset, B., Liedl, R., Grathwohl, P. (2002): Process-based prediction of contaminant transport through the unsaturated zone to assess groundwater pollution, ICWRER2002, Dresden, Germany, 22-25.07.2002, oral presentation (S. Bold) and extended abstract accepted
- Bold, S., Susset, B., Grathwohl, P. (2002): Modellierung des Einflusses präferentieller Fließwege auf das Transportverhalten von Schadstoffen im Sickerwasser, Workshop „Untersuchungen zur Schadstoffmigration in Lysimetern“, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit mbH, München, Poster, 29/30.04.2002, Poster und Kurzfassung
- Susset, B., Grathwohl, P. (2002): Numerical and analytical modelling of organic column tests: "A Priori" prediction of release rates based on material properties. in Halm, D., Grathwohl, P.: "Groundwater Risk Assessment at Contaminated Sites" Proceedings of the 1st GRACOS workshop, Tübingen, Germany, 21/22.02.2002, S. 37-43, oral presentation and extended abstract.
- Susset, B., Grathwohl, P. (2002): Column leaching tests for groundwater risk assessment: concept, interpretation of results, and reproducibility in Halm, D., Grathwohl, P.: "Groundwater Risk Assessment at Contaminated Sites" Proceedings of the 1st GRACOS workshop, Tübingen, Germany 21/22.02.2002, 185-190, poster and extended abstract

1.1.2 Fachbegleitung des BMU in Branchen- und Arbeitskreissitzungen mit Bundesressorts, Länderarbeitsgemeinschaften und sonstigen Gremien

1.1.2.1 Bundesressorts, Bundesfachbehörden (z.B. Ressortabstimmungen, Fachgespräche, etc.)

- 04.11.2010: Erörterungsgespräch zu den fachlichen Lösungsansätzen für die Bewertung von Vanadium in der EBV, Gespräch des BMU (Abteilung Wasser und Abfall) mit Bundesressorts, dem Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, Branchenvertretern und Vertretern der Wissenschaft, BDI, Berlin (Erstellung von Vortragsunterlagen und Auswertungen, die dem Teilnehmerkreis z. Vfg. stehen).
- 28.05.2010: Informelles Gespräch des BMU mit den Ressorts (BMWi, BMJ, BMF, BMVBS) zu den Verordnungsentwürfen EBV, GrwV, BBodSchV, BMU, Bonn (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 24.03.2010: Besprechung zur Berücksichtigung der Bezugsmaßstäbe aus der neuen BGR-Studie „Materialuntersuchungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Grundwasser Hintergrundwerte für Spurenelemente im wässrigen Eluat bei einem Wasser-Feststoffverhältnis von 2:1 (DIN 19529)“ im AE 2 EBV bei der BGR in Hannover
- 12.01.2010: BMU-interne Besprechung zum fachlichen Stand der EBV, BMU, Bonn
- 14.07.2009: Zweite Sitzung des Beraterkreises "Güteüberwachung" zur Erörterung von Güteüberwachungsmodellen für den AE 2 EBV im BMU in Bonn (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 08.06.2009: Erste Sitzung des Beraterkreises "Güteüberwachung" zur Erörterung von Güteüberwachungsmodellen für den AE 2 EBV beim BRB, Duisburg (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 24.03.2009: Vortrag und Beratungen zur 22. Sitzung der PG "Boden- und Grundwassergefährdung durch Baustoffe" des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zu den wesentlichen Ergebnissen des BMBF-F&E "Si-WaP" und deren geplante Umsetzung in der Ersatzbaustoffverordnung, DIBt, Berlin (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 11.12.2008: UBA-Fachworkshop Vanadium, zur Erörterung der GFS-Ableitung im UBA, Berlin.
- 28.08.2008: Branchengespräch mit BMWi, BMU, BDI, BVB, MIRO zur Erörterung der Verwertungsmöglichkeiten von RC-Baustoffen und Böden sowie zur Folgeabschätzung der ErsatzbaustoffV im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).

- 02.06.2008: Zweite Sitzung der „Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe“ (UVAGE) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt) im BMVBS in Bonn (Vortrag wurde dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 30.05.2008: BMU-interne Sitzung zur Nachbesprechung des BMU-Workshops zur ErsatzbaustoffV im BMU in Bonn
- 15.04.2008: Erste Sitzung der „Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe“ (UVAGE) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt) im BMVBS in Bonn (Vortrag wurde dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 19.03.2008: Sitzung des UBA zur Diskussion erster Ringversuchsergebnisse zu DIN 19528 und DIN 19529 bei der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin.
- 10.03.2008: Gespräch mit den Bundesressorts (BMVBS, BMWI, BMV) zur Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten nach dem ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine ErsatzbaustoffV und zur Initiierung der „Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe“ (UVAGE) am BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 14.01.2008: Anhörung der Bundesressorts zum ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine Verordnung über den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes Bodenschutzverordnung am BMU in Bonn

1.1.2.2 Bund-Ländergespräche, Länderministerien, Länderfachbehörden (Abstimmungssitzungen, Informationsgespräche)

- 13.01.2011: Informationsgespräch II mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg über die aktuelle Situation bei der ErsatzbaustoffVO, UM, Stuttgart
- 13.09.2010: Informationsgespräch I mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg über die aktuelle Situation bei der ErsatzbaustoffVO, UM, Stuttgart
- 15.04.2010: Bund-Ländergespräch zu den fachlichen Eckpunkten der ErsatzbaustoffV - Weiterentwicklungen für den 2. Arbeitsentwurf.- Bund-Ländergespräch zum fortgeschriebenen Entwurf der Grundwasserverordnung und zu den Eckpunkten der Rechtssetzungsvorhaben der ErsatzbaustoffV und der Änderung der Bundesbodenschutzverordnung, 15. April 2010, BMU, Bonn (Vortrag und Hintergrundpapier wurden den Ländern z. Vfg. gestellt).
- 20.02.2008: Sitzung UBA / BaSt mit Länder- und Wirtschaftsvertretern zur Diskussion der zulässigen Verwertungsmöglichkeiten/Einbauweisen, insbesondere der so genannten „Zwickelproblematik“ am LANUV NRW in Düsseldorf (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt)
- 09.01.2008: Anhörung der Länder zum ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine Verordnung über den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes Bodenschutzverordnung am BMU in Bonn.
18. und 19. 10.2005: Große Dienstbesprechung des Umweltministeriums Baden-Württemberg mit den unteren Verwaltungsbehörden in Kehl.- Stand des BMBF-Vorhabens Sickerwasserprognose – Ergebnisse für die Praxis?.- Vortrag und Unterlagen.

1.1.2.3 Länderarbeitsgemeinschaften, Fachbeiräte

- 08.06.2010: 61. Sitzung der LAWA-AG: Fachgespräch zur EBV mit dem Arbeitskreis Grundwasser der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Vortrag und Unterlagen zum Thema Fachliche Eckpunkte und Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5, Hessisches Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden (Unterlagen wurden z. Vfg. gestellt, siehe Protokoll zur 61. Sitzung).
- 17.02.2009: 20. Sitzung des Fachbeirates für Bodenuntersuchungen (FBU) zur Ableitung von Materialwerten und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe und Analysemethoden für die ErsatzbaustoffV, Vortrag und Beratungen, BMU, Bonn (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 25.06.2008: Fachgespräch des BMU mit den Technischen Ausschüssen der Länderarbeitsgemeinschaften Boden, Abfall und Wasser: Konsequenzen aus dem BMBF-F&E-Vorhaben „Sickerwasserprognose“.- Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt, UBA, Berlin.
20. und 21. 05. 2008: Zweites BMU-Workshop zu AE 1 EBV im Umweltbundesamt in Dessau zu „Anforderungen an den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe und an Verfüllungsmaßnahmen“.- Wissenschaftliche Grundlagen des Verordnungsentwurfs (Materialwerte, Analytik, Einbautabellen).- Vortrag und Unterlagen
- 10.12.2007: Abschließende Fachbeiratssitzung zu UBA FE 205 74 251: „Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden“, UBA, Berlin (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).

- 16./17.11.2006: Sitzung der BMU-Themengruppe Boden-Grundwasser zur Methode zur standardisierten Bewertung der Transportvorgänge, Hamburg-Harburg.
- 29.09.2006: LABO-Vollversammlung: Vorstellung der Zwischenergebnisse auf Veranlassung des BMU bei der LABO-Vollversammlung durch Leuchs & Susset, Wismar (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt)
- 20.09.2006: LAWA-Vollversammlung: Vorstellung der Zwischenergebnisse auf Veranlassung des BMU bei der LAWA-Vollversammlung durch Leuchs & Susset, Mainz (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt)
- 12.09.2006: LAGA-Vollversammlung: Vorstellung der Zwischenergebnisse auf Veranlassung des BMU bei der LAGA-Vollversammlung durch Leuchs & Susset, Saarbrücken (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt)
- 25.01.2006: Sondersitzung des LAWA-AG zum GAP-Papier vor dem Hintergrund der anstehenden Bundes-Verwertungsverordnung (hier: Vortrag Susset und Leuchs zur Vereinbarkeit der Einbeziehung von Rückhaltvorgängen mit den Anforderungen des GAP-Konzeptes, Berlin (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).

1.1.2.4 Industrie (z.B. Branchengespräche)

- 14.09.2010: Branchengespräch des BMU mit dem Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie zur Bewertung der Umweltrelevanz dünn-schichtiger Tennenbeläge aus sortenreinen Ziegeln für die EBV, BMU, Bonn (Gutachten des Gutachterbüro Susset, Erstellung von Vortragsunterlagen und Sitzungsvorlage, Unterlagen stehen BMU und Teilnehmerkreis z. Vfg.).
- 22.06.2010: Branchengespräch zur geplanten Ersatzbaustoffverordnung (EBV) mit der DB AG, BMU, Bonn (Gutachten des ZAG Tübingen, Erstellung von Vortragsunterlagen und Branchenpapier, Unterlagen stehen BMU und Teilnehmerkreis z. Vfg.).
- 06.05.2010: Sitzung der Projektgruppe Wasserwirtschaft des BDI mit dem BMU zu den fachlichen Eckpunkten der ErsatzbaustoffV- Verzahnung mit Wasserrecht (WHG, GrwV, GFS etc.), Weiterentwicklungen für den 2. Arbeitsentwurf, Frankfurt (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 21.01.2010: Sitzung des Bundesverbandes Baustoffe und Erden (bbs) mit dem BMU zu den fachlichen Eckpunkten der ErsatzbaustoffV – 2. Arbeitsentwurf: Ableitung von medienschutz-basierten Einbauwerten und Materialwerten zur Bewertung der Zulässigkeit des Einbaus von Ersatzbaustoffen, Hotel Park Plaza Wallstreet, Berlin (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 29.06.2009: Besprechung der Bauweisen E und F der MTSE bei der REMEX GmbH in Düsseldorf
- 28.05.2009: Branchengespräch des BMU mit Vertreten der RC-Industrie zur Erörterung der Bewertung von Recyclingbaustoffen für den AE 2 EBV im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 20.05.2009: Branchengespräch des BMU mit Vertreten der Gießereiindustrie zur Erörterung der Bewertung von Gießerei-Kupolofenschlacken und Gießereirestsanden für den AE 2 EBV im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 15.05.2009: Branchengespräch des BMU mit FEhS - Institut für Baustoff-Forschung (FEhS-Institut) zur Erörterung der Bewertung von Eisenhüttenschlacken für den AE 2 EBV im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 03.03.2009: Erörterungsgespräch zur Ableitungssystematik und zu den Bewertungen von Eisenhüttenschlacken mit FEhS - Institut für Baustoff-Forschung (FEhS-Institut) im FEhS-Institut in Duisburg (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 12.02.2009: Branchengespräch des BMU mit Vertreten des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie zur Erörterung der Bewertungen für den AE 2 EBV im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 23.01.2009: Branchengespräch des BMU mit Vertreten der Thermischen Verbrennungsprodukte zur Erörterung der Bewertung für den AE 2 EBV (Branchenpapier) im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 16.12.2008: Branchengespräch des BMU mit FEhS - Institut für Baustoff-Forschung (FEhS-Institut) zur Erörterung der Bewertung von Eisenhüttenschlacken für den AE 2 EBV im BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 24.06.2008: Branchengespräch mit dem Verband Deutscher Großkraftwerksbetreiber (VGB) zur Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten von Verbrennungsrückständen nach dem ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine ErsatzbaustoffV am BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).

- 12.06.2008: Branchengespräche mit Bundesverband Recyclingbaustoffe, ITAD, KP Mesters GmbH zu den seitens der Verbände erhobenen Messdaten zu RC-Baustoffen und Hausmüllverbrennungsaschen im BMU in Bonn (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt)
- 18.04.2008: Branchengespräch mit dem Verband Deutscher Großkraftwerksbetreiber (VGB) zur Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten von Verbrennungsrückständen nach dem ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine ErsatzbaustoffV am BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 11.03.2008: Branchengespräch mit dem Bund der Deutschen Industrie (BDI) zur Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten nach dem ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine ErsatzbaustoffV am BMU in Bonn (Vortrag und Unterlagen wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt)
- 25.02.2008: Branchengespräch mit der Deutschen Bahn AG zur Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten von Gleisschottern nach dem ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine ErsatzbaustoffV am BMU in Bonn (Vortrag und Branchenpapier wurden dem Teilnehmerkreis z. Vfg. gestellt).
- 10.01.2008: Anhörung der Wirtschaft zum ersten Arbeitsentwurf des BMU für eine Verordnung über den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes Bodenschutzverordnung am BMU in Bonn

1.1.2.5 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), RAL, F&E-Beiräte

- 25.01.2011: 4. Fachbeiratssitzung zum Projekt „Folgenabschätzung ErsatzbaustoffV (FABER)“ der Hochschule Biberach im Haus der Baustoffindustrie in Ostfildern
- 22.11.2010: 5. Sitzung des KoA Bau ad-hoc-Gruppe "Ersatzbaustoffverordnung (EBV)", FGSV, Köln
- 01.09.2010: 4. Sitzung des KoA Bau ad-hoc-Gruppe "Ersatzbaustoffverordnung (EBV)", FGSV, Köln
- 29.06.2010: Fachbeiratssitzung zum BaSt-Projekt „Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse verschiedener Auslaugverfahren auf bestehende Bewertungsmaßstäbe“, FEhS-Institut, Duisburg
- 15.06.2010: 3. Sitzung des KoA Bau ad-hoc-Gruppe "Ersatzbaustoffverordnung (EBV)", Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- 19.04.2010: 1. Initiierende Sitzung des KoA Bau, ad-hoc-Gruppe "Ersatzbaustoffverordnung (EBV)" 0.2.2.4 der FGSV in Köln
- 24.02.2010: 2. Fachbeiratssitzung zum Projekt „Folgenabschätzung ErsatzbaustoffV (FABER)“ der Hochschule Biberach im Haus der Baustoffindustrie in Ostfildern
- 14.04.2008: Sitzung des Arbeitskreises RAL Güte- und Prüfbestimmungen" " zur Novellierung der RAL le biberachRG 501/3 in Krefeld
- 31.03.2008: Sitzung des Arbeitskreises RAL Güte- und Prüfbestimmungen "Aufbereitung zur Wiederverwendung bindiger, nicht kontaminierter Böden" zur Novellierung der RAL RG 501/4 in Neuss

1.1.3 Erarbeitung von fachlichen Stellungnahmen

Weiterer wichtiger Bestandteil der allgemeinverständlichen Darstellung der Ableitungsmethodik durch das ZAG war die Beantwortung von Stellungnahmen, die Verfassung von Begründungstexten und eigener Stellungnahmen, die Unterstützung des BMU bei der Beantwortung von Stellungnahmen zu den Verordnungsverfahren, sofern es sich um fachliche Belange handelte und die Umsetzung von Änderungsvorschlägen zur Weiterentwicklung des Fachkonzept, sofern das BMU die Umsetzung für erforderlich hielt und das ZAG damit beauftragt hat.

1.1.3.1 Synopsen zu den Stellungnahmen des Fachbeirats zum Fachberichtsentwurf Susset & Leuchs in der Version vom 06.12.2007

Die Stellungnahmen des Fachbeirats und anderer beteiligter Kreise zum Fachkonzept von Susset & Leuchs (2008a), das am LANUV NRW im Rahmen des UBA-Vorhabens 205 74 251 "Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden“ bis Laufzeitende am 31.07.2007 erarbeitet wurde, wurden im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens ausgewertet und beantwortet.

Beim UBA sind bis zum 20.02.2008 nachfolgende Stellungnahmen des Fachbeirats eingegangen. Diese beziehen sich auf den Fachberichtsentswurf von Susset & Leuchs vom 06.12.2007, der dem Fachbeirat am 07.12.2007 vor der abschließenden Fachbeiratssitzung am 10.12.2007 in Berlin zur Verfügung gestellt wurde:

Stellungnahme

- 1.) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt) vom 22.01.2008,
- 2.) der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA-Projektbeirat) vom 14.02.2008,
- 3.) der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO-Fachausschüsse) vom 15.02.2008,
- 4.) des Umweltministeriums Niedersachsen vom 20.02.2008,
- 5.) des Landes Sachsen,
- 6.) des FEhS-Instituts für Baustoffforschung vom 31.01.2008,
- 7.) des Bundes der Deutschen Industrie (BDI) – Forschung und Technik vom 30.01.2008 und
- 8.) des Verbandes Deutscher Großkraftwerksbetreiber (VGB Powertech) vom 13.02.2008

Zwischenzeitlich wurde der überarbeitete und durch die restlichen Ergebnisse der Datenauswertungen vervollständigte Fachbericht des LANUV NRW Anfang Februar auf der UBA-Homepage eingestellt. Die oben genannten Stellungnahmen gingen nach Veröffentlichung des Fachberichts Susset & Leuchs, 2008 ein. Einige Änderungsvorschläge aus den Stellungnahmen sind deshalb im Fachbericht Susset & Leuchs (vom Februar 2008, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3421.pdf>) bereits berücksichtigt.

Sämtliche oben genannten Stellungnahmen zum Fachbericht in der Version vom 06.12.2007 wurden in Form von Synopsen ausführlich bearbeitet und dem UBA am 11.07.2008 mit der Bitte um Veröffentlichung vorgelegt. Insgesamt ergab sich, wie in den Synopsen im Einzelnen begründet, kein inhaltlicher oder konzeptioneller Änderungsbedarf. Die Synopsen wurden Ende 2008 durch das UBA veröffentlicht unter: http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/publikationen/Synopse_FBzuFKZ2057425L_ANUVNRWLAGAPB.pdf

1.1.3.2 Sonstige Stellungnahmen und Begründungen zum Fachkonzept

Fachliche Stellungnahme zu den konkretisierenden Hinweisen des ALA der LABO zu den Stoffdaten im Fachkonzept

Der Altlastenausschuss (ALA) der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) hat im Nachgang des Fachgespräch des BMU mit den Technischen Ausschüssen der Länderarbeitsgemeinschaften Boden, Abfall und Wasser am 25.06.2008 in Berlin konkretisierende Hinweise zu den Stoffdaten der Tab. 3.4.2.1. nach Susset & Leuchs (2008a) gegeben. Herr Susset hat hierzu eine fachliche Stellungnahme mit Begründungen zu den einzelnen Parametrisierungen erarbeitet und am 12.11.2008 dem UBA mit der Bitte um Veröffentlichung vorgelegt. Aus den konkretisierenden Hinweisen ergab sich, wie in der Stellungnahme im Einzelnen begründet, kein inhaltlicher oder konzeptioneller Änderungsbedarf für die ErsatzbaustoffV.

Fachliche Stellungnahme zum Gutachten Gäth & Luckner (2008)

Am 20. August 2008 wurde uns durch das BMU der Bericht: Gäth, S., Luckner, L. (2008): „Wissenschaftliche Bewertung des UBA Abschlussberichts „Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe“ mit der Bitte um fachliche Stellungnahme vorgelegt. Der Projektnehmer hat hierzu eine ausführliche fachliche Stellungnahme erarbeitet, beim 11. Baustoff-Recycling-Tag des Qualitätssicherungssystems Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e. V. (QRB) und des Industrieverbandes Steine und Erden Baden Württemberg (ISTE) vorgestellt und unter www.qrb.de veröffentlicht. Aus dem

Gutachten Gäth & Luckner ergab sich, wie in der Stellungnahme im Einzelnen begründet, kein inhaltlicher oder konzeptioneller Änderungsbedarf.

Fachliche Stellungnahme zum Änderungsvorschlag des BOVA der LABO für die Filterkapazität von Blei

Der Bodenvorsorgeausschuss (BOVA) der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) hat mit einer Stellungnahme zu AE 1 EBV und zum Fachkonzept (Stellungnahme vom 26.09.2008, abgestimmt auf der 34. Vollversammlung der LABO) Änderungsbedarf bei den Modellkriterien für den Stoff Blei begründet. Die fachliche Stellungnahme und Übernahme der Änderungen zur Weiterentwicklung des Fachkonzepts im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Mitgliedern des BOVA (vgl. Kapitel 5.1.2 Teil I und Modellierungsergebnisse in Kapitel 5).

Fachliche Bewertung und Berechnung der Auswirkungen der Übernahme neu abgeleiteter Bezugsmaßstäbe aus der Studie der BGR 2010

Im Auftrag des BMU hat der Projektnehmer eine „Erste Beurteilung möglicher Konsequenzen der Hintergrundwerte für Spurenelemente im wässrigen Eluat bei einem WF von 2:1“ aus der neuen Studie der BGR: „Materialuntersuchungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Grundwasser - Hintergrundwerte für Spurenelemente im wässrigen Eluat bei einem Wasser-Feststoffverhältnis von 2:1“ der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe vom Januar, 2010 (Utermann & Fuchs, 2010) durchgeführt und dem BMU am 16.03.2010 übermittelt.

Fachliche Stellungnahme zu den Auswirkungen einer Übernahme des Molybdänwertes von 7 µg/L aus der OberflächenwasserV in die GrwV für die Verwertungsquoten nach ErsatzbaustoffV

Im Auftrag des BMU hat der Projektnehmer im Nachgang des Bund-Länder Gesprächs vom 15.04.2010 eine „Abschätzung der Konsequenzen des geänderten Schwellenwertes von Molybdän des vierten Entwurfs der Grundwasserverordnung (GrwV) für die Verwertung von mineralischen Ersatzbaustoffen nach ErsatzbaustoffV (EBV)“ durchgeführt. Die Stellungnahme wurde am 20.04.2010 an das BMU übermittelt.

Fachliche Stellungnahme zum Gutachten der Prognos AG (Alwast & Gäth, 2010)

Im Auftrag des BMU hat der Projektnehmer eine Untersuchung des Prognos-Gutachtens: „Berücksichtigung der Geringfügigkeitsschwellenwerte bei der Rechtssetzung und ihre Auswirkungen auf das Bauwesen“ (Prognos AG, Berlin/ Düsseldorf in Zusammenarbeit mit Ecwin GmbH (Prof. Dr. Stefan Gäth), Gießen, Juni 2010) vorgenommen und dem BMU am 04.10.2010 übermittelt.

Fachliche Stellungnahme zu den Auswirkungen des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 des BMU für die LAWA AG

Auf Einladung durch die LAWA zur 61. Sitzung des Arbeitskreises Grundwasser der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA AG) am 08.06.2010 in Wiesbaden hat das ZAG im Rahmen eines Fachgesprächs zur EBV nochmals zu den fachlichen Eckpunkten und zu den Auswirkungen des Verhältnismäßigkeitsfaktors 1,5 des BMU Stellung genommen. Die Beantwortung konkreter Fragen der LAWA durch den Projektnehmer findet sich im Protokoll der 61. Sitzung.

2 Erarbeitung von Normverfahren für die Bundesverordnungsvorhaben

Im Rahmen dieses Projektes sollte gewährleistet werden, dass die Anforderungen der Verordnungen an die Elutionsverfahren (z. B. hinsichtlich Praktikabilität und Aussagekraft) bei den Normungsarbeiten der entsprechenden Gremien berücksichtigt werden können. Dazu wurden Verfahrensentwicklungen des DIN entsprechend den Anforderungen des Beurteilungskonzeptes begleitet (im Rahmen der Funktion des Forschungsnehmers als Mitglied und Delegierter des DIN NAW UA 5). Eine wesentliche Grundlage für die Säulenversuchsnorm sind Ergebnisse aus dem Teilprojekt 02WP0286 des LANUV NRW im BMBF FuE-Sickerwasserprognose. Die Ergebnisse wurden für die Normungsvorhaben im Rahmen dieses Projektes aufgearbeitet und als Entwurf für ein Hintergrundpapier zu den Normen am 29.11.2007 dem DIN NAW UA 5 im DIN livelink zur Verfügung gestellt.

Sämtliche Ergebnisse des laufenden Ergänzungsvorhabens sind direkt in die Normvorhaben des DIN zur DIN 19528 (Elution von Feststoffen - Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen) und DIN 19529 (Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg) eingeflossen und wurden berücksichtigt. Beide Normen wurden Ende 2007 in einem groß angelegten Ringversuch erfolgreich validiert. Im Rahmen des UBA-F&E-Validierungsvorhabens der BAM wurde die Auswertung der Validierungsergebnisse abgeschlossen (Kalbe et al., 2008, Kalbe et al., 2009) und auf dieser Grundlage am 28.05.2008 durch den DIN NAW UA 5 verabschiedet. Die Normen wurden als DIN 19528 und DIN 19529 im Januar 2009 veröffentlicht. Die Normungstätigkeiten der Projektleiter des Ergänzungsvorhabens waren damit Ende 2008 abgeschlossen. Die wesentlichen Arbeitstreffen zur DIN Normung werden im Folgenden kurz dargestellt.

31.01.2007: 14. Sitzung des DIN NAW UA 5: Arbeitsauftrag des DIN NAW UA 5 an Obmann Prof. Grathwohl und Herrn Dr. Susset einen Normentwurf für einen Schüttelversuch in Anlehnung an ISO/TS 21268-1 und EN 12457-1, -4:2002 für Anorganika und einen Säulenversuch in Anlehnung an ISO/TS 21268-3 und ISO/TS 14405:2004 für Anorganika und Organika unter Berücksichtigung der internationalen Normen und des Forschungsfortschritts aus BMBF FuE SiWaP zu erarbeiten.

10.04.2007: Vorlage eines Entwurfs einer nationalen Norm (Säule) als erste Vorlage für einen geplanten Ringversuch durch Susset/ Grathwohl

27.04.2007: 15. Sitzung des DIN NAW UA 5: Initiierung der Normvorhaben DIN E 19528: „Elution von Feststoffen — Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen und DIN E 19529: Elution von Feststoffen — Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg durch den DIN NAW UA 5 „Elutionsverfahren“ im Auftrag des BMU. Präsentation der wesentlichen Forschungsergebnisse aus dem BMBF-FuE SiWaP und UBA FKZ 205 74 251 zur Weiterentwicklung von Laborelutionsmethoden durch Herrn Susset.

21.05.07, 26.06.07, 03.09.07, 27./28.09.07, 27/28.05.08: Redaktionssitzungen des Redaktionskomitees des DIN NAW UA 5 zur Überarbeitung der Normen und Berücksichtigung der Einsprüche (Redaktionsmitglieder: Grathwohl, Hess, Gäbler, Susset, Pluquet, Kalbe, Barrenstein). Erstellung von Kommentarlisten und Synopsen im Rahmen dieses Projekts.

28.05.2008: Konsensuale Verabschiedung der Normen DIN 19528 und DIN 19529 durch den DIN NAW UA 5

Aktuell wird der Arbeitskreis „Datenauswertung“ des DIN NAW UA 5 konstituiert. Hier sollen die neuen Vergleichsdatensätze, die im Laufe des Ordnungsverfahren der EBV erhoben wurden nach den Kriterien des DIN ausgewertet werden, sofern die teilweise industrie-eigenen Datensätze zur Vfg. gestellt werden können. Insbesondere soll die Gleichwertigkeit von Methoden untersucht werden. Diese Arbeiten knüpfen an die Beurteilungen von Vergleichsdatensätzen in Säulen- und Schütteltests an, die im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens für die Güteüberwachung nach EBV durchgeführt wurden.

Herr Prof. Grathwohl und Herr Dr. Susset arbeiten als Mitglieder und Delegierte in anderen relevanten Gremien des DIN (z.B. Gemeinschaftsausschuss NAW/NABau, Spiegelgremium

zu CEN TC 351 WG 1), des CEN (z. B. CEN TC 351, CEN TC 292) und des ISO (ISO TC 190) und bringen dort die Erfahrungen aus den deutschen Forschungsprojekten zum Themenfeld Stofffreisetzung und reaktiver Stofftransport ein (vgl.: Van der Sloot, H.A., Susset, B., Hjelm, O., Kalbe, U., Mehu, J., Galen, J., Chateau, L., Schnuriger, B., Kosson, D.S., Garrabrants, A., Steketee, J., Sakanakura, H., Nielsen, P., Lewin, K., Hyks, J., Guyonnet, D., Keren, R., Bendz, D., Suer, P., van Gerven, T., 2010. Evaluation of ruggedness testing needs for the percolation test, pH dependence leaching test and monolith leaching test based on existing information. Seventh Draft of an Internal Report of the European Standardisation Organisation CEN/TC 292/WG 2 and 6).

3 Numerische Modellierung der Durchströmung von technischen Bauwerken zur Ableitung der bauwerksspezifischen Eingangsgrößen für die weitere medienschutzbasierte Beurteilung

3.1 Allgemeines

3.1.1 Veranlassung

Im Straßen-, Wege-, Erd- und Schienenverkehrswegebau werden seit Jahrzehnten und in großem Umfang Recyclingbaustoffe (RC-Baustoff, aufbereiteter Gleisschotter etc.) und industrielle Nebenprodukte eingesetzt. In der geplanten EBV wird hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten für die mineralischen Ersatzbaustoffe (MEB) auf Regelungen aus dem Straßenbau und in AE 2 EBV zusätzlich auf Richtlinien des Schienenverkehrswegebbaus zurückgegriffen. Im Fachkonzept von Susset & Leuchs (2008a) wird u. a. die Durchsickerung für typische Bauwerkssituationen im Straßen-, Wege- und Erdbau ermittelt und der Transportweg bei verschiedenen Einsatzmöglichkeiten sowie das Rückhaltevermögen des Bodens modelliert (vgl. Kapitel 4 und 5, Teil II dieser Bericht). Grundlage der Durchströmungsbetrachtungen und bauwerksgemittelten Sickerwasserratenbestimmungen sind Ergebnisse von numerischen Simulationen der Durchströmung von Straßendämmen, Lärmschutzwällen und Brach- sowie Parkplatzflächen (Pflasterbauweisen) nach Beyer et al. (2008). Im Zuge von Anhörungsverfahren und von Abstimmungsgesprächen zwischen BMU, UBA, BMVBS und BaSt zu AE 1 EBV wurden die im Fachkonzept zu Grunde gelegten Modellannahmen und Modellgeometrien diskutiert und Parameter identifiziert, die laut Straßenbauverwaltung einer weiteren Konkretisierung und ggf. Änderung bedürfen. Bei einem ersten Arbeitstreffen des UBA zum Thema Modellierung der technischen Einbauweisen am 20.02.2008 im LANUV NRW in Düsseldorf herrscht Konsens darüber, grundsätzlich an den numerischen Modellierungen zur Durchströmung von Straßenbauwerken nach Beyer et al. (2006) und Grathwohl et al. (2006) und an der Systematik nach Susset & Leuchs (2008a) festzuhalten (dies wurde nochmals beim BMU-Workshop am 20./21.05.2008 in Dessau bestätigt). Bei der Durchströmung von Brach-, Parkplatzflächen, Plaster- und Plattenbelägen sowie von Lärmschutzwällen (Einbauweisen mit den lfd. Nr. des AE 2 EBV in der MantelV 2011: 15 – 24 und 27) wird kein Änderungsbedarf gesehen. Die Parametrisierung dieser Bauweisen hinsichtlich der Durchströmung und die fachlichen Begründungen (z.B. die abgeleiteten generalisierten Sickerwasserraten und Einbaudichten etc.) finden sich in Susset & Leuchs (2008a) und werden in Kapitel 3.2.2 nochmals zusammengefasst. Bei den Straßendammszenarien und Hinterfüllungen/Dämmen im Böschungsbereich sollten auf Vorschlag der BaSt, Änderungen der Geometrie, der Durchlässigkeiten der Schichten und der Abflussbeiwerte vorgenommen und die Szenarien nachgerechnet werden. Hierbei geht es insbesondere um die seitliche Durchströmung von MEB im Bankett- und Böschungsbereich von Straßendämmen (wenig fachtechnisch aber einprägsam als „Zwickelproblematik“ bezeichnet), die aufgrund der neuen Erkenntnisse aus dem BMBF-SiWaP-Verbund berücksichtigt werden sollten (u.a. Grathwohl et al., 2006). Dabei handelt es sich konkret um die Einbauweisen Tragschicht ohne Bindemittel, Bodenverbesserung sowie Unterbau bis 1m ab Planum unter gebundenen Deckschichten (lfd. Nr. 11-13 in den Einbautabellen der MantelV, 2011) und Hinterfüllung von Bauwerken und Dämmen im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden (lfd. Nr. 25 und 26).

Am 10.03.2008 wurde durch das BMU und das BMVBS eine Arbeitsgruppe unter Federführung der BaSt initiiert, die sich insbesondere mit den Fragen der Prüfung der Modellannahmen zur Durchströmungsmodellierung von Straßen- und Bahnbauwerken sowie der Harmonisierung der straßenbautechnischen Begrifflichkeiten in der Einbautabelle der EBV beschäftigen sollte. Diese „Umwelt-Verkehrswege-Arbeitsgruppe Ersatzbaustoffe“ (UVAGE) an der das BMU, das UBA, die betroffenen Abteilungen des BMVBS (WS, E, B) und Vertreter von Landesbehörden und Landesbetrieben aus dem Straßen- und Umweltbereich beteiligt waren, tagte insgesamt zweimal am 15.04.2008 und am 02.06.2008 (siehe Übersicht in Kapitel 1.1.2.1). Im Ergebnis hat die BaSt im August 2008 einen Bericht zu den Modellannahmen für Straßenbauwerke vorgelegt, der die Grundlage der im Folgenden vorgestellten Nachmodel-

lierungen von Straßendämmen und auch der Neumodellierungen von Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG (im Folgenden kurz: DB) darstellen.

Die Modellierungen der Straßenbauweisen waren bereits Bestandteil des ursprünglichen UBA-Auftrags und wurden im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens am ZAG fortgeführt.

Die Modellierungen der Bahnbauweisen der DB sind nach Veröffentlichung des AE 1 EBV neu hinzugekommen, nicht Bestandteil des UBA-Auftrags und wurden deshalb im Rahmen eines Drittmittelprojekts durch die DB am 07.11.2008 an das ZAG vergeben. Damit folgte die DB dem Vorschlag des BMU die numerische Modellierung der Durchströmung der speziellen Bahnbauweisen mit den gleichen Modellansätzen und nach den gleichen Kriterien durchführen zu lassen, wie nach Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a) für die Straßenbauwerke. Weiter folgte die DB der Vorgabe des BMU, dass bei den Modellierungen die Ergebnisse der UVAGE zu berücksichtigen sind. Das BMU hatte unter diesen Voraussetzungen zugesichert, dass auf der Grundlage der Modellierungsergebnisse medienschutzbasierte Einbauwerte (ME) für Bahnbauweisen nach dem Fachkonzept von Susset & Leuchs (2008a) abgeleitet werden können, um die Zulässigkeit der Verwertung von Gleisschottern und anderer relevanter MEB in Bahnbauweisen zu bewerten und im AE 2 EBV zu regeln. Am 21.05.2010 wurde der Schlussbericht dem Auftraggeber zur Abstimmung vorgelegt (Titel: „Numerische Modellierung der Durchströmung von Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG und Bewertung der Qualitäten von Gleisschottern und anderen relevanten mineralischen Ersatzbaustoffen zur Ableitung von medienschutzbasierten Einbauwerten und von zulässigen Einbauweisen auf der Grundlage des Fachkonzepts des Umweltbundesamtes für den zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV“). Die DB hat dem BMU diesen Bericht als Grundlage für das „Branchengespräch“ und das „Branchenpapier“ und für die Einführung und Bewertung der Bahnbauweisen und der Materialwerteanpassungen im AE 2 der EBV (MantelV, 2011) zur Verfügung gestellt. Der Schlussbericht soll nach Abstimmung mit dem Auftraggeber während des Verordnungsverfahrens bis Ende 2011 durch Bewertungen der Bahnbauweisen „Feste Fahrbahn“ und „Bauweise E“ ergänzt und dann endgültig abgeschlossen werden. Bericht und Ergebnisse sind Eigentum der DB. Im Rahmen dieses Berichts werden in Abstimmung mit der DB die wesentlichen Ergebnisse aus dem Schlussbericht exemplarisch und aktualisiert dargestellt, sofern sie für eine vollständige Nachvollziehbarkeit der Bewertungen von Bahnbauweisen in der geplanten EBV notwendig sind. Die DB hat der Darstellung der Ergebnisse in der nachfolgenden Form, nach eingehender Prüfung der Wahrung von Geschäftsgeheimnissen, am 27.01.2010 (Mail an das BMU) zugestimmt.

3.1.2 Modellauswahl, Einsatzbereiche und Referenzen

Die Modellierungen der rein hydraulischen Prozesse bei der Durchströmung von Straßendämmen und Lärmschutzwällen nach Beyer et al. (2008), wurden mit dem numerischen Finite-Elemente Modell GeoSys durchgeführt. Für die Weiterentwicklungen im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens wurde das numerische Finite Volumen Modell MIN3P verwendet, das im Vergleich zu GeoSys kürzere Rechenzeiten erlaubt. Der wesentliche Unterschied zwischen GeoSys und MIN3P besteht im Finite Elemente Ansatz gegenüber dem Finite Volumen Ansatz von MIN3P. Die Gleichwertigkeit der Modellergebnisse, die für eine konsistente Grenzwertableitung in der EBV nötig ist, wurde in Modellvergleichen verifiziert (siehe Kapitel 3.3.4). Die Arbeitsgruppe Hydrogeochemie des ZAG arbeitet bereits seit 1999 mit MIN3P und setzt dieses Modell für verschiedenste Fragestellungen ein. Sowohl die Modellansätze GeoSys als auch MIN3P stellen den neuesten Erkenntnisstand dar und sind international anerkannt, wie durch Publikation in internationalen Fachzeitschriften belegt (Mayer et al., 2002; Maier, 2004; Maier & Grathwohl, 2006; Maier et al., 2008). Im Folgenden wird ein Überblick zu den Einsatzbereichen und Referenzen gegeben.

Einsatzbereiche der Modelle

MIN3P wird insbesondere für die Modellierung gekoppelter Prozesse von Wasserströmung, Stofftransport und Geochemie in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone eingesetzt. Ein Finite Volumen- Algorithmus mit global impliziter Kopplung von Transport und Reaktion durch ein nichtlineares Newton-Iterations- Verfahren und eine variable Zeitschrittanpassung ermöglichen eine hocheffiziente Simulation komplexer Szenarien.

Das Modellwerkzeug eignet sich zur Simulation von ungesättigten Bodenprozessen, Grundwasserströmung und Stofftransport, Kopplung mit komplexen geochemischen Reaktionen und Rahmenbedingungen in 3D (detaillierte Beschreibung in Mayer et al., 2002). Das Modell gestattet die Implementierung einer beliebigen Anzahl von geochemischen Spezies und Reaktionen, inklusive komplexen Interaktionen der Spezies (Inhibition, Toxizität, Schwellenkonzentrationen) und kinetischen Ansätzen (nullter/erster Ordnung, Monod-Kinetik) sowie von Sorption und Ionentausch. 1D, 2D und 3D Simulationen sind sowohl bei stationärer wie instationärer Strömung und zeitlich variablen Randbedingungen möglich. Reaktionskinetik und thermodynamische Gleichgewichte werden der zeit- und ortsabhängig herrschenden Untergrundtemperatur angepasst.

Die breite Einsetzbarkeit von MIN3P wurde u.a. mit folgenden Fallstudien demonstriert:

- Ausbreitung und Abbau organischer Schadstoffe aus residualer Phase im Boden (Mayer et al., 2002, Amos et al., 2005).
- Pyrit-Oxidation in Bergbau-Abraumhalden (Mayer et al., 2002, Amos et al., 2004).
- Natural Attenuation von Phenolen im Grundwasser (Mayer et al., 2001).
- Uran-Kontamination des Grundwasser nach Flutung der Mine Königstein (Sachsen, Bain et al., 2001).
- Grundwassersanierung von Chrom (VI) und TCE Kontamination durch reaktive Wände (Mayer et al., 2001).
- Grundwasserrisikoabschätzung durch Kontamination in der ungesättigten Zone bei einem Feldexperiment mit Kerosin-Phase (Maier, 2004, Broholm et al., 2005).
- Rückhaltekapazität von Kapillarsperren auf Bergbauhalden, bei Berücksichtigung der Verdunstung/Transpiration unter instationären Bedingungen (Molson et al., 2008).
- Einmischung und Verdünnung von Schadstoffen aus der ungesättigten Zone ins Grundwasser über den Kapillarsaum (Maier et al., 2008).
- Kalibrierung hydraulischer Parameter der ungesättigten Wasserströmung in vertikalen Bodenfiltern (Maier et al., 2009).

Referenzen MIN3P und GeoSys

- Amos, R. T., Mayer, K. U., Bekins, B. A., Delin, G. N. and Williams, R. L. (2005). "Use of dissolved and vapor-phase gases to investigate methanogenic degradation of petroleum hydrocarbon contamination in the subsurface." *Water Resources Research* 41(2).
- Amos, R. T., Mayer, K. U., Blowes, D. W. and Ptacek, C. J. (2004). "Reactive transport modeling of column experiments for the remediation of acid mine drainage." *Environmental Science & Technology* 38(11): 3131-3138.
- Bain, J. G., Mayer, K. U., Blowes, D. W., Frind, E. O., Molson, J. W. H., Kahnt, R. and Jenk, U. (2001). "Modelling the closure-related geochemical evolution of groundwater at a former uranium mine." *Journal of Contaminant Hydrology* 52(1-4): 109-135.
- Banner, S. G., Hansel, C. M., Mayer, K. U. and Fendorf, S. (2002). "Modeling the reactive transport and biomineralization of ferrihydrite reductive dissolution." *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 223: U599-U599.
- Benner, S. G., Blowes, D. W., Ptacek, C. J. and Mayer, K. U. (2002). "Rates of sulfate reduction and metal sulfide precipitation in a permeable reactive barrier." *Applied Geochemistry* 17(3): 301-320.
- Beyer, C., Konrad, W., Rügner, H., Bauer, S., Liedl, R., Grathwohl, P., 2008. Model-based prediction of long-term leaching of contaminants from secondary materials in road constructions and noise protection dams. *Waste Management* 29, 839-850.

- Broholm, M. M., Christophersen, M., Maier, U., Stenby, E. H., Hohener, P. and Kjeldsen, P. (2005). "Compositional evolution of the emplaced fuel source in the vadose zone field experiment at air-base Vaerlose, Denmark." *Environmental Science & Technology* 39(21): 8251-8263.
- Gerard, F., Tinsley, M. and Mayer, K. U. (2004). "Preferential flow revealed by hydrologic modeling based on predicted hydraulic properties." *Soil Science Society of America Journal* 68(5): 1526-1538.
- Jurjovec, J., Blowes, D. W., Ptacek, C. J. and Mayer, K. U. (2004). "Multicomponent reactive transport modeling of acid neutralization reactions in mine tailings." *Water Resources Research* 40(11): -.
- Kolditz, O., Delfs, J.O., Bürger, C., Beinhorn, M. and Park C.H. (2008) Numerical analysis of coupled hydrosystems based on an object-oriented compartment approach. *Journal of Hydroinformatics* Vol 10 No 3 pp 227–244 © IWA Publishing doi:10.2166/hydro.2008.003.
- Leeming, G. J. S., Mayer, K. U. and Simpson, R. B. (1998). "Effects of chemical reactions on iterative methods for implicit time stepping." *Advances in Water Resources* 22(4): 333-347.
- Maier, U. (2004). *Modelling of Natural Attenuation in Soil and Groundwater*. Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten (TGA). Tübingen, Attempto: 81.
- Maier, U., Beyer, C., Susset, B., Grathwohl, P. (2008). Modelling the dilution of solutes due to mass transfer across the capillary fringe. GQ07: Securing Groundwater Quality in Urban and Industrial Environments. In Johnston et al. (eds). 324: 86-93. Fremantle, IAHS.
- Maier, U., DeBiase, C., Baeder-Bederski, O., Bayer, P. (2009) Calibration of hydraulic parameters for large-scale vertical flow constructed wetlands. *Journal of Hydrology*, 369, 3-4, 260-273. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.02.032
- Mayer, K. U., Benner, S. G., Frind, E. O., Thornton, S. F. and Lerner, D. N. (2001). "Reactive transport modeling of processes controlling the distribution and natural attenuation of phenolic compounds in a deep sandstone aquifer." *Journal of Contaminant Hydrology* 53(3-4): 341-368.
- Mayer, K. U. and Blowes, D. W. (2002). "Constraining reactive transport models using mineralogical data." *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 66(15A): A496-A496.
- Mayer, K. U., Blowes, D. W. and Frind, E. O. (2001). "Reactive transport modeling of an in situ reactive barrier for the treatment of hexavalent chromium and trichloroethylene in groundwater." *Water Resources Research* 37(12): 3091-3103.
- Mayer, K. U., Frind, E. O. and Blowes, D. W. (2002). "Multicomponent reactive transport modeling in variably saturated porous media using a generalized formulation for kinetically controlled reactions." *Water Resources Research* 38(9): -.
- Mayer, K.U. (1999). *A multicomponent reactive transport model for variably saturated media*. Department of Earth Sciences. Waterloo, Ontario, Canada, University of Waterloo.
- Mayer, K.U., Frind, E. O. and Blowes, D.W. (2002). "Multicomponent reactive transport modeling in variably saturated porous media using a generalized formulation for kinetically controlled reactions." *Water Resources Research* 38(9): 1174-1195.
- Molson J., Aubertin M., Bussière B., Benzaazoua M. (2008). Geochemical transport modelling of drainage from experimental mine tailings cells covered by capillary barriers. *Applied Geochemistry* 23, 1–24.
- Romano, C. G., Mayer, K. U., Jones, D. R., Ellerbroek, D. A. and Blowes, D. W. (2003). "Effectiveness of various cover scenarios on the rate of sulfide oxidation of mine tailings." *Journal of Hydrology* 271(1-4): 171-187.
- Watson, I. A., Oswald, S. E., Mayer, K. U., Wu, Y. X. and Banwart, S. A. (2003). "Modeling kinetic processes controlling hydrogen and acetate concentrations in an aquifer-derived microcosm." *Environmental Science & Technology* 37(17): 3910-3919.

3.1.3 Beschreibung des numerischen Modells MIN3P

Das Finite-Volumen Modell MIN3P und das Finite-Elemente Modell GeoSys basieren wie die meisten gängigen Modelle entsprechend dem Stand der Technik auf Grundlage der Richards-Gleichung (Gleichung 1, Mayer et al. 2002):

$$S_a S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \phi \frac{\partial S_a}{\partial t} - \nabla \cdot (k_{ra} K \nabla h) - Q_a = 0 \quad (1)$$

mit der Sättigung der wässrigen Phase S_a [-], dem spezifischen Speicherkoeffizienten S_s [m⁻¹], dem hydraulischen Potential h [m], der Porosität ϕ [-], der Zeit t [s], dem Tensor der hydraulischen Leitfähigkeit K [m s⁻¹], der relativen Permeabilität k_{ra} [-] und dem Quellen/Senken-Term Q_a [m³/s]. Zur Lösung von Gleichung (1) wird das Van-Genuchten-Mualem-Modell (van Genuchten, 1980; Mualem, 1976) verwendet, das durch das System der Gleichungen (2)-(5) gegeben ist:

$$k_{ra} = S_{ea}^l \left[1 - \left(1 - S_{ea}^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (2)$$

$$S_a = S_{ra} + \frac{1 - S_{ra}}{\left[1 + \alpha \psi_a^n \right]^m} \quad (3)$$

$$m = 1 - 1/n \quad (4)$$

$$S_{ea} = \frac{S_a - S_{ra}}{1 - S_{ra}} = \frac{\theta_a - \theta_{ra}}{\theta_{sa} - \theta_{ra}} \quad (5)$$

Dabei ist S_{ea} [-] die effektive Sättigung, S_{ra} [-] die residuale Sättigung, ψ_a das Matrixpotential [m], l [-] der Porenkonnektivitätsparameter. Bei m [-], α [m⁻¹] und n [-] handelt es sich um empirische Parameter. θ_a , θ_{ra} und θ_{sa} sind der aktuelle, der residuale und der Sättigungswassergehalt des Bodens.

Die numerische Lösung der Strömungsgleichung an diskreten Orten im Raum (sowie der Transportgleichungen) erfolgt in MIN3P mit der Finite-Volumen - Methode. Die räumlich und zeitlich kontinuierlichen Differentialgleichungen, z.B. der Massenerhaltung einer Stoff-Strömung, werden dazu durch die Einteilung des Modellgebietes in eckig begrenzte Kontrollvolumen (Zellen, Volumenelemente) und des Zeitverlaufs in diskrete Zeitschritte nachgebildet. Die Summe der Stoff-Flüsse durch die Oberflächen einer Zelle (Oberflächenintegrale) muss dabei der Änderung des Zustandes in der Zelle (Volumenintegral) entsprechen. Daraus ergibt sich ein System von Gleichungen, das mit Hilfe eines Computerprogramms für jeden Zeitschritt (oder einen stationären Zustand) gelöst werden kann. Da die Flüsse durch die Oberflächen benachbarter Zellen identisch sind, hat diese Methode den Vorteil der lokalen Massenerhaltung. Damit kombiniert diese den Vorteil der Finiten-Differenzen - Methode mit der Möglichkeit irregulärer (nicht-rechtwinkliger) Gitterzellen, die etwa bei der Finite-Elemente-Methode gegeben ist. Allerdings können im Modell MIN3P in der gegenwärtigen Version nur rechteckige Zellen verwendet werden.

Die seitlichen Oberflächenabflüsse werden in Abstimmung mit der UVAGE der BaSt über einen Abflussbeiwert berücksichtigt. Die Abflussbeiwerte für Straßendämme bzw. Bahnbauwerke wurden seitens BaSt bzw. DB mit dem Ordnungsgeber abgestimmt und hier verwendet. Eine wissenschaftliche Ableitung dieser Abflussbeiwerte ist derzeit nicht Stand der Technik (vgl. Kapitel 3.2.1.1).

3.1.4 Modellverifizierung - MIN3P versus GeoSys

Zur Verifizierung der Modellierungsergebnisse wurden Vergleichsmodellierungen mit beiden Modellen für Straßendamm- und Bahnszenarien durchgeführt. Außerdem wurden zur Plausibilisierung Sickerwassermengen aus den Geschwindigkeitsvektoren entlang des unteren Modellrandes bilanziert und einfachen Kontrollberechnungen zur Gesamtinfiltration (letzte sind unstrittig) gegenübergestellt. Die Ergebnisse dieser Vergleichsstudien für die Straßendämme sind in Kapitel 3.2.5 ausführlich dargestellt. Insgesamt zeigt sich eine hinreichend genaue Übereinstimmung zwischen den Modellergebnissen von MIN3P und GeoSys. Die Plausibilitätsrechnungen (Wasserbilanzen) fallen für MIN3P noch etwas besser aus.

3.1.5 Nachvollziehbarkeit der numerischen Modellierungen

Im Rahmen dieses Berichts werden alle Inputparameter und die Modelldiskretisierungen dargestellt, um für eine transparente Nachvollziehbarkeit der numerischen Modellierungsergebnisse für AE 2 EBV sorgen zu können. Die hier durchgeführten Modellierungen können selbstverständlich auch mit anderen Modellansätzen nachvollzogen werden, vorausgesetzt es werden die gleichen physikalischen Prozesse bzw. Parameter berücksichtigt. Die Anwendung der oben genannten Modelle zur Simulation der Wasserströmung in ungesättigten / variabel gesättigten Böden erfordert allerdings ein fundiertes Verständnis hydrologischer Prozesse und Erfahrung im Umgang mit numerischen Simulationswerkzeugen. Für die Handhabung der Programme ist in der Regel mit einer Einarbeitungszeit von einigen Monaten zu rechnen.

Nachfolgende Tabelle 3.1 gibt einen Überblick zu einer Auswahl von Modellen zur numerischen Simulation ungesättigter Wasserströmung in Bodensystemen nach der Richards-Gleichung (vgl. auch Reinstorf et al., 2001) mit Kurzbeschreibungen und Verfügbarkeit. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tab. 3.1: Überblick über eine Auswahl von Modellen zur numerischen Simulation ungesättigter Wasserströmung in Bodensystemen nach der Richards-Gleichung. Abkürzungen: FEM: Finite Elemente Methode, FDM: Finite Differenzen Methode, FVM: Finite Volumen Methode.

Modell / Modell-Gruppe	Beschreibung (allgemeine Angaben der online-Information)	Verfügbarkeit
GeoSys	OpenGeoSys (OGS) is a scientific open source project for the development of numerical methods for the simulation of thermo-hydro-mechanical-chemical (THMC) processes in porous and fractured media. OGS is implemented in C++, it is object-oriented with an focus on the numerical solution of coupled multi-field problems (multi-physics). Parallel versions of OGS are available relying on both MPI and OpenMP concepts. Application areas of OGS are currently CO2 sequestration, geothermal energy, water resources management, hydrology, and waste deposition. A short history of OGS based on RockFlow (University of Hannover, University of Tübingen) you can find in the OGS Developer Benchmark Book in the introduction below. See the below links to recent publications for further information. (FEM-code)	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig-Halle (UFZ). Verfügbar in Absprache mit dem Entwickler-Team http://www.ufz.de/index.php?en=18345

MIN3P	MIN3P is a general purpose flow and reactive transport code for variably saturated media providing a high degree of flexibility with respect to the definition of the reaction network. Advective-diffusive transport in the water phase and diffusive transport in the gas phase are included. Equilibrium reactions considered are aqueous complexation, gas partitioning between phases, oxidation-reduction, ion exchange, and surface complexation. The reaction network is designed to handle kinetically controlled intra-aqueous and dissolution-precipitation reactions, and the dissolution of non-aqueous phase liquids (NAPLs). All reactions can be defined through a database, not requiring external code generation by the user. (FVM-code)	University of Waterloo, Department of Earth and Ocean Sciences University of British Columbia, Vancouver, Canada. Verfügbar in Kooperation mit dem Entwickler-Team http://www.eos.ubc.ca/research/hydro/research/min3p/reactive_tran_web.htm
HydroGeoSphere	HydroGeoSphere is a 3D control-volume finite element hydrologic model describing fully-integrated surface and subsurface water flow and solute and thermal energy transport. Because the model solves tightly-coupled highly-nonlinear partial differential equations, often applied at regional and continental scales (for example, to analyze the impact of climate change on water resources), high performance computing (HPC) is essential. Control-Volume-FEM-code.	Department of Earth and Environmental Sciences, University of Waterloo, Ontario, Canada. Lizenz/Download: http://hydrogeosphere.org/ http://de.wikipedia.org/wiki/HydroGeoSphere
Hydrus	Hydrus-2D is a Microsoft Windows based modeling environment for analysis of water flow and solute transport in variably saturated porous media. The software package includes the two-dimensional finite element model HYDRUS2 for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. The model includes a parameter optimization algorithm for inverse estimation of a variety of soil hydraulic and/or solute transport parameters. The model is supported by an interactive graphics-based interface for data-preprocessing, generation of a structured mesh, and graphic presentation of the results. Optionally, the modeling environment includes a mesh generator for unstructured finite element grids, Meshgen-2D. (FEM-code)	University of California, Riverside, PC-Progress kommerziell Hydrus-1D public domain. User-Lizenz für Hydrus-2D/3D: 600,- bis 2400,- € http://www.pc-progress.com/
TOUGH	TOUGH2 is a general-purpose fluid and heat flow simulator, with applications in geothermal reservoir engineering, nuclear waste disposal, and environmental contamination problems. (FVM-code)	Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA. Benutzer-Lizenz, Source-code Lizenz: http://esd.lbl.gov/tough2/
ParFlow	ParFlow is an integrated, parallel watershed model that makes use of high-performance computing to simulate surface and subsurface fluid flow. The goal of the ParFlow project is to enable detailed simulations for use in the assessment and management of groundwater and surface water, to investigate system physics and feedbacks and to understand interactions at a range of scales. (FDM-code)	Lawrence Livermore National Security, LLC, US Department of Energy Open source, free download: https://computation.llnl.gov/casc/parflow/parflow_home.html http://inside.mines.edu/~rmaxwell/maxwell_software.shtml

SUTRA	SUTRA is a model for saturated-unsaturated, variable-density ground-water flow with solute or energy transport. (FEM-code)	U.S. Geological Survey (USGS) Open source, free download: http://water.usgs.gov/nrp/gw/software/sutra.html
FEFLOW	FEFLOW ist ein professionelles Softwarepaket zur Berechnung von Wasserströmung, Massen- und Wärmetransport in porösen Medien. (FEM-code)	kommerziell http://www.feflow.info/ Lizenz: 1650,- – 10450,- €

3.1.6 Unsicherheiten numerischer Durchströmungsmodellierung

Für die Modellierung der Durchströmung von technischen Bauwerken wurden verschiedene Modellansätze geprüft, die dem aktuellen Stand des internationalen Wissens entsprechen und zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Es besteht fachlicher Konsens (siehe z.B. Ergebnisse der WASCON-Konferenz in 2009), dass die Unsicherheit bei der numerischen Modellierung der Hydraulik nicht in den Modellansätzen selbst, sondern insbesondere in der Ableitung der Modell-Parameter (z.B. Durchlässigkeiten und van Genuchten Parameter) für die grobkörnigen MEB besteht. Die größten Unsicherheiten liegen damit in der Abschätzung der für die Beschreibung der ungesättigten Durchströmung erforderlichen Inputparameter. Hier besteht dringender Forschungsbedarf und die Notwendigkeit von Validierungsuntersuchungen im halbertechnischen sowie bestenfalls im Feldmaßstab (Vergleich mit In-situ- und Laborergebnissen zur Absicherung der Parametrisierungen).

Der Bericht bezieht internationale Forschungsergebnisse u.a. aus Schweden, Dänemark, Norwegen und den Niederlanden in die Untersuchungen mit ein (vgl. Literaturverweise in Beyer et al., 2008 und die niederländische Studie "Unsaturated water movement under road constructions containing sub-bases constructed with secondary materials", final report of the research commissioned by: Rijkswaterstaat Ministry of VROM, August 2003). Die Vergleichsstudien von Straßenlysometern, Laboruntersuchungen und numerischen Simulationen bestätigen die relativ hohen Infiltrationsraten und die Durchströmung der Tragschichten insbesondere im Seitenraum von z.B. Straßendämmen.

3.2 Straßendammmodelle mit neuen Inputparametern der BaSt

3.2.1 Begründungen der Umsetzung/Nichtumsetzung der Empfehlungen der BaSt

Die neue Parametrisierung der Bauweisen 11-13 Straßendämme und 25, 26 Hinterfüllungen von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich erfolgte auf der Grundlage des Berichts der BaSt „Modellannahmen für Straßenbauwerke“ von August 2008 (Bürger et al., 2008). Die endgültige Abstimmung des Inputparameterkatalogs erfolgte mit den Schreiben vom 14.10. und vom 10.11.2008 an die BaSt, das BMU und das BMVBS und mit Schreiben der BaSt vom 23.10.2008 an die Projektnehmer, an das BMVBS und das BMU. Es wurden zwei Grundszenarien neu modelliert, der niedriger Straßendamm für Bauweisen Nr. 11-13 und der hohe Straßendamm für die Bauweisen Nr.: 25 und 26.

Die wesentlichen Änderungen gegenüber den Modellannahmen nach Beyer et al. (2008) (Grundlage für AE 1 EBV) in den Modellierungen AE 2 EBV werden im Folgenden zusammengefasst:

- Abflussbeiwert statt 0,9 jetzt 0,7
- Neigung Straßendecke statt 3 % jetzt 2,5 %
- Oberbau: Mächtigkeit jetzt 0,5 m, von Genuchten Parameter und Durchlässigkeiten wie bei Beyer et al. (2008).
- Unterbau: Neigung der Grenzfläche jetzt 2,5 %; Mächtigkeit jetzt 0,8 m bei niedrigem Straßendamm und 3,2 m bei hohem Straßendamm; von Genuchten Parameter und Durchlässigkeiten wurden neu abgeleitet
- Technische Zeichnungen der BaSt wurden exakt in der Modelldiskretisierung umgesetzt.

3.2.1.1 Auswirkung von Parameteränderungen

Die Herabsetzung des Abflussbeiwerts bedeutet bei den Straßendämmen mit gebundener Deckschicht, dass weniger Wasser über die gebundene Deckschicht abfließt (und entsprechend mehr verdunstet). Da diese entlang der gebundenen Decke gesammelte Wassermenge im Modell nach Beyer et al. (2008) gleichmäßig über den Böschungsbereich verteilt wird und nach den oben diskutierten Randbedingungen vollständig im Böschungsbereich infiltriert (vgl. auch Susset & Leuchs, 2008a), steht bei Verwendung des neuen Abflussbeiwerts insgesamt weniger Wasser für die Infiltration zur Verfügung. Die entlang der Bauwerksunterkante gemittelte Sickerwasserrate als Eingangsgröße für das Transportmodell ist folglich kleiner, was sich positiv auf die Höhe der medianschutzbasierten Einbauwerte (ME) bei Schwermetallen und Organika auswirkt. Die verringerte Gesamtinfiltration wirkt sich dagegen negativ auf die Höhe der ME von Salzen aus, da weniger Wasser für die Auswaschung zur Verfügung steht (vgl. Kapitel 4.1.3.4, Teil I dieser Bericht).

Der durch Grathwohl et al. (2006) und Beyer et al. (2008) für die Modellierungen verwendete und durch Susset & Leuchs (2008a) im Fachkonzept für AE 1 EBV übernommene Abflussbeiwert von 0,9 basiert auf der RAS-Ew (2005) für die Bemessung der Straßenentwässerung zum Schutz des Straßenverkehrs, der Bauwerke und der Anlieger vor einzelnen Starkregenereignissen. Laut Bürger et al. (2008) würde dieser bei den meisten Regenereignissen nicht erreicht, insbesondere bei der Berücksichtigung von Einzelereignissen sei der Abflussbeiwert häufig deutlich kleiner als 0,9. Bürger et al. (2008) plädieren dafür – in Bezug auf die Fragestellung eines langjährigen Mittelwertes von Abflüssen – entsprechend eines mittleren Jahresniederschlag auch einen mittleren Abflussbeiwert zu verwenden. Bürger et al. (2008) haben hierzu Ergebnisse von Freilandmessungen und eine rechnerische Abschätzung von Straßenabflüssen zusammengestellt (detailliert in Bürger et al., 2008). Im Ergebnis empfiehlt die BaSt für die weiteren Berechnungen entsprechend der Annahme eines mittleren Jahresniederschlags einen mittleren Abflussbeiwert der Fahrbahn von 0,7 zu verwenden. Eigene

Messdaten oder geschätzte mittlere Abflussbeiwerte der Fahrbahn waren nicht Gegenstand des hier vorgestellten Ergänzungsvorhabens.

Im Endergebnis hat das BMU als Ordnungsgeber entschieden, den von der BaSt empfohlenen mittleren Abflussbeiwert der Fahrbahn von 0,7 anzuwenden, der im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens schließlich berücksichtigt wurde.

Zur Berücksichtigung der Durchlässigkeitsunterschiede in verschiedenen Schichten von Straßenbauwerken

Die Wirkung der gezielt in die Konstruktion von Straßenbauwerken eingebrachten Durchlässigkeitsunterschiede in verschiedenen Schichten und damit die Änderung der Durchsickerung im Modell wird entgegen der Darstellungen von verschiedenen Seiten in den Modellen vollständig umgesetzt (dies war bereits bei den Durchströmungsmodellen für AE 1 EBV und bei Susset & Leuchs, 2008a der Fall, siehe auch nächster Punkt und Beyer et al., 2008). Das Modell verwendet für jede Schicht gesondert festgelegte Parameter.

3.2.1.2 Nicht umgesetzte Parameteränderungen der BaSt - Begründungen

Die im Folgenden aufgeführten Empfehlungen der BaSt zur Umstellung von Modellannahmen und Randbedingungen konnten bei den neuen Modellierungen für AE 2 EBV nicht berücksichtigt werden. Dies wurde im Schreiben vom 10.11.2008 der Projektnehmer an alle beteiligten Kreise und das BMU im Einzelnen wie folgt begründet und mit dem BMU abgestimmt.

Empfehlung der BaSt (Bürger et al., 2008) zur Begrenzung der Infiltration auf einen engeren Raum im Bankett und Böschungsbereich:

Bei allen bisher durchgeführten Modellierungen im Bankett + Böschungsbereich für AE 1 EBV, wurde die nach Niederschlägen im Jahresmittel infiltrierende Wassermenge, wie im F&E-Bericht (Grathwohl et al., 2006) auf S. 36 beschrieben, gleichmäßig über Böschung und Bankett verteilt. Dies geht auf die Annahme zurück, dass neuere Bauweisen darauf abzielen, die extremen Versickerungen im Straßenrandbereich zu reduzieren und größere Teile des Straßenabflusses über die Oberbodenschicht der Böschung abzuführen (freundliche Mitteilung durch die BaSt in 2006). Für die Begrenzung der Infiltration auf einen engeren Bereich liegen uns bisher keine näheren Angaben oder fachliche Kriterien vor. Folglich wurde bei den neuen Modellierungen im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens an der gleichmäßigen Verteilung der Niederschläge bzw. Infiltration über den kompletten Bankett- und Böschungsbereich, der von der Höhe des Damms abhängig ist (vgl. Infiltrationsraten im Inputkatalog) festgehalten.

Empfehlung der BaSt (Bürger et al., 2008) der Berücksichtigung des Oberflächenabfluss über die Böschung:

Der Oberflächenabfluss über die Böschung könnte modelltechnisch problemlos in Ansatz gebracht werden, wenn dazu genaue Angaben gemacht werden können (z. B. bei Vorliegen langjähriger Messreihen für verschiedene Bauweisen und klimatische Randbedingungen). Aufgrund der ungenügenden Kenntnis des Einflusses des Bewuchses sind mechanistische Modelle dazu nicht Stand der Technik (d.h. man kann es messen, aber noch nicht mit prozessbasierten Modellen vorhersagen). Außerdem ist für eine generalisierte Bewertung ein zeitlich und räumlich variabler Ansatz nicht praktikabel. Wichtiger wäre es, den Anteil des Oberflächenabflusses im Bankett und Böschungsbereich von Straßendämmen bei der Mehrzahl der Fälle in Deutschland im Jahresmittel zu kennen. Falls ja, müsste dies durch das BMU zur Berücksichtigung im Fachkonzept abschließend anerkannt werden.

Empfehlung der BaSt (Bürger et al., 2008) zur Berücksichtigung standortspezifischer Niederschlagsverteilungen:

Aufgrund der generalisierten Fragestellungen in einem allgemeinen Regelwerk des BMU können standortspezifische Niederschlagsverteilungen nicht berücksichtigt werden. Dies wäre zwar modelltechnisch möglich, um jedoch die Mehrzahl der Fälle abzudecken – wie

vom VO-Geber in einem generalisierenden, bundesweit gültigen Regelwerk vorgesehen – muss ein konstanter mittlerer Niederschlag angesetzt werden. Abgesehen davon sind die Unterschiede in der Niederschlagsverteilung geringer als die Unsicherheiten bzgl. der Durchlässigkeitsverteilung im Untergrund. Das numerische Durchströmungsmodell startet mit der Versickerung des Niederschlags unter Berücksichtigung der material-, orts- und zeitabhängigen Durchlässigkeiten, die sich entsprechend dem van Genuchten- Modell in Abhängigkeit der verwendeten Wassergehalts-Saugspannungs- sowie Wassergehalts-Leitfähigkeits-Beziehungen ergeben (vgl. S. 25 F&E-Bericht Grathwohl et al., 2006). Das Modell rechnet bis ein "stationärer Zustand erreicht wird (dies entspricht quasi einem „Mittelwert“). Dabei ergeben sich selbstverständlich die geforderten Durchströmungsunterschiede in Abhängigkeit der Durchlässigkeiten (die bei den in den Simulationen auftretenden Wassergehalten zudem in der Regel erheblich unter den im Inputkatalog angegebenen K_f -Werten für den vollständig wassergesättigten Zustand liegen), der Porositäten und der Dichten der verschiedenen Materialschichten). Für die Grenzwertableitung wird deshalb die Sickerwasserrate im stationären Zustand und bei einem mittleren Niederschlag verwendet.

Allgemeines:

Grundsätzlich muss unterschieden werden zwischen dem was modelltechnisch machbar ist und der für eine bestimmte Fragestellung erforderlichen Parametrisierung des Modells sowie den hierfür ggf. nur begrenzt vorhandenen Parametern bzw. Prozessgrößen.

Auftrag von Susset & Leuchs war es, die Quellstärke unterhalb eines technischen Bauwerks und für einen Meter Tiefe das Retardations- und Abbauvermögen generalisiert einzuschätzen, um dieses bei der Grenzwertableitung so anzurechnen, dass die Mehrzahl der Fälle (bei statistisch erhobenen Parametern wird das 90. Perz. gewählt) berücksichtigt wird. Damit sollte die Voraussetzung für eine generalisierte Bewertung in einem Regelwerk geschaffen werden, so dass ohne Einzelfallprüfung bei Nachweis des Standardfalls mit einfachen Mitteln eine Entscheidung über die Zulässigkeit einer Verwertungsmaßnahme ohne wasserrechtliche Genehmigung getroffen werden kann (unter der weiteren Bedingung einer Güteüberwachungs- und Dokumentationspflicht). Selbstverständlich könnte man mit dem Konzept auch Grenzwerte für den Einzelfall ableiten oder für Bedingungen, die nur in bestimmten Gebieten Deutschlands (z.B. spezielle Niederschlagsverteilungen, die zu spezifischen Durchströmungssituationen im Bauwerken führen) oder auf dem Transportpfad nur von < 90 % der Böden eingehalten werden. Dies würde zwar die Parameter im Sinne verschiedener Interessensgruppen begünstigen, jedoch dem Ziel der VO widersprechen (der VO-Geber würde Gefahr laufen, „blind“ eine generelle wasserrechtliche Genehmigung für ein Szenario zu erteilen, dass in vielen Fällen keinen Medienschutz erlaubt, weil die günstigen Randbedingungen oftmals nicht gegeben sind). Der Niederschlag richtet sich für einen generalisierten Ansatz deshalb nicht an einem orts-spezifischen, sondern am mittleren Niederschlag (BMU, 2000) aus, um eben für einen generalisierenden Ansatz die Mehrzahl der Fälle abzudecken. Gleiches gilt für die Infiltration: Zwar lässt sich die Grundwasserneubildung, die sich als Differenz zwischen Niederschlag, Oberflächenabfluss und Verdunstung ergibt, auf Einzugsgebietsebene relativ genau bestimmen, die Modellierung der zeitlich aufgelösten sowie im Detail standortbezogenen Verdunstung ist bisher nicht bzw. nur mit extremem Aufwand möglich. Relative Durchlässigkeiten werden als Funktion der Wassersättigung und Porosität (Kapillardruck-Sättigungsfunktionen) - wie bei Beyer et al. (2008) beschrieben – in den Strömungsmodellen korrekt berücksichtigt, nicht aber transiente Durchströmungssituationen, z.B. nach Trocken-Feucht-Wechseln oder Extremereignissen. Diese müssen über die mittleren Infiltrationsraten einfließen. Hier sollte zudem beachtet werden, dass die für die ungesättigte Durchströmung erforderlichen Parameter für viele Baumaterialien noch nicht gemessen wurden und diese deshalb abgeschätzt werden müssen (z.B. van Genuchten Parameter).

3.2.2 Modellinputkatalog der Straßendammmodelle

3.2.2.1 Geometrie der Straßendämme

Die BaSt hat dem ZAG Tübingen die in Abbildung 3.1 dargestellten technischen Zeichnungen für die beiden Straßendammsszenarien I: „niedriger Straßendamm“ und II: „hoher Straßendamm“ zur Verfügung gestellt. Die technischen Zeichnungen sind mit den beiden Szenarien nach Susset & Leuchs (2008a) vergleichbar (Kapitel 3.1.5), unterscheiden sich lediglich im Neigungswinkel der Straßendecke und geringfügig in der Mächtigkeiten des Unter- und Oberbaus. Szenario I „niedriger Straßendamm“ mit einer Höhe von insgesamt 1,6 m wurde wie bei Susset & Leuchs (2008a) zur Approximation des technischen Bauwerks Straßendamm mit den Einbauweisen „Tragschichten ohne Bindemittel, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundenen Deckschichten mit den EBV-Nummern 11-13 und Szenario II „hoher Straßendamm“ mit einer Höhe von insgesamt 4,0 m wie bei Susset & Leuchs (2008a) zur Approximation des technischen Bauwerks „Hinterfüllungen von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden“ mit den EBV-Nummern „25-26“ verwendet.

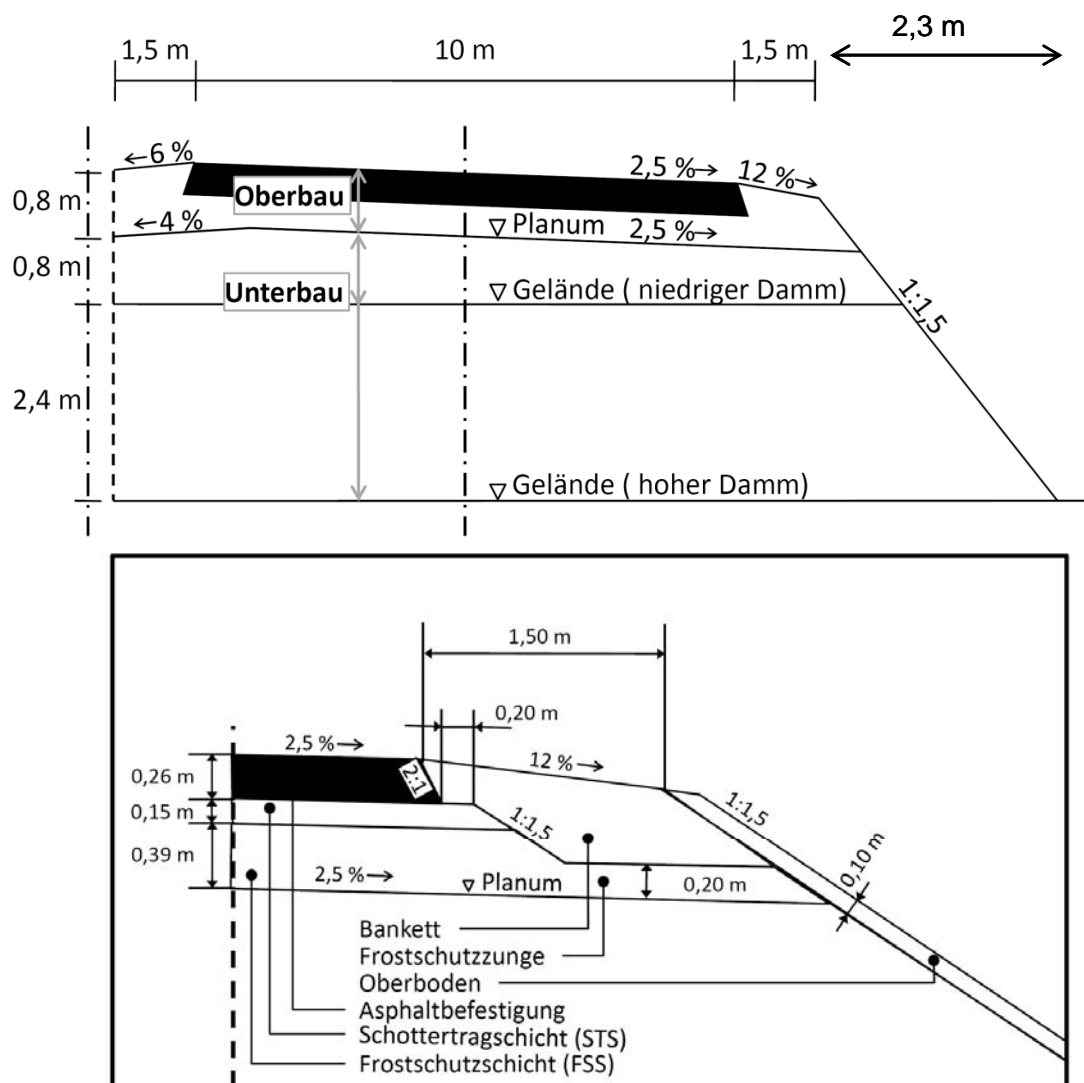


Abb. 3.1: Technische Zeichnungen der BaSt zu den Straßendammsszenarien I „niedriger Straßendamm“ zur Abschätzung der EBV-Bauweisen mit lfd. Nr. 11-13 und II „hoher Straßendamm“ zur Abschätzung der EBV-Bauweisen 25 und 26 und Detailansicht des Böschungsbereichs (unten) (aus Bürger et al., 2008).

3.2.2.2 Material- und Hydraulikparameter

Bei der Parametrisierung der hydraulischen Kenngrößen und Dichten der verschiedenen Einbauschichten der Straßendämme wurden die Empfehlungen durch BaSt und Bürger et al. (2008) berücksichtigt (Tabelle 3.2). Die van Genuchten Parameter wurden wie bei Beyer et al. (2008, umgesetzt in Susset & Leuchs 2008a) mit Hilfe des Programms SOILPROP abgeschätzt, wobei hier nochmals darauf hingewiesen wird, dass die Abschätzung von van Genuchten Parametern für die groben MEB im Oberbau mit hohen Unsicherheiten behaftet ist (vgl. Kapitel 3.1.6). Für den Oberbau wird wie bei Beyer et al. (2008) ein K_f -Wert von $5,4 \times 10^{-5}$ m/s und eine Porosität von 31 % angesetzt, ohne nach verschiedenen MEB zu unterscheiden (Details zu Proctordichten und Porositäten von MEB im Oberbau in Beyer et al., 2008 und Grathwohl et al., 2006). Die Ableitung der van Genuchten Parameter für die Bodendeckschicht und den Unterbau erfolgte analog der Vorgehensweise bei den Straßendammmodellen (Beyer et al. 2008 und Susset & Leuchs, 2008a) und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der UVAGE (siehe Bericht der BaSt, Bürger et al., 2008). Sämtliche Bauwerke wurden unter Berücksichtigung eines K_f -Wertes von 10^{-5} m/s für die Bodendeckschicht (Oberboden auf den Böschungen der Bauwerke, unverändert), von 10^{-6} m/s für das Bankett (unverändert) und abweichend von Susset & Leuchs (2008a) gemäß Bürger et al. (2008) mit 10^{-7} m/s für den Unterbau modelliert. Bei der Ableitung von van Genuchten Parametern für den Unterbau wurden die nach BaSt in Betracht kommenden Kornanteile gemittelt und berücksichtigt (vgl. detaillierte Erläuterungen in Fußnoten zu Tabelle 3.2).

An dieser Stelle wird nochmals betont, dass es sich hier um gesättigte K_f -Werte handelt. Im Modell werden zeitlich und räumliche Durchströmungsunterschiede, sowie die Abhängigkeit der hydraulischen Durchlässigkeit von der Wassersättigung berücksichtigt, so dass bei den in den Simulationen auftretenden Wassergehalten die tatsächlichen Durchlässigkeiten erheblich unter den im Inputkatalog angegebenen K_f -Werten für den vollständig wassergesättigten Zustand liegen können.

Tab. 3.2: Material-, Hydraulikparameter und abgeleitete van Genuchten Parameter der technischen Schichten der beiden Straßendammsszenarien „niedriger und hoher Straßendamm“ (Daten aus Unterlagen der BaSt sowie Bürger et al., 2008, BaSt-Bericht).

Material	Porosität []	K_f [m/s]	S_{ra} []	Van Genuchten α [1/m]	Van Genuchten n []
Oberbau ¹	0,31	$5,4 \cdot 10^{-5}$	0,01	168	1,29
Bankett ¹	0,36	10^{-6}	0,01	2,64	1,28
Bodendeckschicht = Oberboden ¹	0,37	10^{-5}	0,11	8,74	1,57
Unterbau ² : gering- durchlässiger Einbau	0,32	10^{-7}	0,00	4,28	1,18

1: wie bei Beyer et al. (2008) und Grathwohl et al. (2006) und umgesetzt in Susset & Leuchs (2008a)

2: Körnungen sind laut BaSt-Bericht: GU*, GT*, SU* oder ST*, d.h. folgende Kornanteile nach DIN: S + G 60-85, U 15-40, T 0-40, wobei T+U >15 und <40; hier wurde eine mittlere Zusammensetzung von S 70, U 15, T 15 gewählt, was nach KA4 einem stark lehmigen Sand SI4 entspricht (S 43-78, U 10-40, T 12-17). Die van Genuchten-Parameter nach den Ableitungsregeln der BGR von Hennings (2000) für diesen Boden sind: residualer Wassergehalt = 0,00; gesättigter Wassergehalt = 0,34; $\alpha = 4,28$ [1/m]; $n = 1,18$. Nach BaSt (Bürger et al., 2008) wird der Boden allerdings verdichtet. Die Porosität und somit der gesättigte Wassergehalt soll nach Tabelle 2 im BaSt-Bericht nach Verdichtung auf 97% Proctordichte bei $n < 0,32$ liegen. Für den K_f -Wert wurde entsprechend Vorschlag der BaSt 10^{-7} m/s gewählt (Bürger et al., 2008).

3.2.2.3 Modelldiskretisierung

Die Geometrien der beiden Straßendämme wurden unter Berücksichtigung der geänderten Neigungswinkel der Schichten und entsprechend der technischen Zeichnungen der BaSt im Modell exakt umgesetzt.

Abbildungen 3.2 zeigen die Umsetzungen in den beiden Straßendammmodellen als Detailansicht im Böschungsbereich.

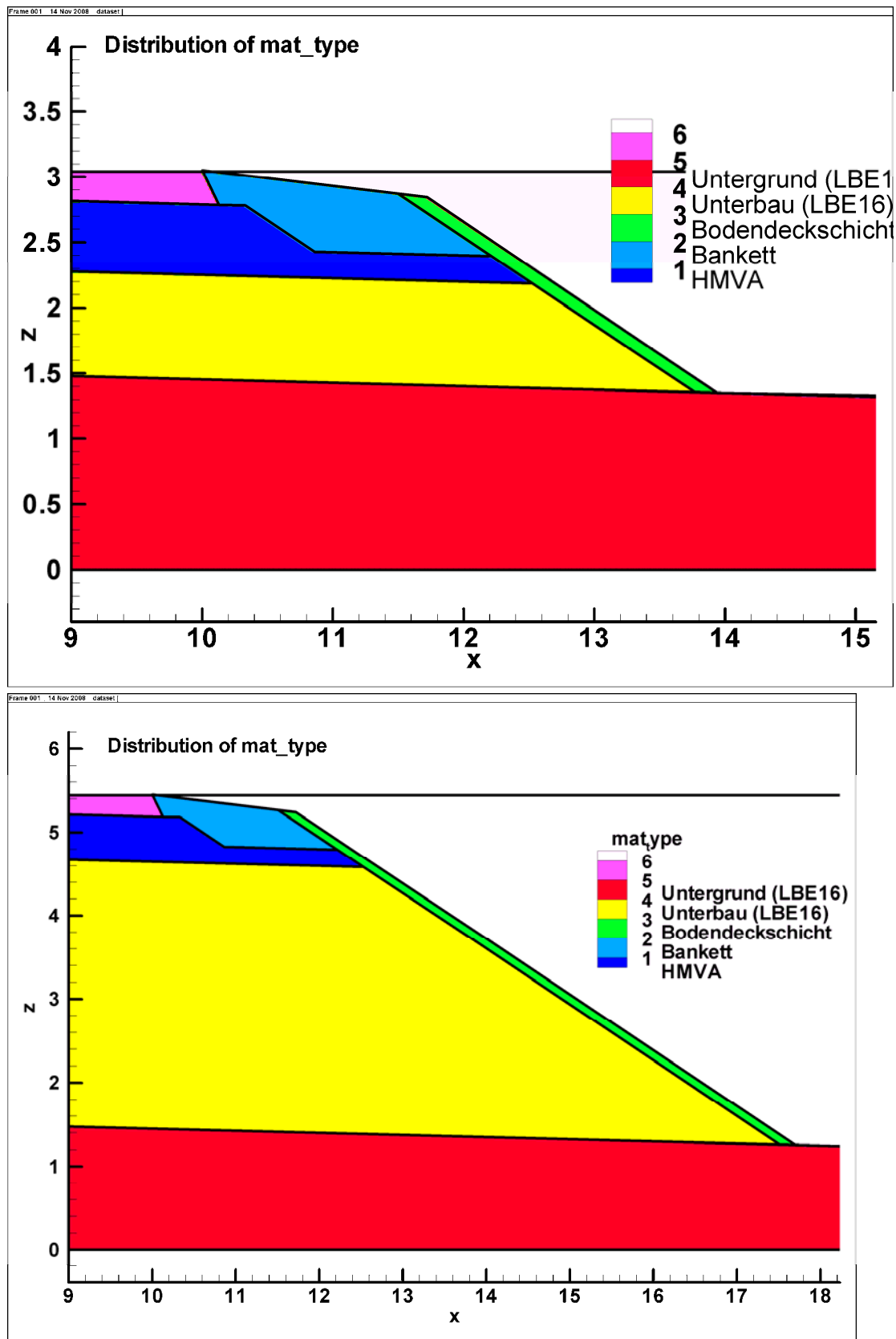


Abb. 3.2: Modellgeometrie und Verteilung der Materialtypen für das Straßendammsszenario I „niedriger Straßendamm“ (oben) und II „hoher Straßendamm“ (unten, Material- und Hydraulikparameter siehe Tab. 3.2).

Abbildung 3.3 zeigt Gesamtansichten der Straßendämme ab der Symmetrieachse. Zur detaillierten Dokumentation der in den beide Modellszenarien verwendeten Geometrien sind die errechneten Geometriepunkte eingezeichnet und in Tabelle 3.3 die Koordinaten der Geometrie-Punkte aufgelistet. Die Asphaltdeckschicht (Straßenbelag) wird als “no flow“-Randbedingungen im Modell berücksichtigt. Die Neigung der Asphaltdeckschicht ist hier allerdings nicht vollständig dargestellt, da sie aufgrund ihrer Undurchlässigkeit ohne Relevanz ist (Schicht Nr. 6 in der Farbe rosa: Auch die Oberfläche ist geneigt und zieht sich in gleich bleibender Mächtigkeit von 0,26 m vom linken Modellrand $X = 0$ m bis $X = 10$ m). Der Neigungswinkel der Asphaltdecke von 2,5 % wird gemäß der Abflussermittlung als Eingabeparameter für das Modell berücksichtigt.

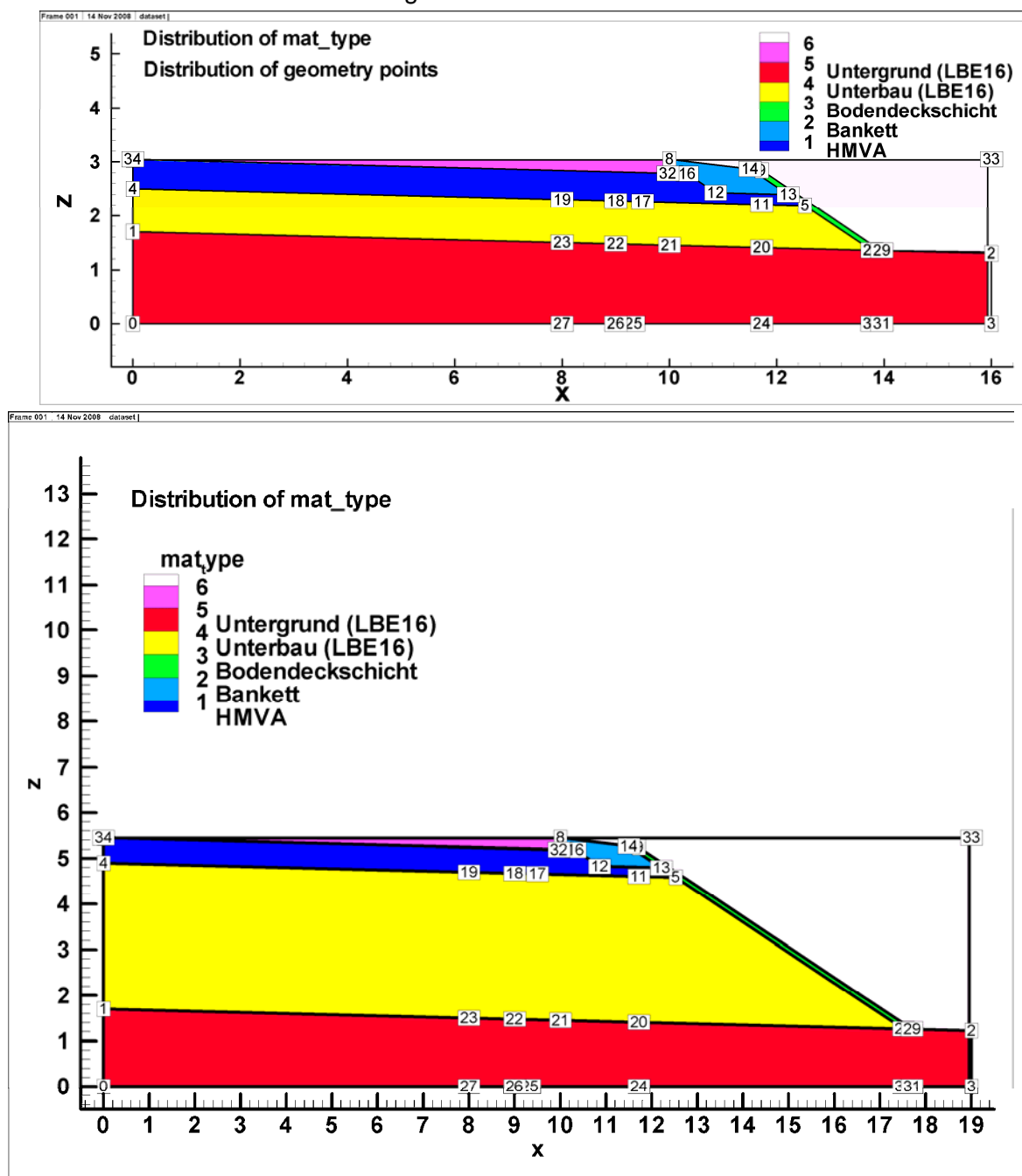


Abb. 3.3: Modellgeometrie, Verteilung der Materialtypen und Referenzpunkte für das Straßendamm-szenario I “niedriger Straßendamm” (oben) und II „hoher Straßendamm“ (unten, Material- und Hydraulikparameter siehe Tab. 3.2, Koordinaten der Geometriepunkte in Tabelle 3.3).

Tab. 3.3: Koordinaten der Referenzpunkte in Abbildungen 3.2 und 3.3 der Straßendammsszenarien I und II

Punkt Nr.	I “niedriger Straßendamm“		II “hoher Straßendamm“	
	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]
0	0	0	0	0
1	0	1,70	0	1,70
2	16,00	1,30	19,00	1,23
3	16,00	0	19,00	0
4	0	2,50	0	4,90
5	12,53	2,17	12,53	4,59
6	0	3,04	0	5,44
7	10,13	2,79	10,13	5,19
8	10,00	3,05	10,00	5,45
9	11,72	2,84	11,72	5,24
10	13,96	1,35	17,70	1,26
11	11,72	2,21	11,72	4,61
12	10,86	2,43	10,86	4,83
13	12,21	2,40	12,21	4,80
14	11,50	2,87	11,50	5,27
15	13,77	1,36	17,51	1,26
16	10,33	2,78	10,33	5,18
17	9,50	2,26	9,50	4,66
18	9,00	2,28	9,00	4,68
19	8,00	2,30	8,00	4,70
20	11,72	1,41	11,72	1,41
21	10,00	1,45	10,00	1,45
22	9,00	1,48	9,00	1,48
23	8,00	1,50	8,00	1,50
24	11,72	0	11,72	0
25	9,33	0	9,33	0
26	9,00	0	9,00	0
27	8,00	0	8,00	0
28	13,77	1,36	17,51	1,26
29	13,96	1,35	17,70	1,26
30	13,77	0	17,51	0
31	13,96	0	17,70	0
32	9,97	2,79	9,97	5,19
33	16,00	3,05	19,00	5,45
34	0	3,05	0	5,45

3.2.2.4 Niederschlag, Abflussbeiwert und Infiltration

Der Niederschlagswert von 859 mm/a der nach Susset & Leuchs (2008a) und Beyer et al. (2008) für sämtliche Szenarien im Ableitungskonzept zur ErsatzbaustoffV des BMU verwendet wurde, ist ein korrigierter Jahresmittelwert über ganz Deutschland. Wie die BaSt (Bürger et al., 2008) richtigerweise feststellt sind z.B. in Hochlagen der Gebirge die Niederschlagsmengen auf kleinen Flächen zum Teil extrem hoch (bis über 3000 mm/a). Auf anderen Flächen liegen die Niederschlagsmengen im Mittel wesentlich niedriger. Das heißt im Einzelfall ergeben sich günstigere aber auch ungünstigere Niederschlags- bzw. Sickerwasserraten, die die Stoffauswaschung und den Stofftransport in das Grundwasser beeinflussen können. Für ein allgemeines Regelwerk, wie die ErsatzbaustoffV wurden hier die Werte über die gesamte Fläche Deutschlands gemittelt. Um die Mehrzahl der Fälle abzudecken – wie vom VO-Geber verlangt – wurde dieser konstante mittlere Niederschlag für alle Einbauweisen der ErsatzbaustoffV in Abstimmung mit der UVAGE auch für den AE 2 EBV angesetzt. Ausgehend von diesem mittleren Niederschlag ergeben sich für die beiden Straßendamm-Modelle unter Berücksichtigung des durch die BaSt korrigierten Abflussbeiwertes von 0,7 folgende

gegenüber Susset & Leuchs (2008a) deutlich verringerte Infiltrationsraten, die für den AE 2 EBV umgesetzt wurden.

Straßendammszenario I "niedriger Straßendamm", Höhe = 1,6 m:

Bei der gleichmäßigen Verteilung von 859 mm/a auf 10 m Straßenbreite x Abflussbeiwert von 0,7, umverteilt auf die Breite des Bankett- und Böschungsbereichs von 3,96 m und abzüglich 575 mm/a Evapotranspiration (auf der Fläche Bankett + Böschung) resultiert eine gleichmäßige Infiltrationsrate entlang Bankett und Böschung von 1803 mm/a.

Durch Mittelung der Infiltration über die Bauwerksbreite des flachen Straßendamms von 16 m resultiert eine mittlere Sickerwasserrate unterhalb des Bauwerks von 21 L/Tag oder 486 L/m²/Jahr bzw. mm/Jahr.

Straßendammszenario II "hoher Straßendamm, Höhe = 4,0 m:

Bei der gleichmäßigen Verteilung von 859 mm/a auf 10 m Straße x Abflussbeiwert 0,7, umverteilt auf die Breite des Bankett- + Böschungsbereich von 7,7 m, abzüglich 575 mm/a Evapotranspiration (auf der Fläche Bankett + Böschung) resultiert eine gleichmäßige Infiltrationsrate entlang Bankett und Böschung von 1065 mm/a.

Durch Mittelung der Infiltration über die Bauwerksbreite des flachen Straßendamms von 19 m resultiert eine mittlere Sickerwasserrate unterhalb des Bauwerks von 24 L/Tag oder 453 L/m²/Jahr bzw. mm/Jahr.

Die mittleren Sickerwasserraten unterhalb der Bauwerke gehen gemäß Fachkonzept (Susset & Leuchs, 2008a) in die Transportberechnung ein (Berechnung des Rückhalts und ggf. des Abbaus von Schadstoffen für die Bodenskategorien "günstig-Sand" bzw. „günstig-Lehm/Schluff/Ton“, vgl. Kapitel 4.1.4.1 Teil I dieser Bericht und Ergebnisse in 4.1.3 Teil II dieser Bericht). Die gleichmäßige Infiltrationsrate im Böschungsbereich geht in die Berechnung der ME von Salzen mittels der Abklingfunktionen ein (vgl. Kapitel 4.1.3.5, Teil I und Ergebnisse 4.2.3 Teil II dieser Bericht).

3.2.3 Simulationsergebnisse

Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 3.4 für die Durchströmungssituation des Straßendammszenarios I "niedriger Straßendamm" im stationären Zustand die unterschiedlichen straßenbautechnisch relevanten Schichten und Linien 1 - 3 eingezeichnet, die die Schichtgrenzen kennzeichnen.

Zur Beantwortung der Fragestellung, in welchen Bereichen mit welchen gemittelten Sickerwasserraten und Sickerwassermengen die unterschiedlichen Schichten durchströmt werden, wurden Abflussprofile entlang der Schichtgrenzen erstellt und die Darcy-Geschwindigkeiten aus dem Modellergebnis im stationären Zustand bilanziert. Dazu werden die orts-spezifischen, vertikalen Fließgeschwindigkeiten v_z [m s⁻¹] entlang verschiedener Grenzlinien aus dem Modell in Excel ausgelesen und aufsummiert. Anhand der orts-spezifischen, seitlichen horizontalen Fließgeschwindigkeiten v_x [m s⁻¹] kann untersucht werden zu welchem Anteil die einzelne Schicht durchströmt oder umströmt wird (vgl. Abflussprofile in Kapitel 3.2.3.1).

Linie 1 bezeichnet die Grenze zwischen Schottertragschicht (STS) und Frostschutzschicht (FSS). Der Abfluss bezieht sich also auf die Durchströmung der STS. Diese separate Betrachtung der STS erfolgte im Konzept Susset & Leuchs (2008a) bisher nicht. Sie wurde eingeführt um eine gesonderte Regelung der STS in AE 2 EBV zu ermöglichen (Ergänzung der Einbautabellen durch Bauweisen 11a (STS) und 11b (FSS)). Linie 2 bezeichnet die Grenze zwischen FSS und Unterbau, entspricht also dem Planum. Hier kann auch der ortsspezifische Abfluss entlang der FSS unterhalb des Banketts ermittelt werden. Linie 3 bezeichnet die Grenze zwischen Unterbau und Untergrund. Hier können die Sickerwasserraten entlang der gesamten Bauwerksbreite am Übergang zum Untergrund ermittelt werden.

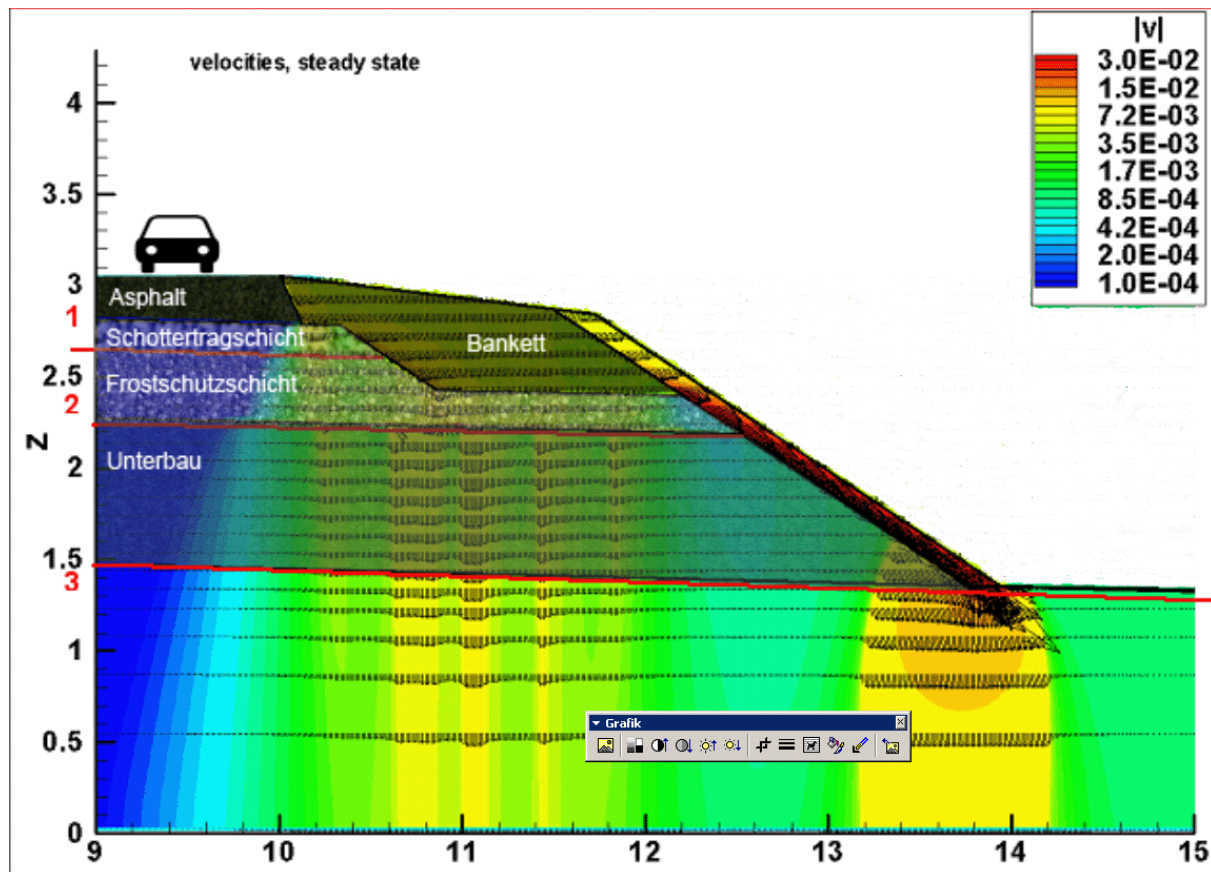


Abb. 3.4: Skizze der straßenbautechnisch relevanten Einbauschichten im Böschungsbereich von Straßendammsszenario I „niedriger Straßendamm“ und Profillinien (Linie 1: Grenze zwischen Schottertragschicht und Frostschutzschicht, Linie 2: Grenze zwischen Frostschutzschicht und Unterbau (= Planum), Linie 3: Grenze zwischen Unterbau und Untergrund); V: vertikale Sickerwassergeschwindigkeiten in m d^{-1} .

3.2.3.1 Abflussprofile MIN3P

Abbildungen 3.5 und 3.6 zeigen exemplarisch die Abflussprofile entlang der Linie 1 (Schichtgrenze zwischen STS und FSS) und 3 (Schichtgrenze zwischen Unterbau und Unterkante) für das Straßendammsszenario II „hoher Straßendamm“ im Böschungsbereich.

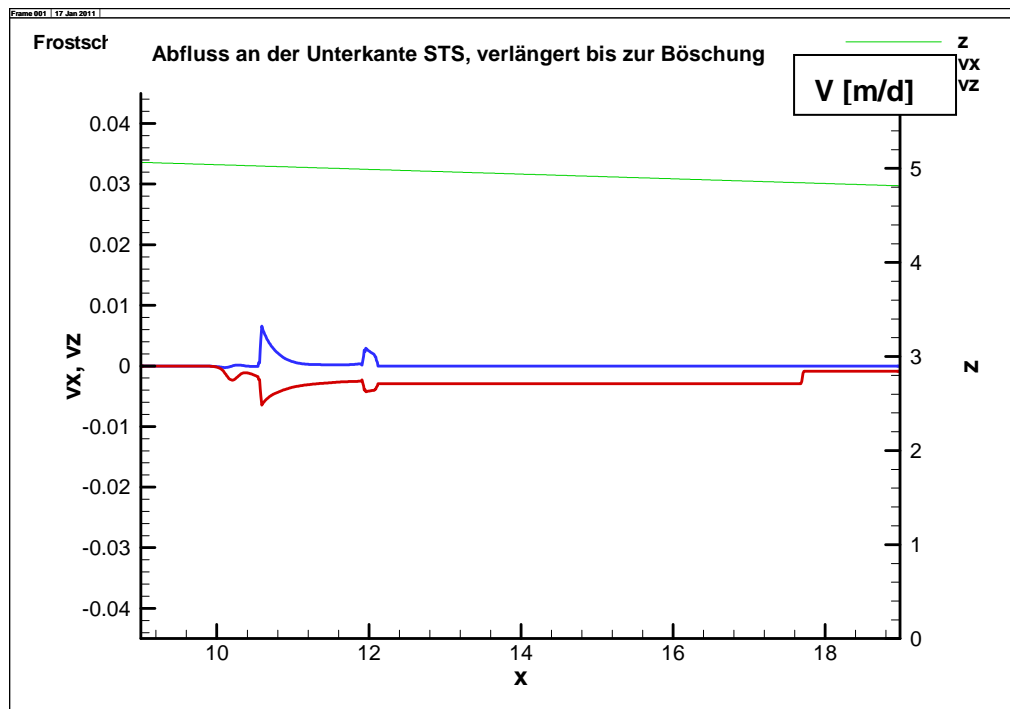


Abb. 3. 5: Abflussprofile im Böschungsbereich von Straßendammsszenario II: „hoher Straßendamm“ – Blaue Linien: Abflussprofil entlang der Linie 1 Grenze zwischen Schottertragschicht und Frostschuttschicht (vz: vertikale Darcy-Geschwindigkeiten), rote Linien: seitliche Abflüsse (vx: horizontale Darcy-Geschwindigkeiten), grüne Linie: Tiefen-Verlauf der Unterkante der Schottertragschicht (vgl. Abb. 3.4).

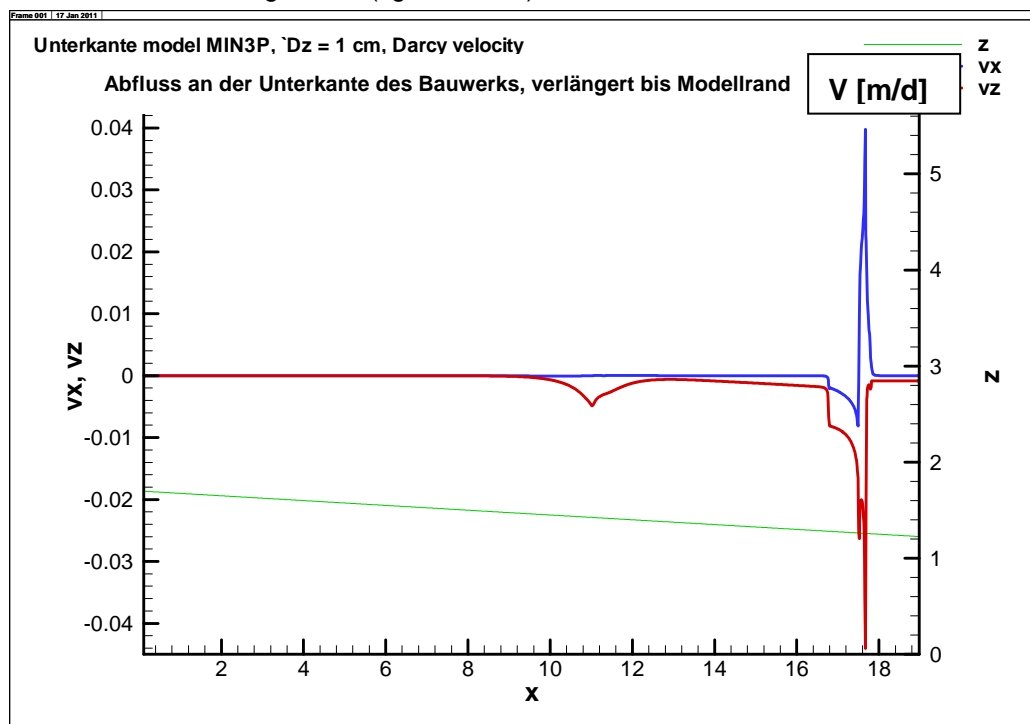


Abb. 3.6: Abflussprofile im Böschungsbereich von Straßendammsszenario II: „hoher Straßendamm“ (Geometriepunkte 23 und 29, Tab. 3.3) – Blaue Linien: Abflussprofil entlang der Schichtgrenzlinie 3 zwischen Unterbau und Untergrund, Unterkante Bauwerk (vz: vertikale Darcy-Geschwindigkeiten), rote Linien: seitliche Abflüsse (vx: horizontale Darcy-Geschwindigkeiten), grüne Linie: Tiefen-Verlauf der Unterkante der Frostschuttschicht (vgl. Abb. 3.4).

3.2.3.2 Graphische Darstellung der Durchströmung - Verteilung von Geschwindigkeitsvektoren aus MIN3P

In den Abbildungen 3.7 und 8 ist die Durchströmung anhand von Geschwindigkeitsvektoren im stationären Zustand und für eine Gitter-Auflösung von 1 cm vertikal und 1,5 cm horizontal visualisiert. Zur Veranschaulichung wurden die Farbskalierungen optimiert und neben Vektoren der Darcy-Geschwindigkeit [m/d] zusätzlich Beträge der Darcy-Geschwindigkeit [m/d] als farbige Kontur auf Basis einer Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d und Potential-Linien des hydraulischen Potentials h [m] dargestellt. Hoher Durchfluss ist rot gefärbt, niedriger Durchfluss blau gefärbt.

Die Abbildungen verdeutlichen die Durchströmungsunterschiede entlang der Schichtgrenzen. Das Bankett wird erwartungsgemäß und dem Zweck entsprechend stark durchströmt. Der Hauptanteil der Sickerwassermengen wird jedoch seitlich über den Oberboden und den Böschungsfuß abgeführt, ohne mit dem MEB in der STS und FSS und ggf. im Unterbau in Kontakt zu kommen. Hierbei handelt es sich also um unkontaminiertes Sickerwasser, das über die Bauwerksbreite gemittelt zu einer Verdünnung von Stoffkonzentrationen beiträgt. Im Oberboden und Böschungsfuß finden sich folglich die höchsten Fließgeschwindigkeiten (rötlicher Farben). Ein kleinerer Anteil des Sickerwassers erreicht die straßenbau-technischen Schichten im Bankett und Böschungsbereich, in welchen MEB verbaut werden. Der Hauptteil des Sickerwassers wird entlang der Schichtgrenze STS/Bankett über FSS und Unterbau abgeführt. Nur relativ geringe Anteile durchfließen die ca. 15 cm mächtige und zur Seite auskeilende STS-Zunge. Die über der STS abgeleiteten Sickerwassermengen durchsickern ungleichmäßig den zur Seite ausdünnenden noch ca. 20 cm mächtigen Bereich der FSS (Frostschutzzunge unterhalb des Banketts). Der Sickerwasseranteil, der nicht über den Oberboden/Böschungsfuß abgeleitet werden kann, durchströmt vollständig den Unterbau. Der Unterbau wird dabei relativ gleichmäßig und hauptsächlich im Bereich unterhalb des Banketts durchströmt. Auch im Bereich des Böschungsfußes durchfließen geringe Sickerwassermengenanteile den Unterbau. Durch die Geometrie des hohen Straßendamms verbessert sich das Verhältnis zwischen nicht durchströmten Bereichen des Ober- und Unterbaus und durchströmten Bereichen, infolge der breiteren Aufstandfläche im Bankett und Böschungsbereich.

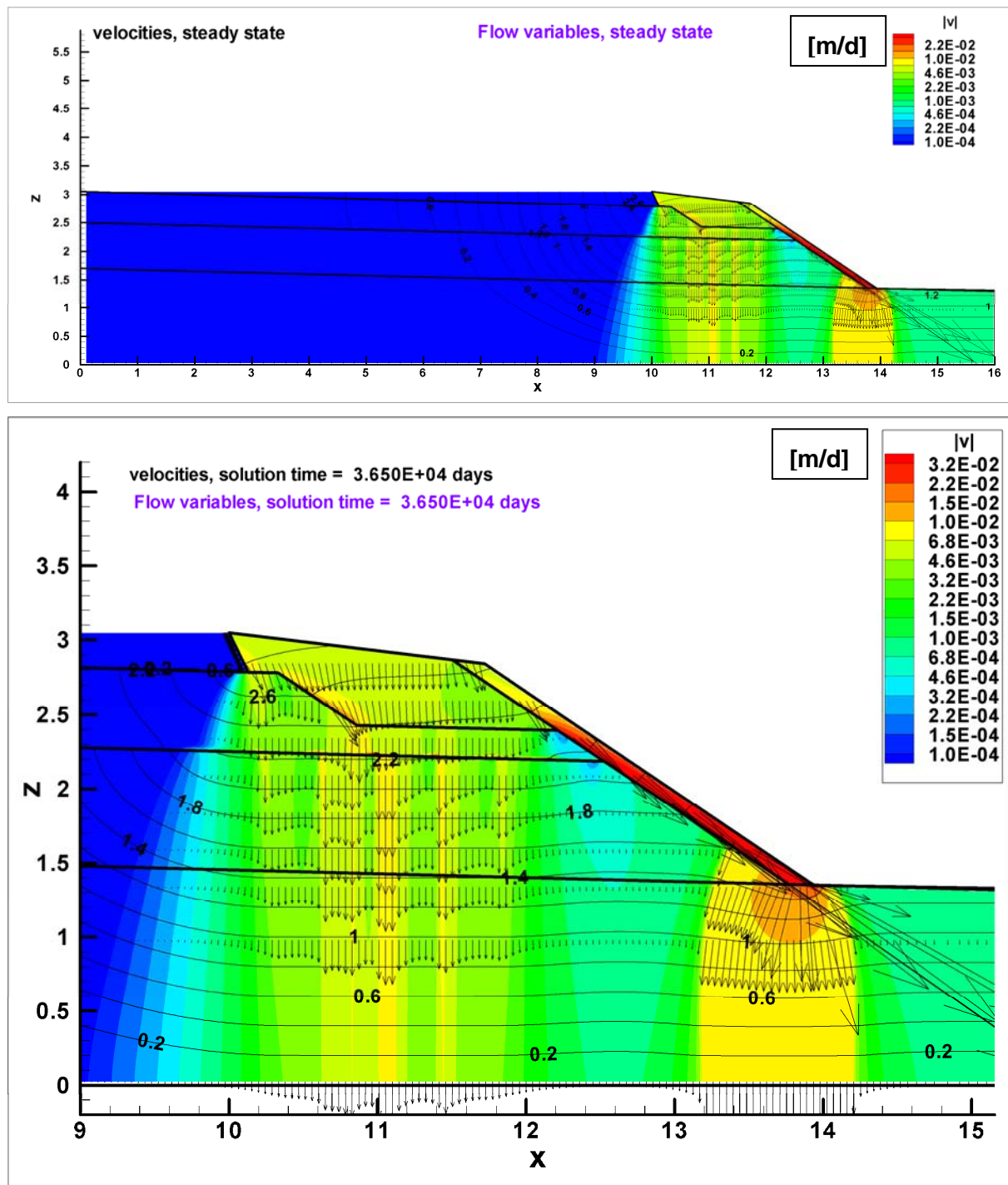


Abb. 3.7: Mit MIN3P berechnete Fließgeschwindigkeiten, Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung in der Gesamtansicht ab Symmetrieachse (oben) und im Böschungsbereich (Ausschnitt, unten) von Straßendammsszenario I "niedriger Straßendamm".

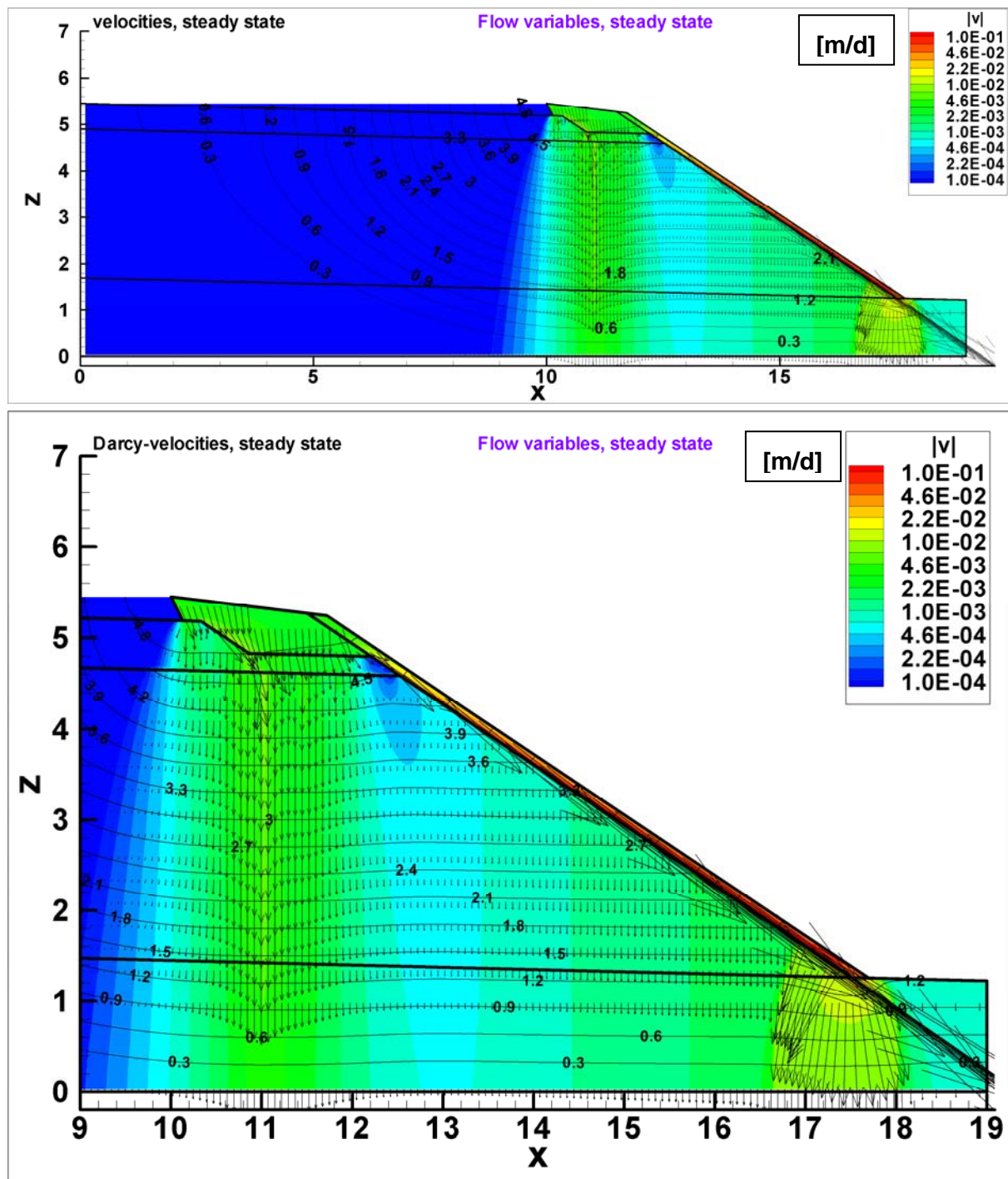


Abb. 3.8 Mit MIN3P berechnete Sickerwasserraten, bzw. Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung in der Gesamtansicht ab Symmetrieachse (oben) und im Böschungsbereich (Ausschnitt, unten) von Straßendammsszenario I "hoher Straßendamm".

3.2.3.3 Graphische Darstellung der Wassersättigung aus MIN3P

Die Abbildungen 3.9-10 zeigen die Sättigungsgrade der einzelnen Schichten der Straßendämme im stationären Zustand. Die Anteile der Wassersättigung sind als farbige Kontur dargestellt (blau: 95%, rot: 5 %). Die Detailansicht verdeutlicht die hohe Wassersättigung im Bankett und Unterbau, während in der STS und FSS nur Sättigungen von 40 % - 70 % auftreten. Die Gesamtansicht verdeutlicht, dass die MEB unterhalb des Asphalts erwartungsgemäß und wie schon durch Beyer et al. (2008) berechnet praktisch trocken bleiben. Im Unterbau können durch Kapillareffekte dagegen Teilsättigungen bis zu 70 % bis weit in Richtung Bauwerksmitte, also auch unterhalb der wasserundurchlässigen Asphaltdecke auftreten.

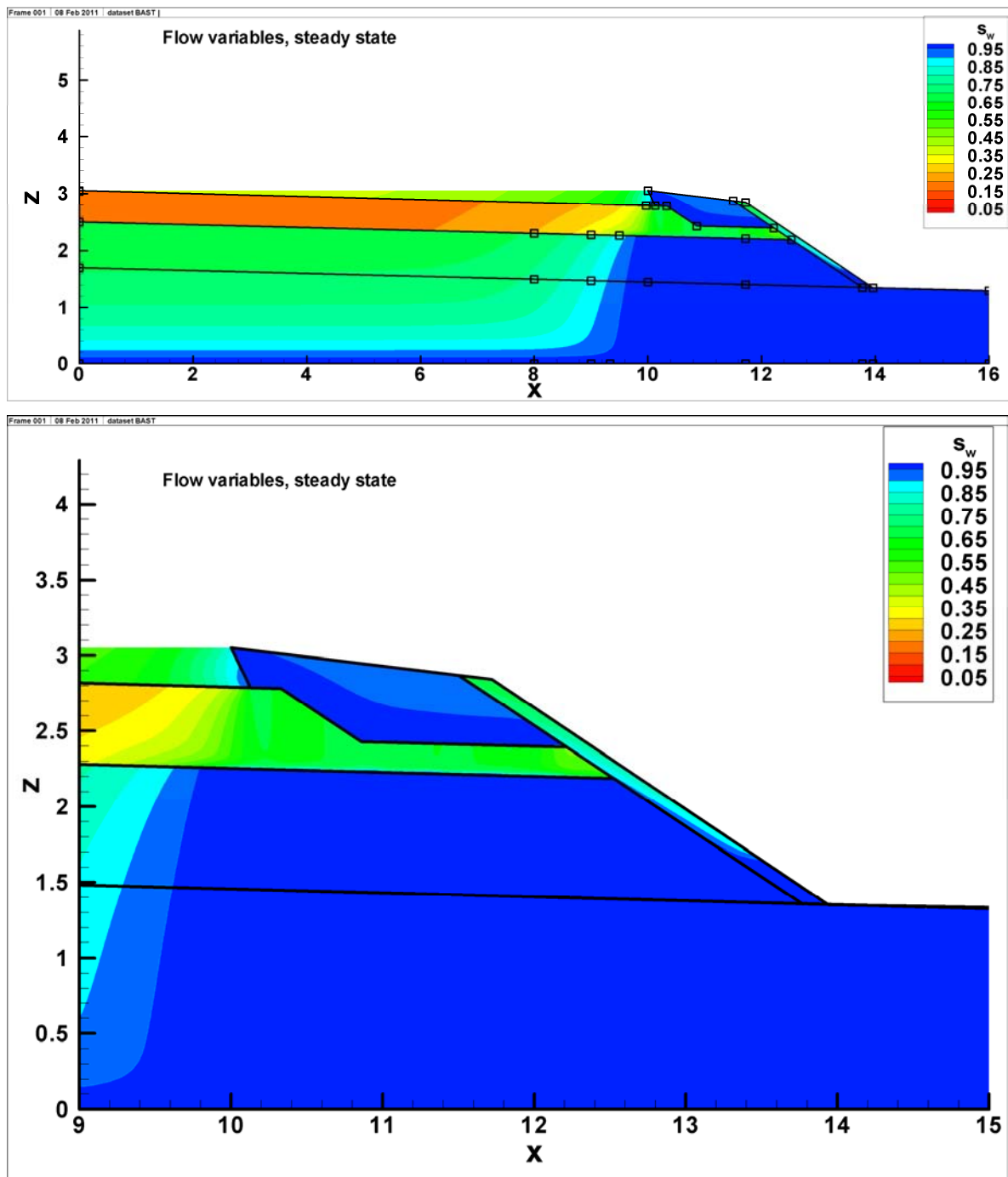


Abb. 3.9 Mit MIN 3P berechnete Wassersättigung in der Gesamtansicht ab Symmetrieachse (oben) und im Böschungsbereich (Ausschnitt, unten) von Szenario I "niedriger Straßendamm". Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: 95%, rot: 5 %).

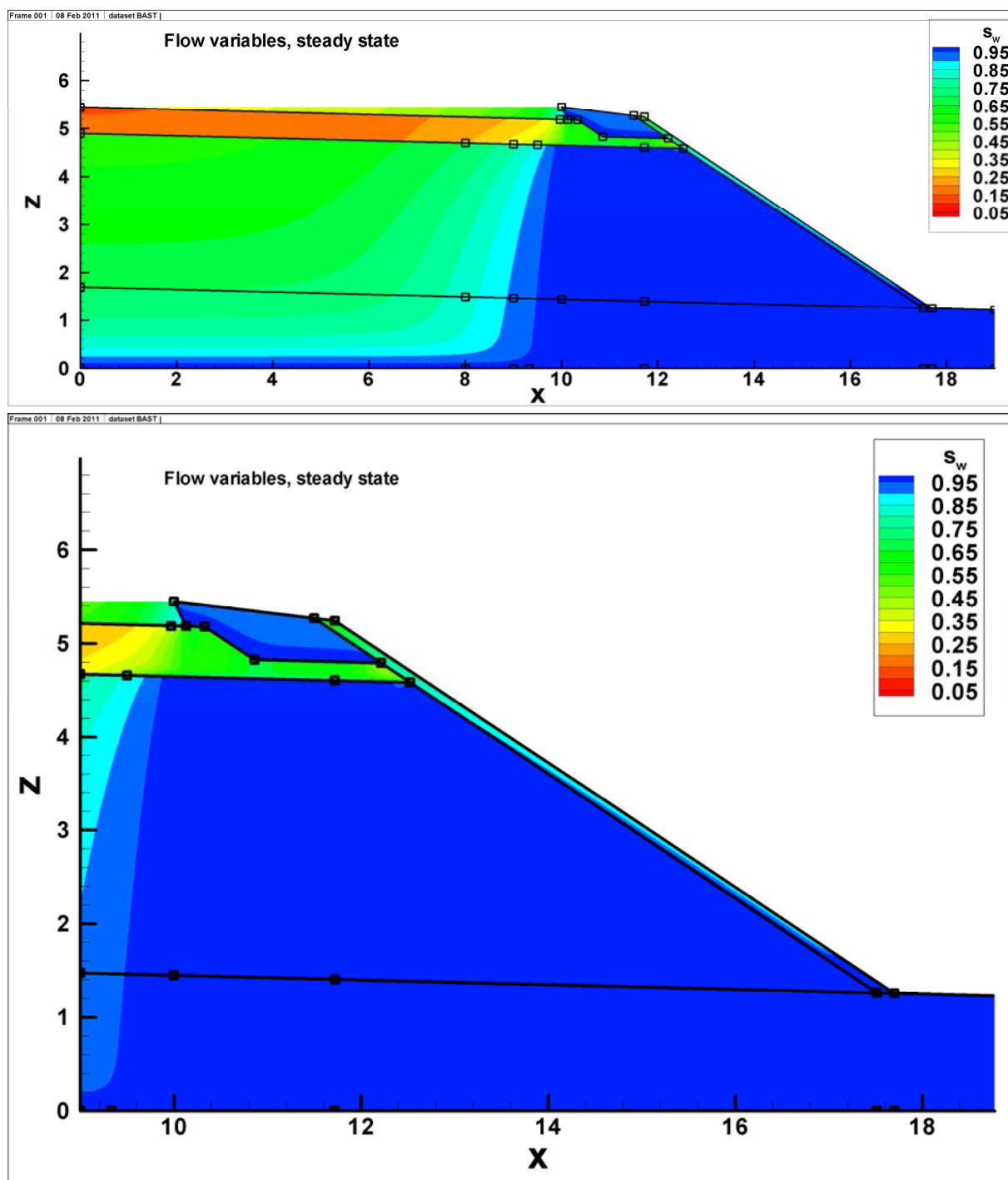


Abb. 3.10: Mit MIN3P berechnete Wassersättigung im Szenario II "hoher Straßendamm" in der Gesamtansicht ab Symmetrieachse (oben) und im Böschungsbereich (Ausschnitt unten). Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: 95%, rot: 5 %).

3.2.3.4 Modellverifizierung mit GeoSys am Beispiel des niedrigen Straßendamms

Um eine Vergleichbarkeit der MIN3P-Ergebnisse mit den bisherigen Modellierungen nach Beyer et al. (2008, umgesetzt in Susset & Leuchs, 2008a) zu gewährleisten, wurde das Straßendammsszenario I „niedriger Straßendamm“ vergleichend mit GeoSys modelliert (vgl. auch Kapitel 3.1.4).

In den Abbildungen 3.11 sind mit MIN3P und GeoSys berechnete Abflussprofile exemplarisch entlang der Schichtgrenze zwischen STS und FSS (vgl. Abb. 3.4, Linie 1) geplottet.

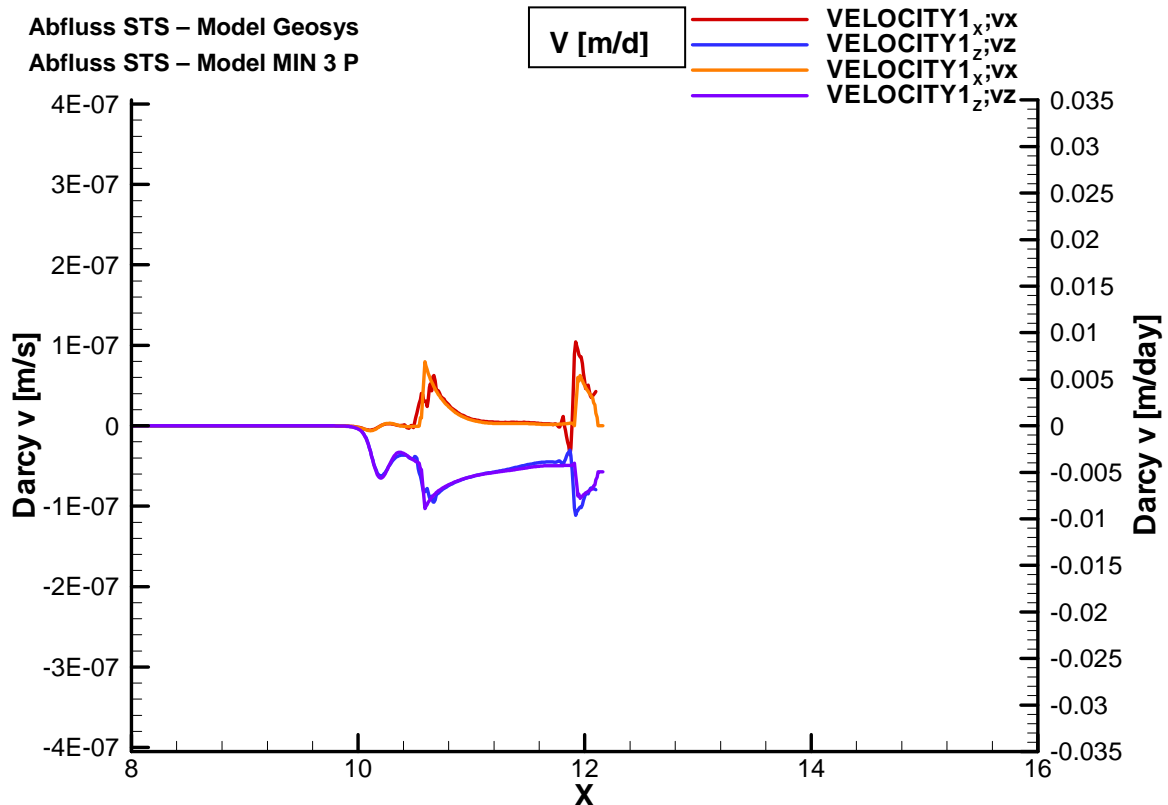


Abb. 3.11: Abflussprofile aus MIN3P versus GeoSys im Böschungsbereich von Straßendammsszenario I: „niedriger Straßendamm“– rote/blau Linien: Abflussprofil entlang der Linie 1, Schichtgrenze zwischen Schottertragschicht und Frostschutzschicht (vz: vertikale Darcy-Geschwindigkeiten), lila/orange Linien: seitliche Abflüsse (vx: horizontale Darcy-Geschwindigkeiten).

Die Modellergebnisse stimmen bis auf geringe Abweichungen in den Abflussprofilen unterhalb der Frostschutzschicht sehr gut überein.

Abbildung 3.12 zeigt die mit GeoSys simulierte Durchströmung anhand von Geschwindigkeitsvektoren und die Verteilung der Wassersättigung für den Böschungsbereich von Szenario I „niedriger Straßendamm“ für den instationären Zustand nach 91 Tagen (oben) und für den quasi-stationären Zustand nach 180 Tagen (unten). Abbildungen 3.13 zeigt die Verteilungen der Wassersättigung für den quasi stationären Zustand. Die in den Abbildungen 3.7 für MIN3P gezeigten Ergebnisse der Durchströmungsunterschiede werden durch GeoSys sehr gut bestätigt. Insbesondere die STS wird praktisch vollständig umströmt, der Hauptanteil der Gesamtinfiltrationsmenge wird wie bei MIN3P über den Oberboden und die Böschung in den Böschungsfuß abgeführt, ohne MEB mit entsprechenden Stofffreisetzungspotentialen zu durchfließen.

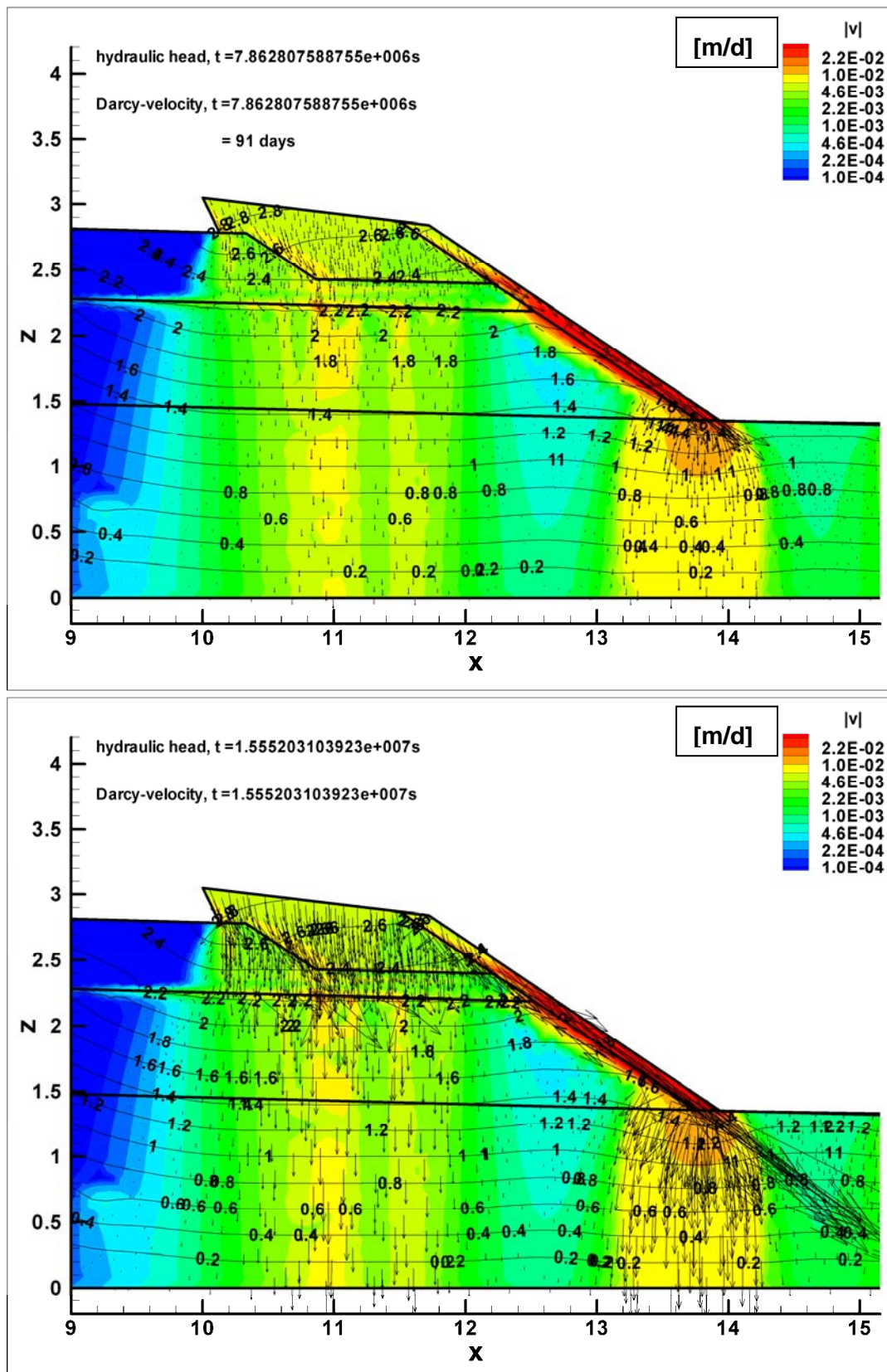


Abb. 3.12: Mit GeoSys berechnete Fließgeschwindigkeiten, Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,32 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung im Böschungsbereich von Szenario I niedriger Straßendamm für den instationären Zustand nach 91 Tagen (oben) und für den quasi-stationären Fall nach 180 Tagen (unten, identische Skalierungen wie in Abbildung 3.7 für MIN 3P).

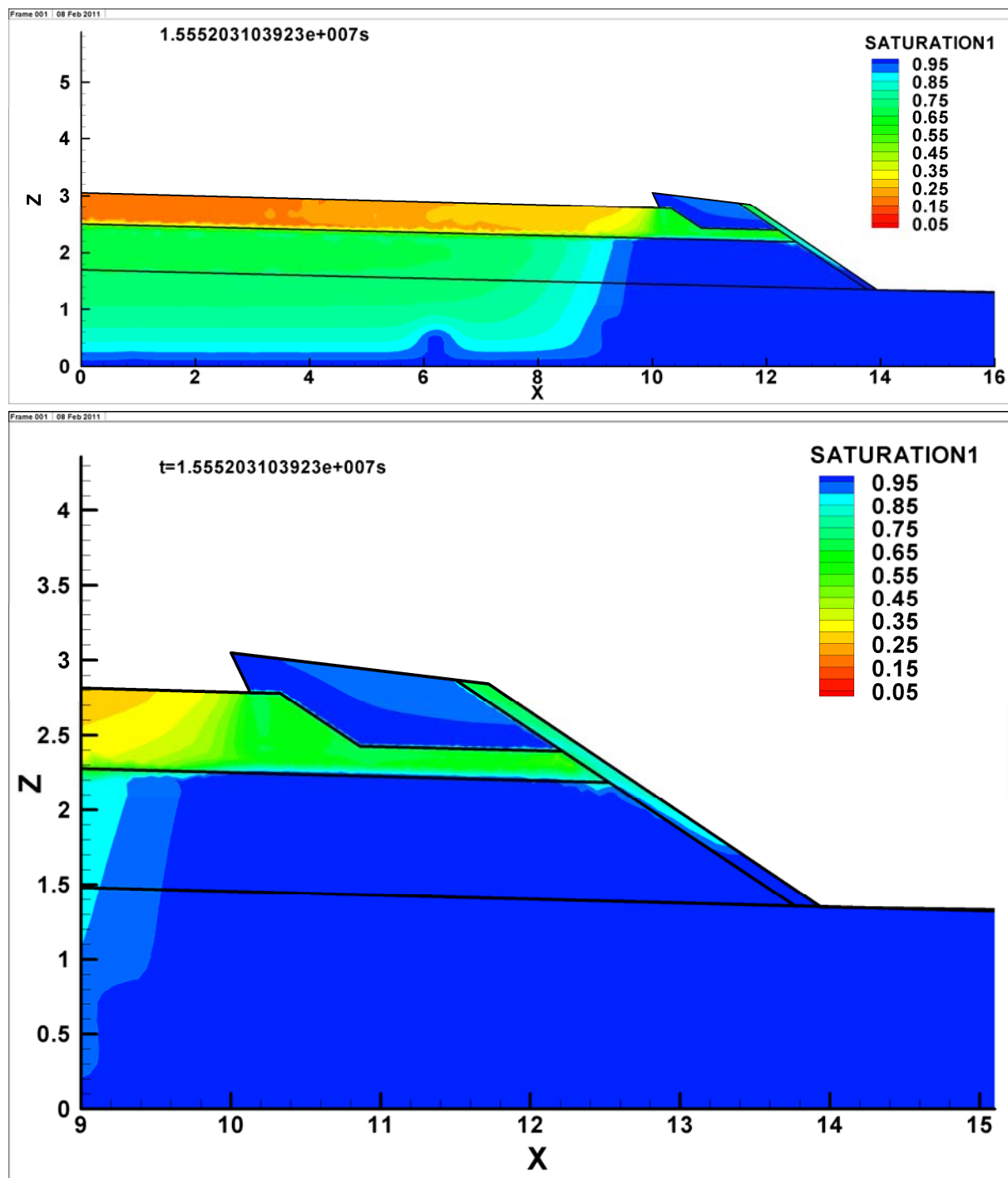


Abb. 3.13: Mit GeoSys berechnete Wassersättigung in der Gesamtansicht ab Symmetrieachse (oben) und im Böschungsbereich (Ausschnitt, unten) von Szenario I "niedriger Straßendamm". Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: $\geq 95\%$, rot: 5% Wassersättigung).

Nachfolgende Tabelle 3.4 vergleicht die mit den Modellen MIN3P und GeoSys entlang der Schichtgrenzlinien 1-3 bilanzierten mittleren Sickerwasserraten und Sickerwassermengen bezogen auf die jeweilige Schichtbreite.

Tab. 3.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse der Bilanzierung der Gesamtabflussmenge und der durchschnittlichen Sickerwasserrate in bewertungsrelevanten Schichten von MIN3P und GeoSys für das Straßendammsszenario I „niedriger Straßendamm“.

	MIN3P			GeoSys	
	Breite X [m]	Abfluss- mengen [L/a]	durchschnitt- liche Sicker- wasserraten [mm/a]	Abfluss- mengen [L/a]	durchschnitt- liche Sicker- wasserraten [mm/a]
Infiltration (nomi- nale Infiltration)	16	7836 (7776)	490 (486)	8247 (7776)	515 (486)
Schottertrag- schicht (STS)	10,6	764	72	777	73
Frostschutz- schicht (FSS)	12,5	3570	285	4740	379
Unterbau	13,0	3634	280	3643	280

Damit resultieren folgende Abweichungen in den Durchsickerungsraten von GeoSys bezogen auf MIN3P in [%] für die einzelnen Schichten:

- Schottertragschicht: + 2 %
- Frostschutzschicht: + 32 %
- Unterbau: - 0,03 %

Mit MIN3P wurden folglich i.d.R. geringere Sickerwassermengen bzw. –raten berechnet als mit GeoSys. Während die Abweichungen zwischen den beiden Modellen für die STS und den Unterbau marginal sind, finden sich deutliche Abweichungen an der Unterkante der Frostschutzschicht. Wichtig ist, dass die Gesamtbilanz der Sickerwassermenge entlang des unteren Modellrandes bei MIN3P mit + 0,7 % nur sehr geringfügig von der nominalen Infiltration (Niederschlag abzgl. Evapotranspiration) abweicht, während GeoSys mit 6 % etwas überschätzt. Diese Unterschiede sind angesichts der Unsicherheit in der Parametrisierung und der Annahmen zu Niederschlag, Abflußbeiwerten etc. marginal.

Die Überschätzung der Sickerwassermengen bzw. –raten durch GeoSys dürften auf Instationarität zurückgehen. GeoSys wies gegenüber MIN3P wesentlich erhöhte Rechenzeiten auf bis ein stationärer Zustand erreicht wird. Für den niedrigen Straßendamm wurde nach 180 Tagen (ca. 6 Wochen Rechenzeit) die Modellierung mit GeoSys abgebrochen. Mit MIN3P wurde dagegen nach nur einer Woche Rechenzeit ein stationärer Zustand erreicht.

3.2.3.5 Quantifizierung der Gesamtsickerwassermengen im Bauwerk, der Sickerwassermengenanteile an den Unterkanten verschiedener straßenbautechnisch relevanter Schichten und der resultierende Verdünnungsfaktoren

Wie oben beschrieben werden die durchschnittlichen Sickerwasserraten und -teilmengen entlang der Unterkanten von STS, FSS und Unterbau aus den Abflussprofilen von MIN3P im stationären Zustand ermittelt. Bei schräg verlaufenden Schichten wurde eine Interpolation durchgeführt. Entlang der Unterkante der Bauwerke können die Werte direkt aus der MIN3P-Wasserbilanz verwendet werden. Durch Bezug der Sickerwasserteilmengen in bestimmten Einbauschichten (STS, FSS etc.) auf die Sickerwassergesamtmenge, die sich aus der Infiltration (Kapitel 3.2.2.4) ergibt, können Verdünnungsfaktoren (VF) abgeleitet werden. Wie in Susset & Leuchs (2008a) beschrieben (vgl. auch Kapitel 4.1.3.4) wird durch den VF der offen liegende Bereich des Banketts und der Böschung berücksichtigt. Weiterhin kann nach Susset & Leuchs, (2008a) im Sinne einer Kleinräumigkeitsbetrachtung (vgl. GAP-Konzept, LAWA, 2002) bei teilgeschlossenen Bauwerken zusätzlich der durch die Asphaltdeckschicht abgedeckte Bereich in die Mittelung mit einbezogen werden. Dies gilt für die technische Bauweise niedriger Straßendamm der EBV (EBV-Nr. 11-13): „Tragschichten (FSS und STS) ohne Bindemittel unter gebundener Deckschicht, Bodenverbesserung unter gebundener Schicht und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Schicht“. Der für die Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten verwendete Faktor für den Quellterm ($F_{QT \text{ Verd.} + \text{Kleinräumig}}$) für diese Bauwerke ergibt sich dann nach Susset & Leuchs (2008a) wie folgt:

$$F_{QT \text{ Verd.} + \text{Kleinräumig}} = 1/[VF \times \text{Breite}_{\text{Bankett+Böschung}} / (\text{Breite}_{\text{Asphaltdecke}} + \text{Breite}_{\text{Bankett+Böschung}})] \quad (6)$$

Bei Bauwerken mit wasserdurchlässigen Deckschichten kann der Verdünnungsfaktor aus der Kleinräumigkeitsbetrachtung wie bei Susset & Leuchs (2008a) wegen der fehlenden Asphaltdecke nicht berücksichtigt werden. Dies gilt für die technische Bauweise hoher Straßendamm der EBV (EBV-Nr. 25-26): „Hinterfüllung von Bauwerken und Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden“ und für die in Kapitel 3.3 vorgestellten Bahndammmodelle. Im Falle der Ausbildung einer Kapillarsperre (Buchstabe „K“ bei den EBV-Bauweisen 25 und 26 in den Einbautabellen des AE der EBV) wird entsprechend nur der Verdünnungsfaktor aus der Teildurchströmung berücksichtigt. Hier gilt:

$$F_{QT \text{ Verd.}} = 1/VF \quad (7)$$

In den Tabellen 3.5 und 3.6 sind die Ergebnisse der Bilanzierungen der Sickerwassermengen, die für die Berechnungen relevanten Breiten der Schichten und die resultierenden Verdünnungsfaktoren für die einzelnen Einbauschichten in den beiden Straßendämmen aufgelistet. Die Sickerwassermenge an der Unterkante des Unterbaus wird wie bei Beyer et al. (2008) und umgesetzt in Susset & Leuchs (2008a) bis in den wenig durchströmten Bereich ca. in der Mitte des Böschungsbereichs bilanziert, um die Verdünnungseffekte durch das über den Böschungsfuß ablaufende unkontaminierte Sickerwasser berücksichtigen zu können. Dabei wird die geringfügige seitliche Durchströmung des Unterbaus direkt am Böschungsfuß vernachlässigt.

Die mittleren Sickerwasserraten bzw. Gesamtsickerwassermengen entlang der unteren Modellränder wurden wiederum zur Plausibilisierung des Modellergebnisses mit der nominellen Infiltration verglichen (Werte in Klammern in Tabellen 3.5 und 3.6). Die mit MIN3P berechneten Sickerwassermengen entlang der Bauwerksunterkante stimmen sehr gut mit der Infiltration überein.

Tab. 3. 5: Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Infiltration über das gesamte Bauwerk inklusive Böschungsfuß sowie der Abflussteilmengen und der durchschnittlichen Sickerwasserraten entlang der Unterkanten bewertungsrelevanter Schichten für Straßendammsszenario I „niedriger Damm“. Werte in Klammern: nominelle Infiltration (Kapitel 3.2.2.4). Bei der Berechnung des Faktors F_{QT} nach Gleichung 6 geht die Breite von Bankett + Böschung mit 3,96 m (vgl. Differenz der X-Koordinaten der Geometriepunkte 8 und 29 in Tab. 3.2 und Abb. 3.3) und der Asphaltdecke mit 10 m für den „niedrigen Straßendamm“ ein.

	Breite X [m]	Gesamtab- flussmenge [L/a]	durchschnittliche Sickerwasserrate [mm/a]	Verdünnungs- faktoren VF []	Faktor $F_{QT, Verd. +}$ Kleindr. []
Infiltration (nominelle Infiltration)	16	7836 (7776)	490 (486)		
Schottertragschicht (STS)	10,6	764	72	0,098	36,0
Frostschuttschicht (FSS)	12,5	3570	285	0,459	7,7
Unterbau	13,0	3634	280	0,467	7,6

Tab. 3. 6: Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Infiltration über das gesamte Bauwerk inklusive Böschungsfuß sowie der Abflussteilmengen und der durchschnittlichen Sickerwasserraten entlang der Unterkanten bewertungsrelevanter Schichten für Straßendammsszenario II „hoher Straßendamm“. Werte in Klammern: nominelle Infiltration (Kapitel 3.2.2.4).

	Breite X [m]	Gesamtab- flussmenge [L/a]	durchschnittliche Sickerwasserrate [mm/a]	Verdünnungs- faktor VF []	Faktor $F_{QT, Verd.}$ []
Infiltration (nominelle Infiltration)	19	8621 (8607)	454 (453)		
Schottertragschicht (STS)	10,6	381	36	0,044	22,7
Frostschuttschicht (FSS)	12,5	2062	165	0,240	4,2
Unterbau	14	2375	170	0,276	3,6

Für die auskeilende STS (vgl. Abb. 3.7) ergibt sich ein erheblicher Verdünnungseffekt, da 90,2 % (niedriger Damm) bzw. 95,5 % (hoher Damm) der Gesamtsickerwassermenge an der STS vorbeiströmen. Mit F_{QT} von 36,0 bis 22,7 resultieren folglich auch im ungünstigen Fall (keine Retardation) hohe maximal zulässige Quelltermkonzentrationen bzw. ME (Multiplikation der Bezugsmaßstäbe bzw. GFS mit F_{QT} , vgl. Kapitel 5).

Mehr als 50 % (niedriger Damm) bzw. 70 % (hoher Damm) der Gesamtsickerwassermenge strömen an der Frostschuttschicht und am Unterbau vorbei. Für den hohen Straßendamm ergeben sich F_{QT} von 3,6 - 4,2 und aufgrund der zusätzlichen Berücksichtigung der Kleinräumigkeit nach Susset & Leuchs (2008a) beim niedrigen Straßendamm mit F_{QT} von 7,6 bis 7,7 noch wesentlich höhere Faktoren.

3.2.4 Zusammenfassung der Eingangsgrößen für die weitere medianschutzbasierte Beurteilung und Kennzeichnung der Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)

Nachfolgende Tabelle 3.7 zeigt die aus den neuen Modellierungen der Straßendämme nach Kriterien der BaSt resultierenden Änderungen der bauwerksspezifischen Eingangsgrößen für die weitere Ableitung von ME zusammen mit den unveränderten Eingangsgrößen für alle in der EBV geregelten Bauweisen des Straßen-, Wege und Erdbaus nach Susset & Leuchs (2008a). Zur Veranschaulichung der Änderungen wurde die Originaltabelle aus dem UBA-Fachbericht Susset & Leuchs (2008a, Tabelle 3.6.1 auf Seite 72) herangezogen und die geänderten Werte markiert („alte“ Werte sind durchgestrichen dargestellt). Neu sind auch die

laufende Nummerierung der Einbauweisen entsprechend AE 2 EBV (AE 1 MantelIV, 2011) und die separate Betrachtung der STS und FSS, die bisher durch Susset & Leuchs (2008a) für den AE 1 EBV zusammengefasst unter der Bezeichnung ToB unter gebundener Deckschicht bewertet wurden. Die mittlere Sickerwasserrate entlang der Unterkante von technischen Bauwerken wird gemäß Fachkonzept als wesentliche Eingangsgröße für die Modellierung der Retardation- und / oder des Abbaus retardierbarer und / oder abbaubarer Stoffe verwendet (vgl. Kapitel 4 und 5 Teil II dieser Bericht). Wie im Kapitel 4.1.3.5 (Teil I dieser Bericht) erläutert, wurde für die Berechnung des Abklingverhaltens von Salzen in Abstimmung mit dem BMU und der UVAGE der BaST wie bereits bei Susset & Leuchs (2008a) vereinfachend die in Tabelle 3.7 genannten Gesamtinfiltrationsraten (Kapitel 3.2.2.4) angesetzt.

Tab. 3. 7: Bauwerksspezifische Sickerwasserraten und Faktoren nach Susset & Leuchs (2008a) und Weiterentwicklungen aufgrund der neuen Modellierungsergebnisse mit geänderten Randbedingungen nach Bürger et al. (2008). Dargestellt ist die Tabelle 3.6.1 aus Susset & Leuchs (2008a) mit Änderungen (rot markiert, „alte“ Werte durchgestrichen).

Einbauweisen		Modellierungsparameter			
Anhang 2.2 EBV (MantelV 2011)		Beurteilungszeit- raum für Salze, retardierbare/ abbaubare Stoffe []	Schicht- dicken [cm]	Sickerwas- serraten [mm/a]	Verdün- nungsfaktor en F_{QT} []
lfd. Nr. EBV	Technische Bauwerke (Straßen- Wege-, Erdbau)				
1-10	geschlossene Bauweisen	keine medienschutzbasierte Beurteilung nach Fachkonzept (vgl. 7)			
11a ¹	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	4, 200	50 15	2348 ³ 1803 ²	5,3 36,0
11b ¹	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	4, 200	50 35	2348 ³ 1803 ²	5,3 7,7
12 ¹	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	4, 200	50	2348 ³ 1803 ²	5,3 7,7
13 ¹	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	4, 200	100	2348 ³ 1803 ²	5,3 7,6
14	Dämme oder Wälle gemäß Bauweisen A-D nach MTSE sowie Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich in analoger Bauweise	keine medienschutzbasierte Beurteilung nach Fachkonzept (vgl. 7)			
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	4, 200	3	583 ³	
16	Deckschicht ohne Bindemittel	4, 200	6	583 ³	1
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	4, 200	50	583 ³	1
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	4, 200	50	313 ³	1
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	4, 200	100	583 ³	1
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	4, 200	100	313 ³	1
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	4, 200	100	583 ³	1
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	4, 200	100	313 ³	1
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	4, 200	300	583 ³	1
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	4, 200	300	313 ³	1
25 (K)	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden (Kapillarsperre)	4, 200	400	2348 ³ 1065 ⁴	1 (3,1 4,2)
26 (K)	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden (Kapillarsperre)	4, 200	400	2348 ³ 1065 ⁴	1 (3,1 4,2)
27 (M)	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden (Kapillarsperre)	4, 200	400	313 ³	1 (1,7)

¹Bei diesen nach RuA-StB (E 2004) wasserundurchlässigen Bauweisen wird nach Fachkonzept die Teildurchströmung von MEB im Straßenseitenbereich (Bankett- und Böschung) bewertet („Zwickelbetrachtung“).

²Die Durchströmungsmodellierung ergibt unter Berücksichtigung der neuen Randbedingungen der BaSt eine entlang der Bauwerksunterkante gemittelte Sickerwasserrate in der unterliegenden Transportzone von ~~800 mm/a~~ 486 mm/a. Diese wird für die Transport- und Anreicherungsrechnungen (Kapitel 4 Teil II) herangezogen.

³Aufgrund der in Kapitel 2.4 im UBA-Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a) geführten Diskussionen um die Sickerfähigkeit von Pflaster- und Plattenbelägen in Abhängigkeit von Liegezeit und Verkehrsbelastung wird bei Pflasterbelägen eine geringere Sickerwasserrate (313 mm/a) als bei Plattenbelägen (583 mm/a) angenommen.

Diese Herangehensweise wurde im Rahmen der UVAGE bestätigt und für AE 2 EBV empfohlen – keine Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a).

⁴Die Durchströmungsmodellierung ergibt unter Berücksichtigung der neuen Randbedingungen der BaSt eine entlang der Bauwerksunterkante gemittelte Sickerwasserrate in der unterliegenden Transportzone von ~~800 mm/a~~ **453 mm/a**. Diese wird für die Transport- und Anreicherungsrechnungen (Kapitel 4 Teil II) herangezogen.

3.3 Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG

3.3.1 Modellinputkatalog der Bahnmodelle

Die Aufstellung des Inputkatalogs für die Parametrisierung der Bahnmodelle der DB erfolgte in enger fachlicher Abstimmung mit der DB und auf der Grundlage der durch die DB zur Verfügung gestellten Informationen. Weiter wurden die Ergebnisse der UVAGE (BaSt-Bericht "Modellannahmen für Straßenbauwerke", Bürger et al., 2008) berücksichtigt. Neben den in Kapitel 3.1.5 genannten Unsicherheiten bei der Ableitung von van Genuchten Parametern für die grobkörnigen mineralischen Ersatzbaustoffe bestehen auch Unsicherheiten bei der Abschätzung von Abflussbeiwerten. Der hier verwendete Abflussbeiwert wurde durch die DB gegenüber dem BMU auf der Grundlage von DB-eigenen Gutachten und Literaturverweisen plausibilisiert, durch das BMU anerkannt und konnte dann in die Modellsimulationen übernommen werden. Für eine verbesserte Abschätzung von van Genuchten Parametern und Abflussbeiwerten werden In-situ-Messergebnisse und Labormessergebnisse benötigt (vgl. Kapitel 3.1.5).

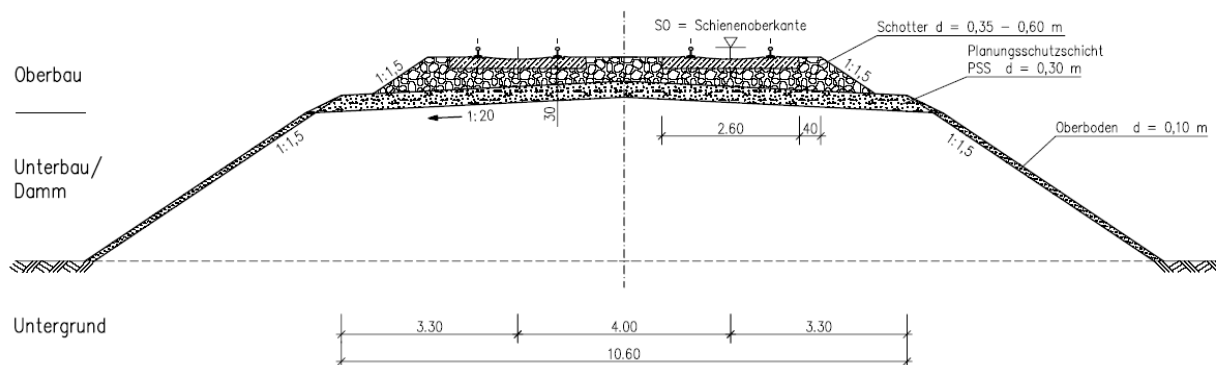
Die Endabstimmung des Inputkatalogs mit dem BMU erfolgte mit Schreiben vom 29.01.2009 durch die DB Netz AG.

3.3.1.1 Geometrie der Bahnbauwerke

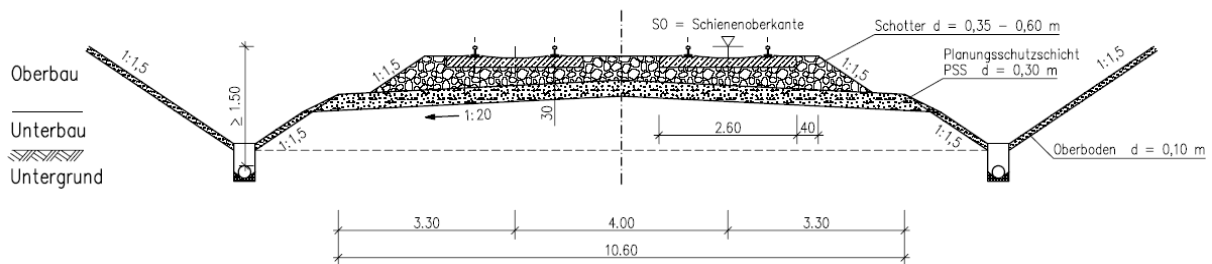
Die DB hat dem Projektnehmer die in Abbildung 3.14 dargestellten technischen Zeichnungen für die drei zu modellierenden DB-Bahnbauweisen zur Verfügung gestellt: I: Standard Damm; II: Standard Einschnitt, III: Bauweise H, IV: Bauweise H modifiziert. Die Geometrien wurden entsprechend den technischen Zeichnungen exakt im numerischen Modell umgesetzt (vgl. Kapitel 3.3.1.3). Zwischenzeitlich hat die DB dem BMU einen Entwurf der DB-Richtlinie 836.4108 über "Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke; Bauweisen für den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe", vom Oktober 2010 vorgelegt. Damit wurde der Forderung des BMU nachgekommen für die ErsatzbaustoffV eine zitierbare Quelle mit den technischen Anforderungen der in der EBV zu regelnden Bahnbauweisen zu schaffen. Die Richtlinie ist noch nicht veröffentlicht und wird laut DB in Kraft gesetzt, sobald die Ersatzbaustoffverordnung in Kraft tritt und das Eisenbahn-Bundesamt zugestimmt hat. Die in Abbildung 3.14 skizzierten Bauweisen sind im Entwurf der DB-Richtlinie 836.4108 unter Begriffsbestimmungen (6) „Standard Damm“, (7) „Standard Einschnitt“, (8) „Bauweise H“ und (9) „Bauweise H modifiziert“ entsprechend aufgeführt und in den Bildern 1 - 4 der Richtlinie technisch gezeichnet.

Technische Zeichnungen

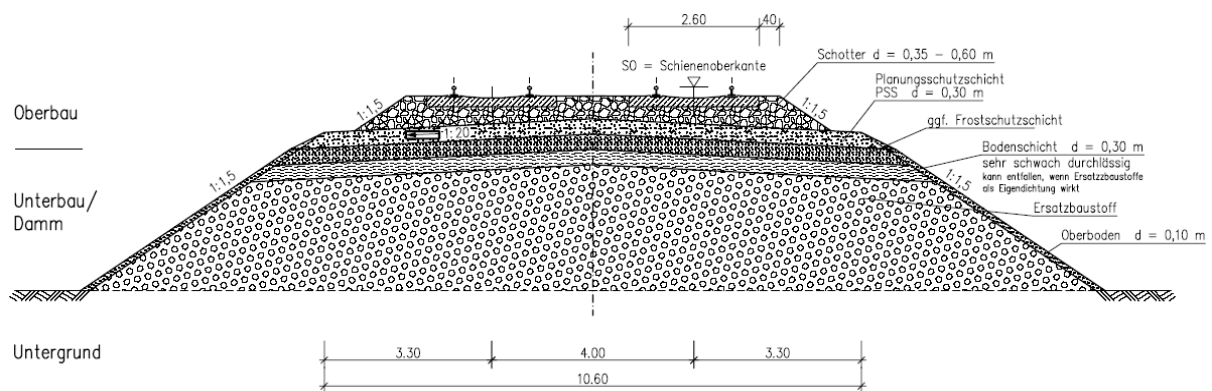
I Standard Damm



II Standard Einschnitt



III Bauweise H



IV Bauweise H modifiziert

Streckenquerschnitt für Bodenmaterial besondere Bauweise H

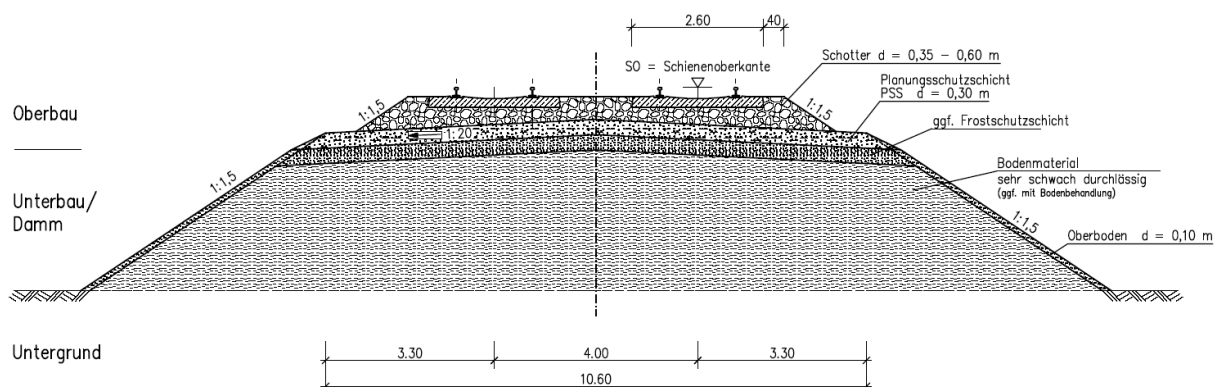


Abb. 3.14: Technische Zeichnungen von Streckenquerschnitten der Bahnbauweisen I: "Standard Damm", II: "Standard Einschnitt", III: Bauweise H und IV: Bauweise H modifiziert (durch DB am 24.10.2008 und am 19.01.2010 per mail z. VfG. gestellt, zwischenzeitlich in den Bildern 1-4 der Entwurfsfassung der DB-Richtlinie 836.4108 vom Oktober 2010 integriert).

Schichtmächtigkeiten

Die Schichtmächtigkeiten wurden durch die DB mit E-Mail vom 24.10. und 19.12.2008 wie folgt konkretisiert.

Für alle Bahnbauweisen gilt:

Mächtigkeiten der Oberbodendeckschichten im Böschungsbereich: 0,1 m

Standard Damm:

Mächtigkeit des Unterbaus in der Mitte (Symmetrieachse): 2,5 m

Mächtigkeit der Planumsschutzschicht (KG1) im Oberbau: 0,3 m

Mächtigkeit des Schotters im Oberbau: 0,35 bis 0,6 m (spielt im Modell keine Rolle)

Standard Einschnitt:

Mächtigkeit des Unterbaus in der Mitte (Symmetrieachse): 1,7 m bis 2,5. Nach Rücksprache mit der DB (E-Mail der DB vom 19.12.2008) wurde eine Mächtigkeit von 1,7 m für die Modellierung angesetzt.

Mächtigkeit der Planumsschutzschicht (KG1) im Oberbau: 0,3 m

Mächtigkeit des Schotters im Oberbau: 0,35 bis 0,6 m (spielt im Modell keine Rolle)

Bauweise H und Bauweise H modifiziert :

Mächtigkeit der Bodenschicht im Unterbau: 0,3 m

Mächtigkeit der Frostschutzschicht (KG 2) im Oberbau: 0,3 m

Mächtigkeit der Planumsschutzschicht (KG1) im Oberbau bei Bauweise H: 0,3 m

Mächtigkeit der Schotters im Oberbau: 0,35 bis 0,6 m (spielt im Modell keine Rolle)

Bauweise H:

Mächtigkeit des Unterbaus in der Mitte (Symmetrieachse): 2,5 m

Bauweise H modifiziert:

Mächtigkeit des Unterbaus in der Mitte (Symmetrieachse): 2,8 m

3.3.1.2 Material- und Hydraulikparameter

Bei der Parametrisierung der hydraulischen Kenngrößen und Dichten der MEB in den einzelnen eisenbahnbautechnischen Schichten der Bahnkörper wurden die durch DB mit E-Mail vom 15.07.2008 z. Vfg. gestellten Erläuterungstabellen berücksichtigt. Die Parametrisierung der im Nachgang der Gutachterbesprechung vom 11.12.2009 ergänzend modellierten „Bauweise H modifiziert“ erfolgte gemäß der durch die DB mit E-Mail vom 19.01.2010 z.Vfg. gestellten Erläuterungstabellen. Der Unterschied von „Bauweise H“ zur „Bauweise Damm“ besteht in der unter dem Tragschichtsystem angeordneten sehr schwach durchlässigen Schicht ($K_f < 5 \times 10^{-9}$ m/s). Der Unterschied der „Bauweise H modifiziert“ zur „Bauweise H“ besteht in dem unter dem Schutzschichtensystem angeordneten Dammkörper aus sehr schwach durchlässigem Boden ($K_f < 5 \times 10^{-9}$ m/s).

Die van Genuchten Parameter wurden wie bei den Straßendammmodellen mit Hilfe des Programms SOILPROP (1990) abgeschätzt, wobei hier nochmals darauf hingewiesen wird, dass die Abschätzung von van Genuchten Parametern für die groben Materialien mit hohen Unsicherheiten behaftet ist. Die Ableitung der van Genuchten Parameter für die Bodendeckschicht und den Unterbau erfolgte analog der Vorgehensweise bei den Straßendammmodellen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der UVAGE (siehe Bericht der BaSt, Bürger et al., 2008). Sämtliche Bauwerke wurden unter Berücksichtigung eines K_f -Wertes von 10^{-5} m/s für

die Bodendeckschicht (Oberboden auf den Böschungen der Bauwerke) modelliert. Bei Ausbildung der Oberbodendeckschicht mit einem K_f -Wertes von 10^{-6} m/s - wie ursprünglich durch die DB empfohlen – resultiert eine wesentlich ungünstigere Durchströmung der eisenbahnbautechnischen Schichten mit MEB, da die Oberbodendeckschicht die Wassermengen oberhalb der Kapillarsperre nicht ausreichend abführen kann und folglich an die unterliegenden Schichten abgibt. Zur Gewährleistung des Medienschutzes nach Fachkonzept mit den hier abgeleiteten Grenzwerten muss die Oberbodendeckschicht wie bei den Straßenbauweisen nach BaSt (vgl. z. B. Bürger et al., 2008) mit $K_f = 10^{-5}$ m/s ausgebildet sein. Die hohe Durchlässigkeit der Oberflächendeckschicht wirkt sich auch dahingehend günstig aus, dass Oberflächenabflüsse vermindert und Kapillarsperreneffekte unterstützt werden, die wiederum die Umströmung von MEB positiv beeinflussen. Ein K_f -Wert von 10^{-5} m/s für die Oberbodendeckschicht muss unseres Erachtens in der DB-Richtlinie 836.4108 über "Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke; Bauweisen für den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe" entsprechend festgelegt werden. Dies gilt im Übrigen auch für alle weiteren K_f -Werte, die in den nachfolgenden Tabellen 3.8-3.10 für die einzelnen Bahnbauwerke und Einbauschichten genannt sind, da für die ErsatzbaustoffV im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens nur diese Parameterkonstellationen untersucht wurden.

Tab. 3.8: Material-, Hydraulikparameter und van Genuchten-Parameter der technischen Schichten der Bahnbauweisen: „Standard Damm und Einschnitt“ (Daten aus Unterlagen der DB, Mail vom 15.07.2008 sowie Bürger et al., 2008, BaSt-Bericht). Symbole und Abkürzungen: D_{Pr} : Proctorverdichtung, K_f : gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, ρ_{Pr} : Proctordichte, θ_{sa} : Sättigungswassergehalt, S_{ra} : residuale Wassersättigung (=residualer Wassergehalt/Porosität), α und n : empirische van Genuchten - Parameter.

		Material	Körnung	D_{Pr} [%]	K_s [m/s]	ρ_{PR} [g/cm ³]	Porosität []	θ_{sa} []	S_{ra} []	α [1/m]	n []
O B E R B A U	(Gleiskörper) Schotteroberbau (SO)	Neuschotter : Diabas, Basalt, Grauwacke, Grandorit, Quarzporphyr, Pyroxen-Quarzporphyr, Augitporphyr, Granit RC-Schotter : aus dem Gleis ausgebauter Alt-schotter	31,5/63	Durchlässigkeit > 10 ⁻² bis 10 ⁻³ (laut DB-Unterlagen): Niederschlagsmenge abzüglich Evaporation wird vollständig versickert, Schicht ist für Durchströmungsmodell irrelevant							
	Planumschutzschicht ¹ (PSS)	Hier: 30 % nat. Gestein (Kies/Sand, Korndichte 2,65 g/cm ³) und 70 % GS (Basalt Korndichte 3 g/cm ³) gemäß DB-Unterlagen; KG 1 d; Mittelwert Korndichte in g/cm ³ : 2,90 im Einzelfall: EOS, HOS, SWS	0/32	100	10 ⁻⁶	2,11	0,27	0,27	0	165	1,28
U N T E R B A U	Damm Gemischtkörniger Boden ²	stark lehmiger Sand SI4	GU*/GU, SU*/SU, TL, TM	97	10 ⁻⁷	1,81	0,32	0,32	0,0	4,28	1,18
O B E R B O D E N	Boden-deck-schicht ³	Sand Ss	Ss	97	10 ⁻⁵	1,81	0,37	0,37	0,11	8,74	1,57

¹: Beyer (19.11.2008): Auswahl der Materialvariante (a) gemäß DB-Unterlagen (natürliches Gestein, Brechkorn (Steinbruch)); Ableitung mit Hilfe des Modells S O I L P R O P, abgestimmt mit DB AG

²: wie 3: Bodendeckschicht, Übernahme des K_f -Wertes aus DB-Unterlagen

³: Körnungen gemäß Bürger et al., 2008 und DB-Unterlagen: GU*, GT*, SU* oder ST*; d.h. folgende Kornanteile nach DIN: S + G 60-85, U 15-40, T 0-40, wobei T+U >15 und <40; hier wurde eine mittlere Zusammensetzung von S 70, U 15, T 15 gewählt, was nach KA4 einem stark lehmigen Sand SI4 entspricht (S 43-78, U 10-40, T 12-17). Die van Genuchten-Parameter wurden nach den Ableitungsregeln der BGR von Hennings (2000) für diesen Boden abgeschätzt. Nach Bürger et al., 2008 (BaSt-Bericht) wird der Boden allerdings verdichtet: Die Porosität und somit der gesättigte Wassergehalt soll nach Tabelle 2 BaSt-Bericht dann bei $n < 0,32$ liegen (nach Verdichtung auf 97% Proctordichte). Für den K_f -Wert wurde gemäß BaSt-Bericht ein Wert von 10⁻⁷ m/s gewählt. Alle Daten und Ableitungen wurden mit der BaSt abgestimmt.

Tab. 3.9: Material-, Hydraulikparameter und van Genuchten-Parameter der technischen Schichten der Bahnbauweise „Bauweise H“ (Daten aus Unterlagen der DB, Mail vom 15.07.2008 sowie Bürger et al., 2008, BaSt-Bericht). Symbole und Abkürzungen: D_{Pr} : Proctorverdichtung, K_f : gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, ρ_{Pr} : Proctordichte, θ_{sa} : Sättigungswassergehalt, S_{ra} : residuale Wassersättigung (=residualer Wassergehalt/Porosität), α und n : empirische van Genuchten Parameter.

Einbau- schichten		Material	Körnung	D_{Pr} [%]	K_f [m/s]	ρ_{PR} [g/cm ³]	Porosität []	θ_{sa} []	S_{ra} []	α [1/m]	n []
O B E R B A U	(Gleis- körper) Schotter- oberbau (SO)	Neuschotter : Diabas, Basalt, Grauwacke, Grandorit, Quarzporphyr, Pyroxen-Quarzporphyr, Augitporphyr, Granit RC-Schotter : aus dem Gleis ausgebauter Alt- schotter	31,5/63	Durchlässigkeit > 10 ⁻² bis 10 ⁻³ (laut DB-Unterlagen): Nieder- schlagsmenge abzüglich Evaporation wird vollständig versickert, Schicht ist für Durchströmungsmodell irrelevant							
	Planums- schutz- schicht ¹ (PSS)	Hier: 100 % nat, Gestein (Kiese, Sande, Festge- stein) gemäß DB- Unterlagen für natürliches Gestein, Brechkorn (Stein- bruch); ; KG 1 a; Korndich- te in g/cm ³ : 2,65	0/32	100	10 ⁻⁶	2,10	0,21	0,21	0	139	1,28
	Frost- schutz- schicht ¹ (FSS)	Hier: 100 % nat, Gestein (Kiese, Sande, Festge- stein) gemäß DB- Unterlagen für natürliches Gestein, Brechkorn (Stein- bruch); ; KG 2 a; Korndich- te in g/cm ³ : 2,65	0/45	100	5 × 10 ⁻⁵	2,11	0,21	0,21	0	20,9	1,85
U N T E R B A U	Spez. Boden- schicht ²	stark lehmiger Sand SI4	GU*/GU, SU*/SU, TL, TM	97	5 × 10 ⁻⁹	1,81	0,32	0,32	0,0	4,28	1,18
	Damm, gemischt- körniger Boden ²	stark lehmiger Sand SI4	GU*/GU, SU*/SU, TL, TM	97	10 ⁻⁷	1,81	0,32	0,32	0,0	4,28	1,18
O B E R B O D E N	Boden- deck- schicht ³	Sand Ss	Ss	97	10 ⁻⁵	1,81	0,37	0,37	0,11	8,74	1,57

¹: Beyer (19.11.2008), Ableitung mit Hilfe des Modells S O I L P R O P, abgestimmt mit DB AG.

²: Körnungen gemäß Bürger et al., 2008 und DB-Unterlagen: GU*, GT*, SU* oder ST*; d.h. folgende Kornanteile nach DIN: S + G 60-85, U 15-40, T 0-40, wobei T+U >15 und <40 ; hier wurde eine mittlere Zusammensetzung von S 70, U 15, T 15 gewählt, was nach KA4 einem stark lehmigen Sand Si4 entspricht (S 43-78, U 10-40, T 12-17). Die Van Genuchten-Parameter wurden nach den Ableitungsregeln der BGR von Hennings (2000) für diesen Boden abgeleitet. Nach Bürger et al., 2008 (BaSt-Bericht) wird der Boden allerdings verdichtet: Die Porosität und somit der gesättigte Wassergehalt soll nach Tabelle 2 BaSt-Bericht dann bei $n < 0.32$ liegen (nach Verdichtung auf 97% Proctordichte). Für den K_s -Wert wurde gemäß BaSt-Bericht 10^{-7} gewählt. Alle Daten und Ableitungen abgestimmt mit BaSt.

³: nach Beyer et al. (2008) und Grathwohl et al. (2006), abgestimmt mit UVAGE

Tab. 3.10: Material-, Hydraulikparameter und van Genuchten-Parameter der technischen Schichten der Bahnbauweise „Bauweise H modifiziert“ (Daten aus Unterlagen der DB, Mail vom 15.07.2008 sowie Bürger et al., 2008, BaSt-Bericht). Symbole und Abkürzungen: D_{Pr} : Proctorverdichtung, K_f : gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, ρ_{Pr} : Proctordichte, θ_{sa} : Sättigungswassergehalt, S_{ra} : residuale Wassersättigung (=residualer Wassergehalt/Porosität), α und n : empirische van Genuchten - Parameter.

Einbau- schichten		Material	Körnung	D_{Pr} [%]	K_f [m/s]	ρ_{PR} [g/cm ³]	$Poro-$ $sität$ []	θ_{sa} []	S_{ra} []	α [1/m]	n []
O B E R B A U	(Gleis- körper) Schotter- oberbau (SO)	Neuschotter : Diabas, Ba- salt, Grauwacke, Grandorit, Quarzporphyr, Pyroxen-Quarzporphyr, Augitporphyr, Granit RC-Schotter : aus dem Gleis ausgebauter Altschotter	31,5/63	Durchlässigkeit > 10 ⁻² bis 10 ⁻³ (laut DB-Unterlagen): Nieder- schlagsmenge abzüglich Evaporation wird vollständig versickert, Schicht ist für Durchströmungsmodell irrelevant							
	Planums- schutz- schicht ¹ (PSS)	Hier: 100 % nat, Gestein (Kiese, Sande, Festgestein) gemäß DB-Unterlagen für natürliches Gestein, Brech- korn (Steinbruch); ; KG 1 a; Korndichte in g/cm ³ : 2,65	0/32	100	10 ⁻⁶	2,10	0,21	0,21	0	139	1,28
	Frost- schutz- schicht ¹ (FSS)	Hier: 100 % nat, Gestein (Kiese, Sande, Festgestein) gemäß DB-Unterlagen für natürliches Gestein, Brech- korn (Steinbruch); ; KG 2 a; Korndichte in g/cm ³ : 2,65	0/45	100	5 × 10 ⁻⁵	2,11	0,21	0,21	0	20,9	1,85
U N T E R B A U	Damm, gemischt- körniger Boden ²	stark lehmiger Sand SI4	GT*, GU*, SU*, TL, TM, UL/UM	97	5 × 10 ⁻⁹	1,81	0,32	0,32	0,0	4,28	1,18
O B E R B O D E N	Boden- deck- schicht ³	Sand Ss	Ss	97	10 ⁻⁵	1,81	0,37	0,37	0,11	8,74	1,57

¹: Beyer (19.11.2008): Auswahl der Materialvariante (a) gemäß DB-Unterlagen (natürliches Gestein, Brechkorn (Steinbruch)); Ableitung mit Hilfe des Modells S O I L P R O P, abgestimmt mit DB AG

²: wie 3: Bodendeckschicht, Übernahme des K_f -Wertes aus DB-Unterlagen

³: Körnungen gemäß Bürger et al., 2008 und DB-Unterlagen: GU*, GT*, SU* oder ST*; d.h. folgende Kornanteile nach DIN: S + G 60-85, U 15-40, T 0-40, wobei T+U >15 und <40 ; hier wurde eine mittlere Zusammensetzung von S 70, U 15, T 15 gewählt, was nach KA4 einem stark lehmigen Sand SI4 entspricht (S 43-78, U 10-40, T 12-17), Die Van Genuchten-Parameter wurden nach den Ableitungsregeln der BGR von Hennings (2000) für diesen Boden abgeleitet. Nach Bürger et al., 2008 (BaSt-Bericht) wird der Boden allerdings verdichtet: Die Porosität und somit der gesättigte Wassergehalt soll nach Tabelle 2 BaSt-Bericht dann bei $n < 0,32$ liegen (nach Verdichtung auf 97% Proctordichte). Für den K_f -Wert wurde gemäß BaSt-Bericht ein Wert von 10^{-7} m/s gewählt. Alle Daten und Ableitungen wurden mit der BaSt abgestimmt.

3.3.1.3 Modelldiskretisierung

Die Geometrien der vier Bahnbauweisen wurden unter Berücksichtigung der Neigungswinkel der Schichten (z.B. Planumsquerneigung von 5 %) entsprechend der technischen Zeichnungen der DB im Modellgitter exakt umgesetzt (vgl. Abbildungen 3.15-3.17).

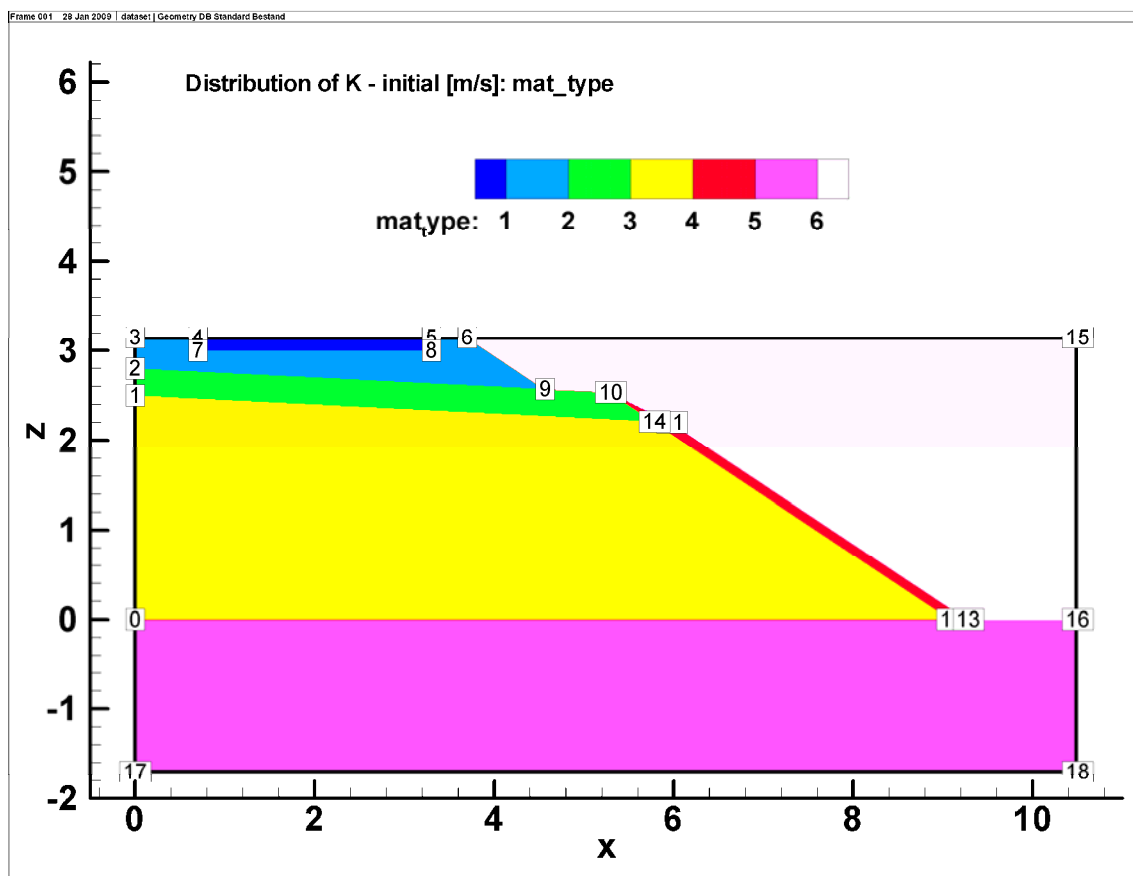


Abb. 3.15: Geometrie, Referenzpunkte und Verteilung der Materialtypen für das Bahndammszenario I "Standard Damm" (Material- und Hydraulikparameter siehe Tab. 3.7).

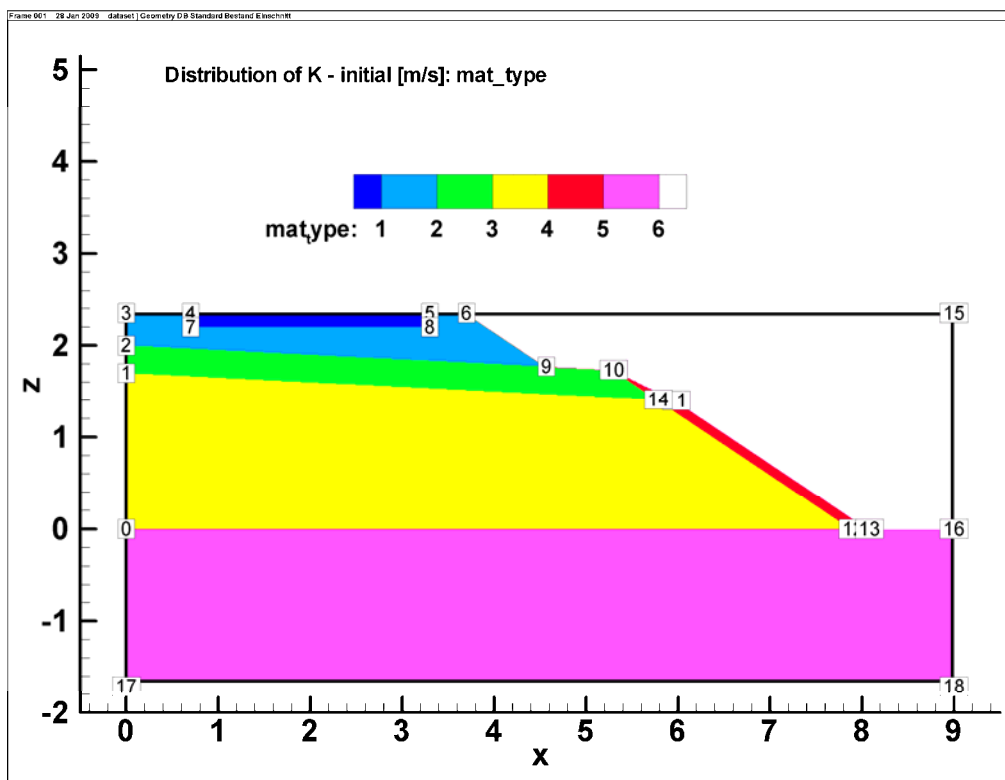


Abb. 3.16: Geometrie, Referenzpunkte und Verteilung der Materialtypen für das Bahndammszenario II "Standard Bestand, Einschnitt" (Material- und Hydraulikparameter siehe Tab. 3.7).

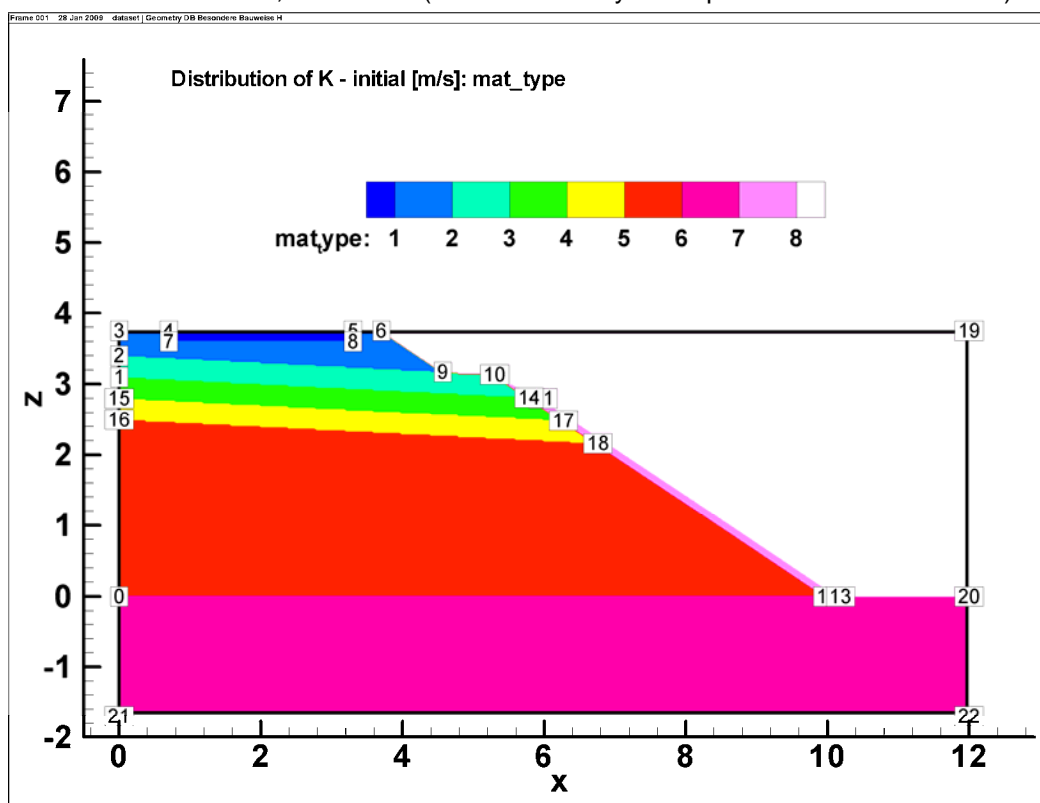


Abb. 3.17: Geometrie, Referenzpunkte und Verteilung der Materialtypen für das Bahndammszenario III "Besondere Bauweise H" bzw. IV "Besondere Bauweise H modifiziert". Bei letzterer werden die spezielle Bodenschicht und der Damm als eine Schicht zusammengefasst, die Geometrie bleibt gleich (Material- und Hydraulikparameter siehe Tab. 3.8 und 3.9).

Zur detaillierten Dokumentation der in den Bahnmodellen verwendeten Geometrien sind in Tabelle 3.11 für die in den Abbildungen 3.15-3.17 eingezeichneten Geometriepunkte die berechneten Koordinaten aufgelistet.

Tab. 3.11: Berechnete Koordinaten der Referenzpunkte der Bahnmodelle I - IV

Punkt Nr.	I Standard Damm		II Standard Einschnitt		III Bauweise H u. IV H modifiziert	
	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]	X [m]	Z [m]
0	0	0	0	0	0	0
1	0	2,50	0	1,70	0	3,10
2	0	2,80	0	2,00	0	3,40
3	0	3,15	0	2,35	0	3,75
4	0,70	3,15	0,70	2,35	0,70	3,75
5	3,30	3,15	3,30	2,35	3,30	3,75
6	3,70	3,15	3,70	2,35	3,70	3,75
7	0,70	3,00	0,70	2,20	0,70	3,60
8	3,30	3,00	3,30	2,20	3,30	3,60
9	4,57	2,57	4,57	1,77	4,57	3,17
10	5,30	2,54	5,30	1,74	5,30	3,14
11	5,98	2,20	5,98	1,40	5,98	2,80
12	9,10	0	7,90	0	10,00	0
13	9,28	0	8,08	0	10,18	0
14	5,79	2,21	5,79	1,41	5,79	2,81
15	10,50	3,15	9,00	2,35	0	2,80
16	10,50	0	9,00	0	0	2,50
17	0	-1,70	0	-1,70	6,27	2,49
18	10,50	-1,70	9,00	-1,70	6,76	2,16
19	-	-	-	-	12	3,75
20	-	-	-	-	12	0
21	-	-	-	-	0	-1,70
22	-	-	-	-	12	-1,70

3.3.1.4 Niederschlag, Abflussbeiwert und Infiltration

Alle hier untersuchten Bauweisen der DB weisen einen Schotteroberbau aus Grobschottern und Gleiskörpern auf. Grundsätzlich ist hier zu erwarten, dass der Niederschlag abzüglich der Evaporation vollständig durch die sehr durchlässige Grobschotterschicht versickert. Die Grobschotterschicht des Oberbaus spielt deshalb für die Durchströmung der Bahnbauweisen aus modelltechnischer Sicht keine Rolle.

Wie bei den Straßendammmodellen kann auch bei den Bahnbauweisen der DB, falls hinreichend begründbar, ein Abflussbeiwert in die Durchströmungsmodellierung mit eingehen. Der Abflussbeiwert für die Straßenbauweisen ergibt sich nach mit der BaSt abgestimmten Definition aus dem Verhältnis des Anteils des Niederschlags, der das Bauwerk durchsickert (tatsächliche Abflussspende) zum Gesamtniederschlag (vgl. UVAGE, Bürger et al., 2008, und Definition in RAS-Ew). Die Abflussspende ergibt sich aus dem Niederschlag abzüglich der Verluste wie z.B. Oberflächenabfluss, Evaporation, Evapotranspiration etc.. Niedrigere Abflussbeiwerte bedeuten demnach einen höheren Anteil von Oberflächenabfluss, der am Bauwerk und an den Einbauschichten und MEB mit ggf. umweltrelevanten Stofffreisetzungen vorbeiströmt. Wie in Kapitel 3.2.1.2. begründet sind mechanistische Modelle zur Abschätzung von Abflussbeiwerten nicht Stand der Technik. Eine naturwissenschaftliche Herleitung des Abflussbeiwerts war nicht Gegenstand dieses Ergänzungsvorhabens. An dieser Stelle muss betont werden, dass bei pauschaler Annahme eines Abflussbeiwertes dem eigentlichen Simulationsergebnis vorweg gegriffen wird.

Mit Schreiben vom 29.01.2009 hat die DB dem BMU folgenden Vorschlag zur konventionellen Festlegung eines Abflussbeiwertes für die Bahnmodellierungen unterbreitet und begründet (Auszug aus dem Schreiben der DB):

Abschließend möchten wir auf den Themenkomplex **„Modellierung der bahnspezifischen Bauweisen“** eingehen. In die durch Herrn Prof. Grathwohl und Herrn Dr. Susset im Auftrag der Deutschen Bahn AG zu erstellenden Modellierungen geht ein Abflussbeiwert als Eingangsgröße zur Beschreibung der Durch- und Umströmung der Planumsschutzschicht (PSS) ein. Dieser Wert soll nach unserer Auffassung und in Abstimmung mit den Experten pauschal mit 0,6 angenommen werden, was wir in den folgenden Absätzen begründen. Da es sich hier um eine Konvention außerhalb des naturwissenschaftlich begründeten Ansatzes für die Modellierungen handelt, bitten wir Sie um Ihre Zustimmung zu der gewünschten Festlegung.

Der Abflussbeiwert in der oben genannten Größenordnung für den Gleisbereich mit der schwach durchlässigen Planumsschutzschicht (PSS) als Regellösung steht in Einklang mit dem Regelwerk des internationalen Eisenbahnverbandes Union internationale des chemins de fer (UIC) „UIC Code 719 R; Earthworks and track bed for railway lines“ (siehe Anlage, Seite 43). Der Abflussbeiwert ist durch den Forschungsbericht des Office de Recherches et d'Essais (ORE) „D 117 RP 13: Optimum Adaptation of Conventional Track to Future Traffic- Hydraulic performance of track bed structures and soil under the influence of rainfall“ begründet, den wir in der deutschen Übersetzung beigelegt haben. Als Abflussbeiwert für den Gleisbereich mit Schutzschicht ist im Forschungsbericht der Wert 0,85 (!) als Empfehlung angegeben worden. Im Rahmen der Bearbeitung der Richtlinie 836 „Erdbauwerke planen, bauen und instand halten“ der DB Netz AG (Fassung 2008) sind die internationalen eisenbahnspezifischen Empfehlungen berücksichtigt, wobei der Abflussbeiwert als Grundlage der Bemessung von Entwässerungsanlagen in Bahnanlagen unter Berücksichtigung spezifischer Bedingungen mit 0,4 bis 0,6 angenommen wurde und damit bereits im Vergleich zur internationalen Empfehlung niedriger angesetzt worden ist. Die Richtlinie 836 wird vom Eisenbahnbundesamt in der Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB) bauaufsichtlich verbindlich für alle Eisenbahnen des Bundes eingeführt. Die ELTB und somit auch die genannten Abflussbeiwerte stellen somit eine „Allgemein anerkannte Regel der Technik“ in der Bundesrepublik Deutschland dar. Unter Berücksichtigung eines üblichen Bahnkörperaufbaus ist der Ansatz eines Abflussbeiwertes von 0,6 für die Sickerwasser-Modellierungen nach unserer Auffassung gerechtfertigt.

Die DB weist mit Mail vom 19.12.2008 auf zusätzliche Verdunstungen im Schotter hin, da dieser sich in der warmen Jahreszeit erhitze. Auch müsse die Vegetation berücksichtigt werden. Seitlich käme es zu einem hohen Vegetationsdruck. Für die Versickerung im Trassenbereich ist aber ungeklärt inwieweit der seitliche Vegetationsdruck für die Evapotranspiration relevant ist. Insbesondere für einen generalisierten Ansatz des Bundesverordnungsgebers kann dieser nur schwer auf den allgemeinen Fall übertragen werden. Für den generalisierten Ansatz der ErsatzbaustoffV sind laut Bundesverordnungsgeber bei der Parametrisierung nicht grundsätzlich Mittelwerte sondern Werte anzusetzen, die mindestens von der Mehrzahl der Fälle eingehalten werden.

In der Gutachtenbesprechung vom 11.12.2010 wurde seitens DB klargestellt, dass die DB mit dem Abflussbeiwert denjenigen Anteil des Wassers definiert, der das Bauwerk oberflächlich umströmt. Gemäß der BMU-Vorgabe für ein allgemeines Regelwerk eher konservativere Werte anzusetzen wurde aus der Spanne der durch die DB angegebenen Abflussbeiwerte von 0,4 – 0,6 entsprechend der konservativere Wert von 0,4 angesetzt. Nach Definition der DB bedeutet dies, dass 60 % des Niederschlags durch das Bauwerk strömt. Schließlich wurden in Abstimmung mit DB und BMU sämtliche Effekte (Abflussbeiwerte, Evaporation, Evapotranspiration) in den Modellierungen mit einem Abflussbeiwert von 0,4 gemäß DB-Definition berücksichtigt.

Weitere Oberflächenabflussanteile werden wie bei den Straßendammmodellen und abgestimmt mit der UVAGE der BaSt nicht modelliert (vgl. Kapitel 3.1.3).

Wie bei allen Szenarien der ErsatzbaustoffV wurde ein Niederschlagswert von 859 mm/a verwendet (Begründung in Kapitel 3.2.2.4 sowie in Susset & Leuchs, 2008a). Ausgehend von diesem mittleren Niederschlag ergibt sich für die verschiedenen DB-Modelle unter Berücksichtigung des Abflussbeiwertes von 0,4 (nach Definition der DB entsprechend 0,6 Definition BaSt) eine Infiltrationsrate von 515,4 mm/a ($859 \text{ mm/a} \times 0,6$).

3.3.2 Simulationsergebnisse

3.3.2.1 Abflussprofile aus MIN3P exemplarisch für Bahnbauweise H

Abbildung 3.18 stellt exemplarisch für das Bahndamm-Szenario III „Bauweise H“ die Durchströmungssituation der unterschiedlichen Eisenbahnbautechnisch relevanten Schichten für den stationären Zustand dar. Zur Beantwortung der Fragestellungen, in welchen Bereichen, mit welchen gemittelten Sickerwasserraten und Sickerwassermengen die unterschiedlichen Schichten durchströmt werden, wurden Abflussprofile entlang der Linien 1-5 (Schichtgrenzen) erstellt, indem die Darcy-Geschwindigkeiten aus dem Modellergebnis im stationären Zustand bilanziert wurden. Dazu wurden - wie bei den Straßendammmodellen - die ortsspezifischen, vertikalen Fließgeschwindigkeiten v_z [m s^{-1}] entlang verschiedener Grenzlinien aus dem Modell in Excel ausgelesen und aufsummiert. Anhand der ortsspezifischen, seitlichen horizontalen Fließgeschwindigkeiten v_x [m s^{-1}] kann untersucht werden, zu welchem Anteil die einzelne Schicht durchströmt oder umströmt wird.

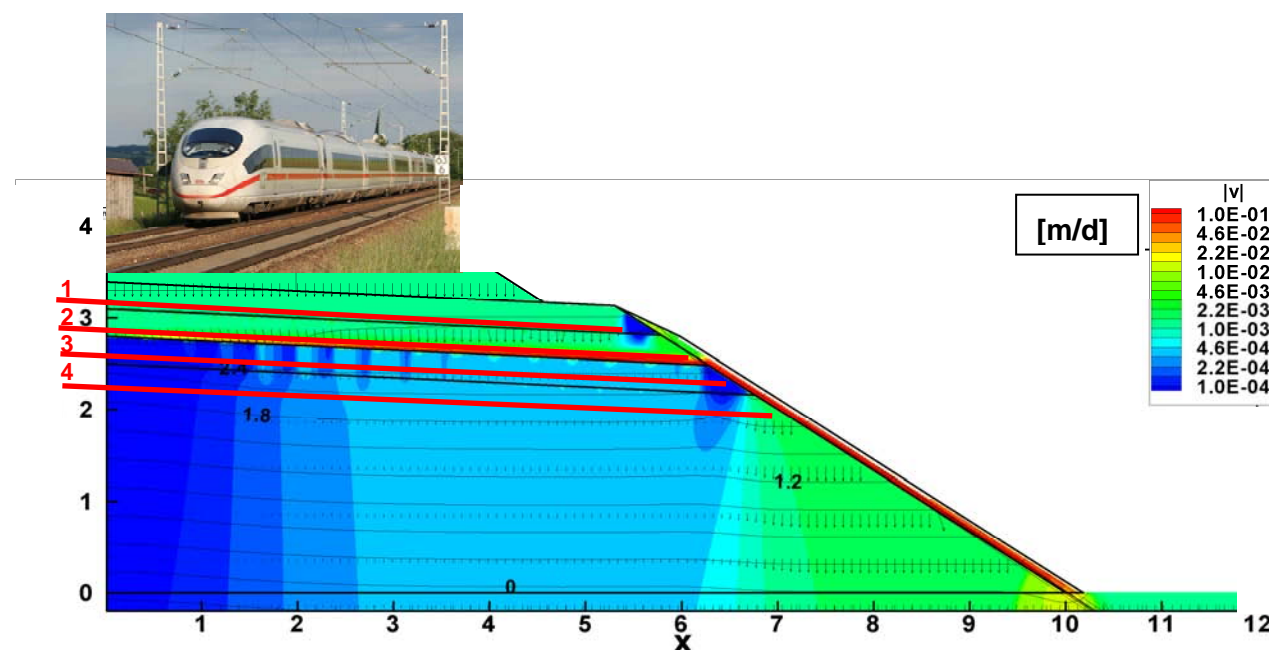


Abb. 3.18: Skizze der eisenbahnbautechnisch relevanten Einbauschichten für das Bahndammszenario III "Besondere Bauweise H" und Schichtgrenzen (Linie 1: Grenze zwischen Schotteroberbau und Planumsschutzschicht, Linie 2: Grenze zwischen Planumsschutzschicht und Frostschutzschicht, Linie 3: Grenze zwischen Frostschutzschicht und spezieller Bodenschicht, Linie 4: Planum: Grenze zwischen spezieller Bodenschicht und Unterbau (Damm))

Linie 1 bezeichnet die Grenze zwischen Schotteroberbau (SO) und Planumsschutzschicht (PSS), Linie 2 bezeichnet die Grenze zwischen PSS und Frostschutzschicht (FSS) der „Bauweise H und H modifiziert“ bzw. zwischen PSS und Unterbau der Bauweisen „Standard Damm und Einschnitt“ (entspricht hier dem Planum). Die berechneten Abflüsse beziehen sich also auf die Durchströmung des Schotteroberbaus bzw. der PSS. Linie 3 bezeichnet die Grenze zwischen FSS und der speziellen Bodenschicht der „Bauweise H“. Der Abfluss bezieht sich also auf die Durchströmung der FSS. Linie 4 bezeichnet die Grenze zwischen spezieller Bodenschicht und Unterbau der „Bauweise H“, entspricht also dem Planum. Hier kann der vertikale Durchfluss durch die spezielle Bodenschicht ermittelt werden. Linie 5 bezeichnet die Grenze zwischen Unterbau und Untergrund für alle Bahnbauweisen. Hier werden die entlang der Bauwerksunterkante gemittelten Sickerwasserraten am Übergang zum Untergrund berechnet (Eingangsgröße für die Transportberechnungen, vgl. Kapitel 4). Abflußprofile entlang der Schichtgrenzen der Bahnbauweisen sind in Susset et al. (2010, unveröffentlichter Schlussbericht zur Abstimmung mit dem Auftraggeber) dargestellt.

3.3.2.2 Graphische Darstellung der Durchströmung der Bahnbauweisen – Verteilung von Geschwindigkeitsvektoren aus MIN3P

Abbildungen 3.19.-22 zeigen die Durchströmung der Bahnbauwerke anhand von Geschwindigkeitsvektoren im stationären Zustand. Zur Veranschaulichung wurden wie bei den Straßendämmen neben Vektoren der Darcy-Geschwindigkeit [m/d] zusätzlich Beträge der Darcy-Geschwindigkeit [m/d] als farbige Kontur auf Basis einer Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d und Potential-Linien des hydraulischen Potentials h [m] dargestellt. Abbildungen 3.23 – 26 in Kapitel 3.2.2.3 zeigen die Wassersättigungen im stationären Zustand.

Die Abbildungen verdeutlichen die Durchströmungsunterschiede entlang der Schichtgrenzen. Bei allen Bauweisen wird der SO mit der aus dem Abflussbeiwert und dem mittleren Niederschlag berechneten Infiltrationsrate von 515,4 mm/a durchströmt. Erwartungsgemäß stellt sich beim Übergang vom SO zur PSS kein Kapillarsperreneffekt ein und die Infiltrationsrate wird ungemindert an die PSS weitergegeben. Die PSS wird i.d.R. mit 515,4 mm/a durchströmt, lediglich im Bereich des „Zwickels“ am Übergang zur Bodenzone wird ein Teil des Sickerwassers über die Bodendeckschicht abgeführt, so dass sich im Durchschnitt eine leicht verringerte gemittelte Sickerwasserrate für die PSS ergibt. Bei den Bahnbauweisen I „Standard Damm, und II „Standard Einschnitt“ kann sich auch zwischen PSS und Untergrund also am Planum erwartungsgemäß kein Kapillarsperreneffekt einstellen. Lediglich im Zwickelbereich unter der Bodendeckschicht wird ein Teil des Sickerwassers seitlich abgeführt und umströmt somit die Schichten mit MEB mit potentiellen umweltrelevanten Stofffreisetzungen. Die Grobschotter des SO weisen Teilsättigungen von 25-55 % auf, während der feinkörnigeren PSS zu 85 % wassergesättigt ist. In den Zwickelbereichen ist die Sättigung herabgesetzt. Die Bodendeckschichten sind erwartungsgemäß zu 100 % wassergesättigt. Das feinkörnige Material im Unterbau zeigt Sättigungsgrade bis 95 % (vgl. Abbildungen 3.25 und 3.26).

Bei der Bahnbauweise III: „Bauweise H“ führt die feinkörnige und geringdurchlässige Bodenschicht („spezielle Bodenschicht“) unterhalb der FSS und die höhere Durchlässigkeit der FSS gegenüber PSS und spezieller Bodenschicht zu einer Ableitung großer Wassermengen über die FSS in den seitlichen Böschungsbereich. Nur noch ca. 7 % des von der PSS in die FSS infiltrierten Sickerwassers erreichen die spezielle Bodenschicht. Der Unterbau wird unterhalb der speziellen Bodenschicht nicht durchströmt. Weiter ist festzustellen, dass im seitlichen Böschungsbereich, das über die dünne Oberbodenschicht geleitete unkontaminierte Infiltrationswasser (vergleichsweise geringer Anteil des Infiltrationswassers, das keine MEB durchfließt) und die aus der PSS und insbesondere aus der FSS über die nahezu dichte spezielle Bodenschicht zur Seite abgeleiteten potentiell schadstoffbelasteten großen Wassermengen (Infiltrationswassers, welches MEB durchflossen hat) nahezu vollständig zur Seite in den Böschungsfuß abgeführt werden können. Das Wasser aus der PSS und FSS mit potentiellen Schadstoffbelastungen versickert nach Passage der Oberbodenschicht entlang der Böschung im Böschungsfuß. Dies liegt darin begründet, dass sich ein Kapillarsperreneffekt zwischen Oberbodenschicht und Unterbau ausbilden kann. Die durchschnittliche Sickerwasserrate entlang der Unterkante des Untergrundes ist gegenüber der Infiltrationsrate deshalb stark vermindert.

Bei der Bahnbauweise H modifiziert, liegen ähnliche Durchströmungsverhältnisse vor wie bei Bauweise H. Der einzige Unterschied ist eine noch stärker reduzierte Durchströmung des im Falle der Bauweise H modifiziert mit einem niedrigeren K_F -Wert von $5 \cdot 10^{-9}$ m/s ausgebauten Unterbaus (Damm). Auch hier wird das potentiell schadstoffbelastete Sickerwasser aus der PSS und der FSS über die gut durchlässige Oberbodendeckschicht in die seitliche Böschung geleitet und umströmt sowohl die spezielle Bodenschicht als auch den Unterbau praktisch vollständig.

Während der SO nur Teilsättigung aufweist, führt der Wasserstau über der speziellen Bodenschicht zu einer vollständigen Wassersättigung in der darüber liegenden FSS und teilweise in der PSS. Die feinkörnige spezielle Bodenschicht ist nahezu wassergesättigt. Der Unterbau ist mit 85 – 90 % teilgesättigt (vgl. Abbildungen 3.23 und 3.26).

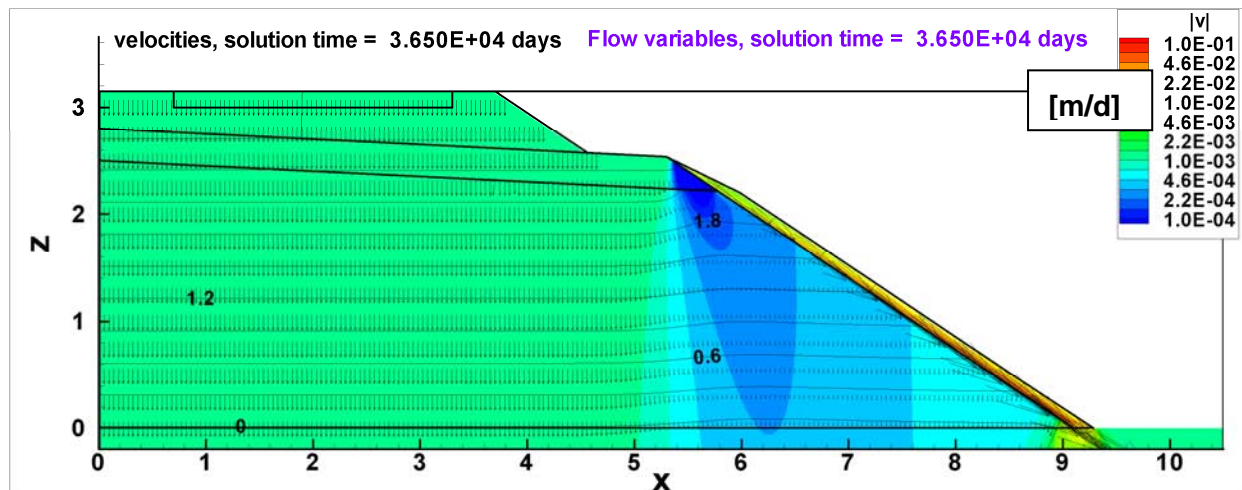


Abb. 3.19: Mit MIN3P berechnete Fließgeschwindigkeiten, Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten v [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung im Bahndammszenario I "Standard Dam".

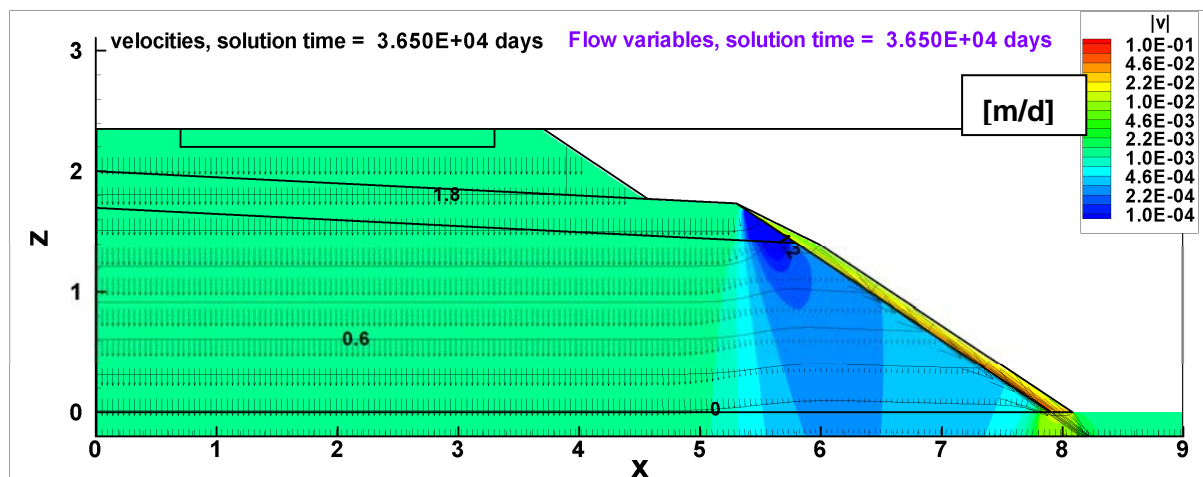


Abb. 3.20: Mit MIN3P berechnete Fließgeschwindigkeiten, Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten v [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung im Bahndammszenario II "Standard Einschnitt".

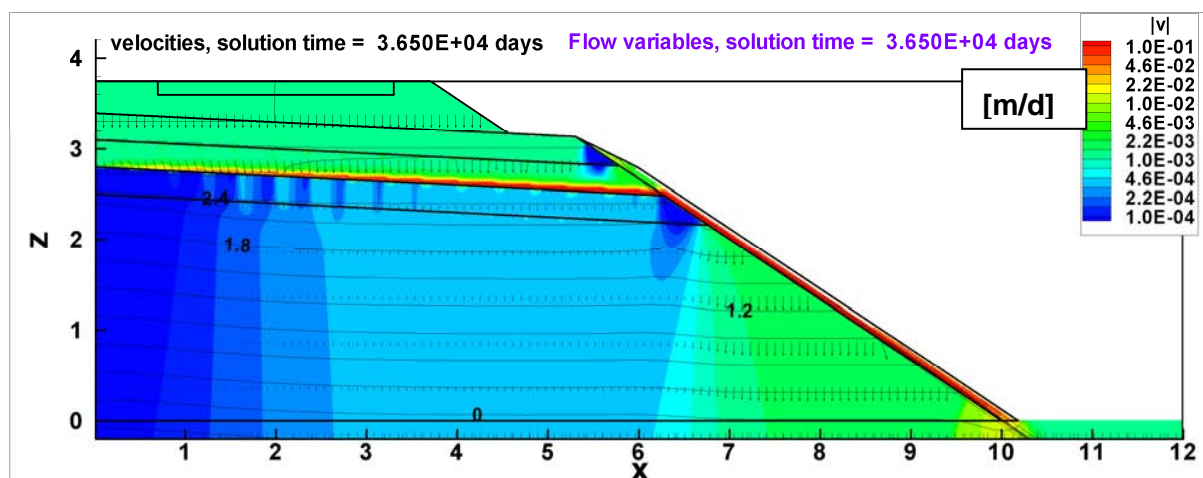


Abb. 3.21: Mit MIN3P berechnete Fließgeschwindigkeiten, Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten v [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung im Bahndammszenario III "Bauweise H".

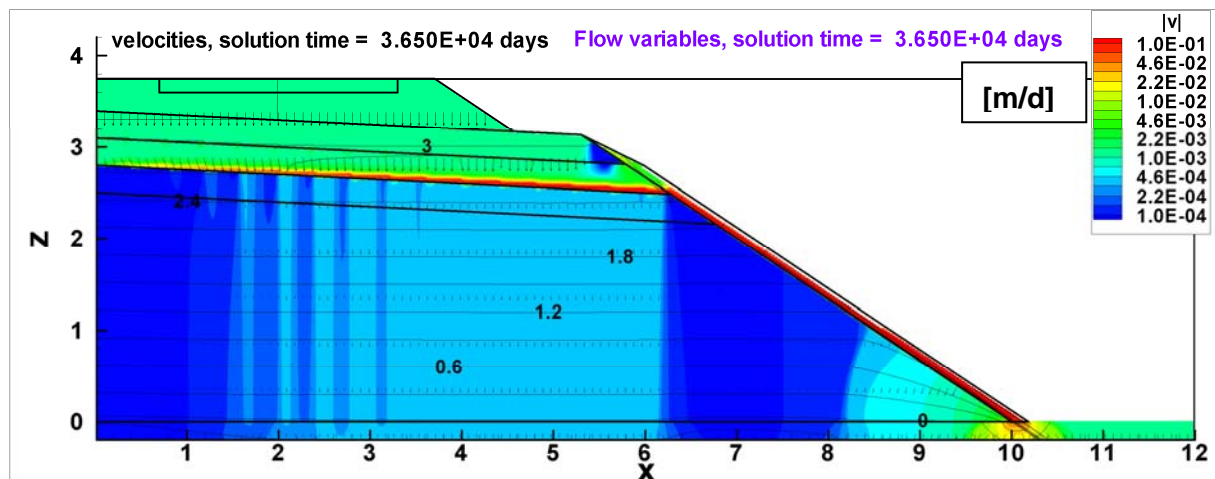


Abb. 3.22: Mit MIN3P berechnete Fließgeschwindigkeiten, Beträge der Darcy-Geschwindigkeiten v [m/d] als farbige Kontur (Skalierung von 10^{-4} bis 0,1 m/d) und Linien des hydraulischen Potentials h [m] für die ungesättigte Strömung im Szenario IV "Bauweise H modifiziert".

3.3.2.3 Graphische Darstellung der Wassersättigung aus MIN3P exemplarisch für Bahnbauweise H

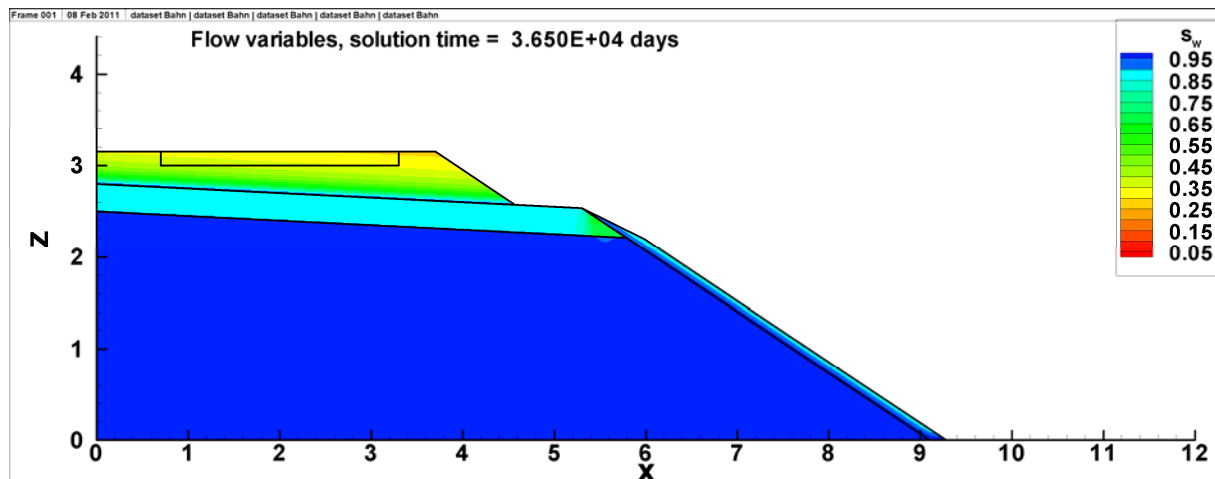


Abb. 3.23: Mit MIN3P berechnete Wassersättigung für das Bahndammszenario I "Standard Damm". Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: $\geq 95\%$, rot: 35% Wassersättigung).

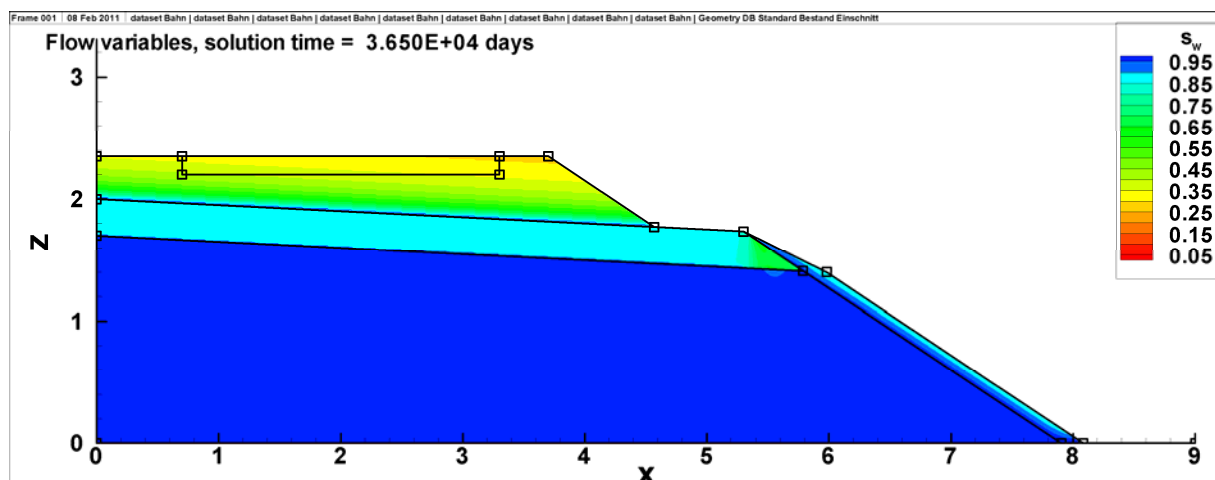


Abb. 3.24: Mit MIN3P berechnete Wassersättigung für das Bahndammszenario II "Standard Einschnitt". Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: $\geq 95\%$, rot: 35% Wassersättigung).

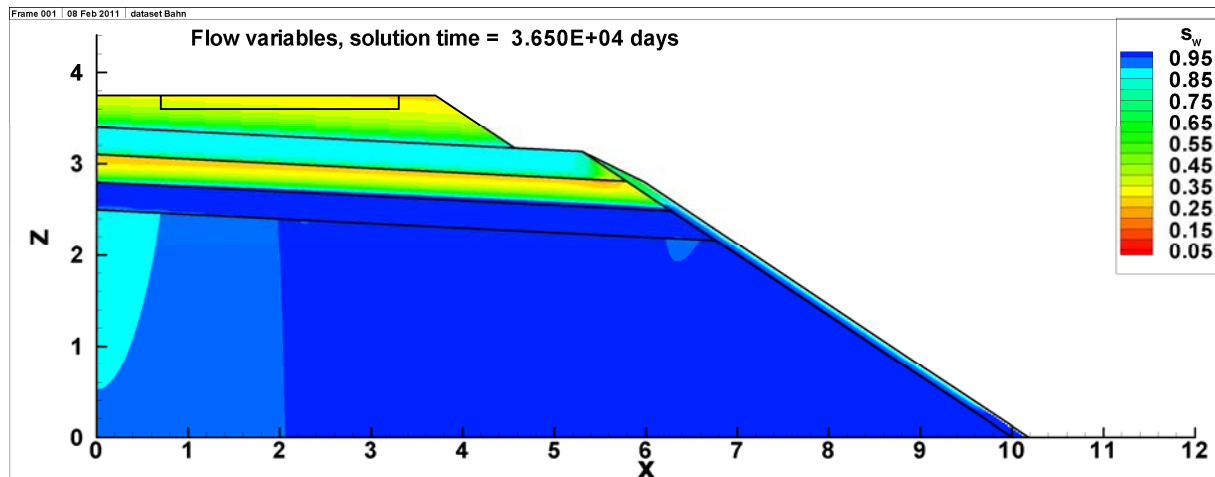


Abb. 3.25: Mit MIN3P berechnete Wassersättigung für das Bahndammszenario III "Bauweise H". Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: $\geq 95\%$, rot: 35% Wassersättigung).

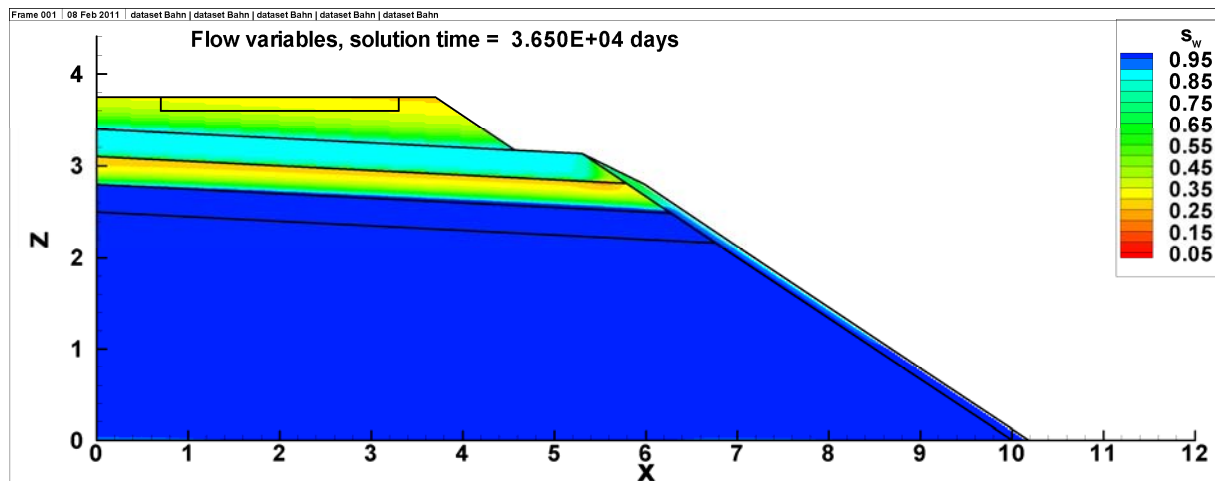


Abb. 3.26: Mit MIN3P simulierte Wassersättigung für das Bahndammszenario IV "Bauweise H modifiziert". Anteile der Wassersättigung als farbige Kontur (blau: $\geq 95\%$, rot: 35% Wassersättigung).

3.3.2.4 Quantifizierung der Gesamtsickerwassermengen im Bauwerk, der Sickerwasseranteile an den Unterkanten verschiedener bahnbau technisch relevanter Schichten und resultierende Verdünnungsfaktoren für alle Bahnbauweisen

Wie bei den Straßendammmodellen werden durch Bezug der Sickerwasserteilmengen in bestimmten Einbauschichten auf die Sickerwassergesamtmenge, die sich aus der Infiltrationsrechnung ergibt, die in Kapitel 3.2.3.4 beschriebenen Verdünnungsfaktoren (VF) für die einzelnen eisenbahnbautechnisch relevanten Schichten abgeleitet. Der reziproke Wert $1/VF$ ist wiederum ein Faktor der zu höheren medianschutzbasierten Einbauwerten und damit zu höheren zulässigen Eluatkonzentrationen (Materialwerte), gesteigerten Verwertungsmöglichkeiten (Einbauweisen) und Verwertungsquoten von MEB führt. Der wesentliche Unterschied der hier betrachteten Bahnbauweisen zum Szenario niedriger Straßendamm ist, dass die undurchlässige Asphaltdecke fehlt. Kleinsäumige Mittelung, wie in Kapitel 3.2.3.4 erläutert, kann deshalb hier nicht erfolgen.

Verdünnung kann grundsätzlich nur dann angerechnet werden, wenn eine Umströmung vorliegt, d.h. ein Anteil des Sickerwassers erreicht die umweltrelevanten Schichten nicht und wird als unkontaminiertes Wasser zur Seite abgeführt. Dies ist für Straßendammbauwerke aufgrund des Kapillarsperreneffekts und der undurchlässigen Straßendecke in der Regel der Fall (vgl. Kapitel 3.2.3.4). Wird eine Schicht durchströmt, das potentiell schadstoffbelastete Sickerwasser aber horizontal Richtung Böschung abgeführt, kann eine Verdünnung nur dann

in Rechnung gestellt werden, wenn der horizontale Abfluss seitlich über die gesamte Böschung bis zum Böschungsfuß transportiert wird und das Wasser dort über geeignete offene Entwässerungsanlagen gefasst und abgeleitet oder anhand sonstiger geeigneter Maßnahmen behandelt wird.

Anhand der Durchströmungsmuster der Bahnbauweisen (vgl. Abb. 3.19.-23) kann gezeigt werden, dass ein Teil des Sickerwassers aus der PSS über die Oberbodendeckschicht entlang der Böschung bis zum Böschungsfuß zur Seite abgeleitet wird. Wenn sich am Böschungsfuß eine geeignete Entwässerungsanlage befindet, können die Verdünnungsfaktoren und die reduzierten Sickerwasserraten entlang der Unterkanten der Bestandsbauweisen bei der Ableitung von ME berücksichtigt werden. Die Sickerwassermenge an der Unterkante des Unterbaus wird unter dieser Annahme wie bei den Straßendämmen gemäß Fachkonzept nach Susset & Leuchs (2008a) bis in den wenig durchströmten Bereich in der Mitte des Böschungsbereichs bilanziert, um die Verdünnungseffekte durch das über den Böschungsfuß ablaufende Sickerwasser berücksichtigen zu können. Dabei wird die geringfügige Durchströmung des Unterbaus direkt am Böschungsfuß wie bei den Straßendämmen vernachlässigt. Die Verdünnungsfaktoren für PSS und Unterbau wurden in Abstimmung mit dem BMU bei den Bahnbauweisen „Damm und Einschnitt“ in voller Höhe angerechnet. Damit folgt das BMU der Argumentation der DB (Mail vom 22.04.2010), dass das ggf. schadstoffbelastete Wasser in entsprechenden seitlichen offenen Entwässerungsanlagen gefasst und nach den dafür gültigen gesetzlichen Grundlagen abgeleitet wird oder über eine belebte Bodenzone versickert wird (nach Mitteilung durch die DB werden die Wässer nach den gesetzlichen Vorgaben entweder in Bahngräben gefasst, gesammelt und in die Vorflutanlagen abgeleitet oder über die belebte Bodenzone wie z.B. bei der Niederschlagsversickerung oder bei der Versickerung von Dachabflüssen versickert).

Die Verdünnungseffekte sind aufgrund des fehlenden Kapillarsperreneffekts bei den Bahnbauweisen im Vergleich zu Straßendämmen mit undurchlässiger Straßendecke und Kapillarsperreneffekt im Straßenseitenraum vergleichsweise gering.

Bei der Bahnbauweise H wird das potentiell schadstoffbelastete Sickerwasser aus der PSS und der FSS über die Oberbodendeckschicht in die seitliche Böschung geleitet und strömt damit weder durch die spezielle Bodenschicht noch durch den Unterbau, da die Durchlässigkeit der Oberbodendeckschicht bei Ausbau mit K_f -Wert 10^{-5} m/s zur Ableitung der großen Wassermengen ausreicht. Die PSS, FSS und die spezielle Bodenschicht werden teilweise durchströmt, Schadstoffe können zwar in das Sickerwasser freigesetzt werden, das kontaminierte Wasser wird aber über die Oberbodendeckschicht bis zum seitlichen Böschungsfuß abgeleitet. Die Verdünnungsfaktoren für FSS, PSS, spez. Bodenschicht und Unterbau werden in Abstimmung mit dem BMU bei der „Bahnbauweise H“ unter der Voraussetzung der oben genannten Behandlung der seitlichen Abflüsse nach den gesetzlichen Vorgaben in voller Höhe angerechnet werden. Die mittlere Sickerwasserrate unterhalb des Bauwerks und in der unterliegenden Transportzone ergibt sich durch Bilanzierung der modellierten Sickerwasserraten entlang des gesamten unteren Modellrandes und ist infolge der Umströmung wesentlich herabgesetzt. Die geringfügige seitliche Durchströmung des Unterbaus direkt am Böschungsfuß wurde wie bei den Straßenbauweisen der ErsatzbaustoffV vernachlässigt.

Bei der „Bahnbauweise H“ modifiziert, liegen ähnliche Durchströmungsverhältnisse vor wie bei „Bauweise H“ (siehe oben). Der einzige Unterschied ist eine noch stärker reduzierte Durchströmung des im Falle der Bauweise H modifiziert mit einem niedrigeren K_f -Wert von 5×10^{-9} m/s ausgebauten Unterbaus (Damm). Auch hier wird das potentiell schadstoffbelastete Sickerwasser aus der PSS und der FSS über die gut durchlässige Oberbodendeckschicht in die seitliche Böschung geleitet und umströmt sowohl die spezielle Bodenschicht als auch den Unterbau praktisch vollständig. Die Verdünnungsfaktoren für FSS, PSS, spez. Bodenschicht und Unterbau wurden auch hier in Abstimmung mit dem BMU bei der Bahnbauweise H modifiziert unter der Voraussetzung der oben genannten Behandlung der seitlichen Abflüsse nach den gesetzlichen Vorgaben in voller Höhe angerechnet. Die mittlere Sickerwasserrate unterhalb des Bauwerks und in der unterliegenden Transportzone ergibt sich durch

Bilanzierung der modellierten Sickerwasserraten entlang des gesamten unteren Modellrandes und ist infolge der Umströmung wesentlich herabgesetzt. Die geringfügige seitliche Durchströmung des Unterbaus direkt am Böschungsfuß wurde wie bei allen Bauweisen vernachlässigt.

Aufgrund des Umströmungseffektes durch die gut durchlässige Oberbodenschicht sind die Durchströmungsunterschiede und darauf aufbauenden Bewertungen für „Bauweise H“ bzw. „H modifiziert“ nur gering. Lediglich der Unterbau bei „Bauweise H modifiziert“ wird noch wesentlich geringer durchströmt und folglich ist die resultierende mittlere Sickerwasserrate entlang der Bauwerksunterkante hier noch stärker herabgesetzt.

Die Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Sickerwassermengen und -raten für die einzelnen Einbauschichten, die für die Berechnungen relevanten Breiten der Schichten und die resultierenden Verdünnungsfaktoren sind in den Tabellen 3.13 bis 3.16 zusammengefasst. Wie bei den Straßendammmodellen stimmen die mit MIN3P berechneten Sickerwassermengen entlang der Bauwerksunterkante sehr gut mit der Infiltration überein.

Tab. 3.12: Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Infiltration über das gesamte Bauwerk sowie der Abflussteilmengen und der durchschnittlichen Sickerwasserraten entlang der Unterkanten bewertungsrelevanter Schichten für Bahndammszenario I „Standard Damm“. Werte in Klammern: nominellen Infiltration (Kapitel 3.3.1.4).

	Breite [m]	Gesamt- abflussmenge [L/a]	durchschnittliche Sickerwasserrate [mm/a]	Verdünnungs- faktoren VF []	Faktor F_{QT} []
Infiltration (nominelle Infiltration)	10,50	5412 (5412)	515 (515)		
Schotteroberbau (SO)	4,57	2355	515	0,44	2,30
Planumsschutzschicht (PSS)	5,79	2768	478	0,51	1,96
Unterbau	7,50	2963	395	0,55	1,83

Tab. 3.13: Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Infiltration über das gesamte Bauwerk sowie der Abflussteilmengen und der durchschnittlichen Sickerwasserraten entlang der Unterkanten bewertungsrelevanter Schichten für Bahndammszenario II „Standard Einschnitt“. Werte in Klammern: nominelle Infiltration (Kapitel 3.3.1.4).

	Breite X [m]	Gesamt- abflussmenge [L/a]	durchschnittliche Sickerwasserrate [mm/a]	Verdünnungs- faktoren VF []	Faktor F_{QT} []
Infiltration (nominelle Infiltration)	9,00	4638 (4639)	515 (515)		
Schotteroberbau (SO)	4,57	2355	515,4	0,51	1,97
Planumsschutzschicht (PSS)	5,79	2756	476	0,59	1,70
Unterbau	6,50	2821	434	0,61	1,64

Tab. 3.14: Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Infiltration über das gesamte Bauwerk sowie der Abflussteilmengen und der durchschnittlichen Sickerwasserraten entlang der Unterkanten bewertungsrelevanter Schichten für Bahndammszenario III "Bauweise H". Werte in Klammern: nominelle Infiltration (Kapitel 3.3.1.4).

	Breite X [m]	Gesamtab- flussmenge [L/a]	durchschnittliche Sickerwasserrate [mm/a]	Verdünnungs- faktoren VF []	Faktor F_{QT} []
Infiltration (nominelle Infiltration)	12,00	6185 (6185)	515 (515)		
Schotteroberbau (SO)	4,57	2355	515,4	0,38	2,63
Planumsschutzschicht (PSS)	5,79	2833	489	0,46	2,19
Frostschutzschicht (FSS)	6,27	1223	195	0,20	5,1
spez. Bodenschicht	6,76	764	113	0,12	8,1
Unterbau	9,0	1989	221	0,32	3,11

Tab. 3.15: Ergebnisse der Modellbilanzierungen der Infiltration über das gesamte Bauwerk sowie der Abflussteilmengen und der durchschnittlichen Sickerwasserraten entlang der Unterkanten bewertungsrelevanter Schichten für Bahndammszenario IV "Bauweise H modifiziert". Werte in Klammern: nominelle Infiltration (Kapitel 3.3.1.4).

	Breite X [m]	Gesamtab- flussmenge [L/a]	durchschnittliche Sickerwasserrate [mm/a]	Verdünnungs- faktoren VF []	Faktor F_{QT} []
Infiltration (nominelle Infiltration)	12,00	6181 (6185)	515 (515)		
Schotteroberbau (SO)	4,57	2355	515	0,38	2,63
Planumsschutzschicht (PSS)	5,79	2830	489	0,46	2,18
Frostschutzschicht (FSS)	6,27	1217	194	0,20	5,1
Unterbau	9,0	927	103	0,15	6,67

3.3.3 Zusammenfassung der bauwerksspezifischen Eingangsgrößen für die weitere medienschutzbasierte Beurteilung von Bahnbauwerken

Tabelle 3.17 zeigt die bauwerksspezifischen Eingangsgrößen für die weitere Ableitung von ME für die in der EBV geregelten Bahnbauweisen und eisenbahnbautechnisch relevanten Einbauschnitten. Für die Bahnbauweisen wurden im AE 2 EBV (BMU, 2011) separate Einbautabellen für die DB-Bauweisen in Anhang 2.3 der EBV eingeführt und entsprechend fortlaufend nummeriert. (B1 – B15). Die bauwerksspezifischen Eingangsgrößen werden für die Transportberechnungen (mittlere Sickerwasserraten) und Abklingfunktionen für Salze (Gesamtinfiltration) und zur Berechnung der medienschutzbasierten Einbauwerte (Verdünnungsfaktoren) verwendet (vgl. Kapitel 4 und 5).

Tab. 3.16: Bauwerksspezifische Eingangsgrößen zur Ableitung der ME für verschiedene eisenbahnbautechnisch relevanter Schichten in den Bahnbauweisen I "Standard Damm", II "Standard Einschnitt", III "Bauweise H" und IV "Bauweise H modifiziert". Schichtmächtigkeiten gemäß Auskunft der DB (vgl. Schlussbericht vom 21.05.2010)

Einbauweisen der DB		Modellierungsparameter			
Anhang 2.3 EBV (Mantel IV 2011)		Beurteilungszeitraum für Salze, retardier-/abbaubare Stoffe []	Schichtdicken [cm]	Sickerwasserraten [mm/a]	Faktoren auf max. zulässige Quellstärke F_{QT} []
lfd. Nr. EBV	Bahnbauweisen				
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	4, 200	60	515 ¹	2,3
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	4, 200	60	515 ²	2,0
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	4, 200	60	515 ³	2,6
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	4, 200	60	515 ⁴	2,6
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	4, 200	30	515 ¹	2,0
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	4, 200	30	515 ²	1,7
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	4, 200	30	515 ³	2,2
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	4, 200	30	515 ⁴	2,2
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	4, 200	30	515 ³	5,1
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	4, 200	30	515 ⁴	5,1
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	4, 200	30	515 ³	8,1
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	4, 200	250	515 ¹	1,8
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	4, 200	170	515 ²	1,6
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	4, 200	250	515 ³	3,1
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	4, 200	280	515 ⁴	6,7

¹Die Durchströmungsmodellierung ergibt eine entlang der Unterkante des Bauwerks gemittelte Sickerwasserrate in der unterliegenden Transportzone von 395 mm/a. Diese wird für die Transport- und Anreicherungsrechnungen (Kapitel 4 Teil II) herangezogen.

²Die Durchströmungsmodellierung ergibt eine entlang der Unterkante des Bauwerks gemittelte Sickerwasserrate in der unterliegenden Transportzone von 434 mm/a. Diese wird für die Transport- und Anreicherungsrechnungen (Kapitel 4 Teil II) herangezogen.

³Die Durchströmungsmodellierung ergibt eine entlang der Unterkante des Bauwerks gemittelte Sickerwasserrate in der unterliegenden Transportzone von 221 mm/a. Diese wird für die Transport- und Anreicherungsrechnungen (Kapitel 4 Teil II) herangezogen.

⁴Die Durchströmungsmodellierung ergibt eine entlang der Unterkante des Bauwerks gemittelte Sickerwasserrate in der unterliegenden Transportzone von 103 mm/a. Diese wird für die Transport- und Anreicherungsrechnungen (Kapitel 4 Teil II) herangezogen.

4 Modellierung der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für retardierbare und abbaubare Stoffe und Salze

4.1 Transportprognose für retardierbare und / oder abbaubare Stoffe

4.1.1 Allgemeines

Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen retardierbarer und abbaubarer Stoffe sind unabhängig von der Art des mineralischen Ersatzbaustoffes (also nicht materialspezifisch) sondern hängen von den Stoff-, Bauwerks (mittlere Sickerwasserraten)- und Sorptionseigenschaften der Unterböden ab. Sie gelten demnach materialunabhängig für jeden mineralischen Ersatzbaustoff gleichermaßen und wurden für alle nach dem Fachkonzept von Susset & Leuchs (2008a) beurteilten Einbauweisen und Untergrundkonstellationen berechnet. Aus den maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen werden die medienenschutzbasierten Einbauwerte für jede spezifische Einbausicht durch Multiplikation mit den bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} aus Kapitel 3 und mit dem per Konvention festgelegten Verhältnismäßigkeitsfaktor von 1,5 berechnet. Im Einzelnen werden ME für die in Kapitel 3.2.4, Tabelle 3.7 und in Kapitel 3.3.4, Tabelle 3.17 parametrisierten Einbauweisen aus dem Straßen-, Wege- und Erdbau und aus dem Schienenverkehrswegebau berechnet.

Im ersten Schritt wird wie in Kapitel 4.1.4 (Teil I dieser Bericht) beschrieben das Durchbruchkriterium überprüft:

Für jede Sickerwasserrate, jeden retardierbaren und / oder abbaubaren Stoff und für die beiden Untergrundszzenarien Sand bzw. Lehm/Schluff/Ton wurde eine Transportberechnung mit den analytischen Modellen nach Liedl et al. (2005) nach den Gleichungen 15 (mit Abbau) bzw. 16 (ohne Abbau) (analytische Lösungen der Gleichung von van Genuchten und Alves, 1982) aus dem Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a, vgl. Kapitel 2.3, S. 40, Fachbericht von Oktober, 2008, unter www.uba.de) durchgeführt. Dabei wird iterativ eine konstante maximal zulässigen Quelltermkonzentration bestimmt, die eine Rückhaltung und / oder einen Abbau der Stoffe über einen Beurteilungszeitraum von 200 Jahren bei technischen Bauwerken gewährleisten soll (Durchbruch von GFS/BM nach 200 Jahren, „Grundwasserschutzkriterium“). Susset & Leuchs (2008a) haben diese maximal zulässigen, konstanten Quelltermkonzentrationen für technische Bauwerke im Regelungsbereich der EBV mit einem Beurteilungszeitraum von 200 Jahren, für permanente Verfüllungen im Regelungsbereich der BBodSchV mit einem Beurteilungszeitraum von 500 Jahren (vgl. Kapitel 4.1.1 dieser Bericht) und für den Altlastenbereich (Nachsorge BBodSchV) mit einem Beurteilungszeitraum von 100 Jahren berechnet. Die Berechnungen für permanente Verfüllungen und Altlasten werden bis zum Ende dieses Ergänzungsvorhabens Ende 2011 aktualisiert (hier sind noch Anpassungen an die Weiterentwicklungen der Sorptionsisothermen, neue Bezugsmaßstäbe der BGR etc. notwendig).

Im zweiten Schritt wird wie in Kapitel 4.1.4 (Teil I dieser Bericht) beschrieben das Anreicherungskriterium überprüft:

Für jede Sickerwasserrate, jeden retardierbaren und / oder abbaubaren Stoff und für die beiden Untergrundszzenarien Sand bzw. Lehm/Schluff/Ton wurde eine Anreicherungsberechnung nach Gleichung 23 aus dem Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a, vgl. Kapitel 3.4.3, S. 64, Fachbericht von Oktober, 2008, www.uba.de) zur Bestimmung der maximalen, zulässigen, konstanten Quelltermkonzentration, die eine Anreicherung gemittelt über 1 Meter Bodenzone auf maximal 50 % der Filterkapazität gewährleisten soll („Bodenschutzkriterium“). Susset & Leuchs (2008a) haben auch diese Anreicherungsberechnungen für permanente Verfüllungen und für den Altlastenbereich für einen Beurteilungszeitraum von 100 Jahren und alternativ mit einer höheren Ausschöpfung der Filterkapazität von 0,8 FKmax berechnet. Auch diese Berechnungen werden bis zum Laufzeitende dieses Ergänzungsvorhabens Ende 2011 aktualisiert (Anpassungen an neue Filterkapazitäten wie z.B. für Blei notwendig).

Die Änderungen und Ergänzungen bei den maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen bzw. den medianschutzbasierten Einbauwerten (die ME ergeben sich aus der maximal zulässige Quelltermkonzentration durch Multiplikation mit den bauwerksspezifischen Faktoren und dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5) gegenüber Susset & Leuchs (2008a) sind auf die in Kapitel 5.1 (Teil I, dieser Bericht) detailliert erläuterten Arbeitsschritte zurückzuführen. Sie werden im Folgenden nochmals zusammengefasst:

- Nachrechnung bzw. Ergänzungen der numerischen Straßendamm- bzw. Bahndammmodelle (siehe geänderte / neue Sickerwasserraten) zur Ableitung der bauwerks- und schichtspezifischen Faktoren in den Tabellen 3.7 und 3.17 in Kapitel 3)
- Korrektur des Anreicherungskriteriums von Blei nach BOVA der LABO
- Geänderte Bezugsmaßstäbe der BGR
- Geänderte Sorptionsisothermen für AMPA und sonstige Herbizide sowie Glyphosat nach Fraunhofer Studie
- Aussetzung des Durchbruchskriteriums für AMPA
- Geänderte Linearisierung der Sorptionsisotherme von Vanadium

In Anhang 4 sind die Änderungen der Berechnungsergebnisse gegenüber Susset & Leuchs (2008a) detailliert erläutert.

4.1.2 Eingangsgrößen

Im Folgenden werden zur möglichst transparenten und vollständigen Nachvollziehbarkeit der Berechnungen sämtliche Modelleingangsgrößen aus Susset & Leuchs (2008a) nochmals erläutert sowie die Änderungen und Ergänzungen gekennzeichnet und begründet.

4.1.2.1 Sickerwasserraten und Transportszenarien

Tabelle 4.1 zeigt die für den AE 1 EBV nach Susset & Leuchs (2008a) betrachteten Transportprognoseszenarien und die Ergänzungen und Änderungen für AE 2 EBV im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens. Die ergänzten oder geänderten Sickerwasserraten sind Ergebnis der in Kapitel 3 vorgestellten numerischen Bauwerksmodellierungen.

Tab. 4.1: Gegenüberstellung der geänderten / ergänzten Szenarien und Sickerwasserraten für die Transportberechnung retardierbarer und/oder abbaubarer Stoffe in der unterliegenden Transportzone verschiedener Einbauweisen nach AE 1 EBV bzw. AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011). Es wurden jeweils die lfd. EBV.-Nr. aus den Einbautabellen in den Anhängen 2.2 und 2.3 des Artikel 2 der MantelV zugeordnet. X: in Susset & Leuchs (2008a) für AE 1 EBV nicht betrachtet. Rot markiert und fett: für AE 2 EBV geänderte oder ergänzte Werte.

Sickerwasserraten zur Transportprognose verschiedener EBV-Bauweisen [mm/a]								
	Bahn- bau- weise H modifi- ziert (B4, B8, B10, B15)	Bahn- bau- weise H (B3, B7, B9, B11, B14)	Bauweisen unter Pflas- ter und Schutzwälle (18, 20, 22, 24, 27)	Bahn- bauweisen Standard Damm (B1, B5, B12)	Bahn- bauweisen Standard Einschnitt (B2, B6, B13)	Hinter- füllung von Bauwerken und Dämme im Bösch- ungs- bereich (25, 26)	STS, FSS, Boden- verbesse- rung und Unterbau u. geb. Deck- schicht (11- 13)	Bauweisen unter Plat- tenbelägen und Deck- schichten ohne Binde- mittel (16, 17, 19, 21, 23)
Stand Susset & Leuchs (2008a) AE 1 EBV	X	X	313	X	X	800	800	583
Weiter - entwick- lungen Susset et al. (2011) AE 2 EBV	103	221	313	395	434	453	486	583

4.1.2.2 Bodenkennwerte

Tabelle 4.2 zeigt die Bodenkennwerte für die beiden in den Transportprognosen untersuchten Bodenszenarien Sand und Lehm/Schluff/Ton. Die beiden Bodenkategorien wurden nach der in Kapitel 4.1.4.1. zusammengefassten und in Susset & Leuchs (2008a) detailliert beschriebener Vorgehensweise parametrisiert. Die Bodenkenndaten wurden gegenüber Susset & Leuchs bzw. AE 1 EBV nicht verändert.

Tab. 4.2: Bodenkennwerte für die beiden in den Transportprognosen untersuchten Bodenkategorien Sand und Lehm/Schluff/Ton – keine Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a).

Bodenkategorien der EBV	Sand	Lehm/Schluff/Ton
Sickerstrecke [m]	1	1
Tongehalt (%)	2,46	12
pH (CaCl ₂)	4,8	6,6
TOC [%]	0,1	0,1
Trockenraumdichte [kg/m ³]	1420	1450
effektive Porosität []	0,17	0,26

4.1.2.3 Verteilungskoeffizienten

Wie bei Susset & Leuchs (2008a) wurden Verteilungskoeffizienten für die Stoffe Antimon, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Molybdän, Nickel und Zink durch Linearisierung der für die beiden Bodenkategorien der EBV parametrisierten substratübergreifenden Sorptionsisothermen für das Unterbodenprobenkollektiv von Utermann et al. (2005) abgeschätzt.

Für Vanadium wurde - ebenfalls wie bei Susset & Leuchs (2008) beschrieben - eine Mittelwertbildung der Freundlichparameter aus gemessenen Sorptionsisothermen von Vanadium in 6 Sandböden und 11 schluffigen Böden aus einer zwischenzeitlich veröffentlichten Studie der BGR verwendet (Gäbler et al., 2009). Wie in Kapitel 5.1.6 (Teil I dieser Bericht) begründet, wurde - wie bei allen anderen oben genannten Schwermetallen - ein gängiges Linearisierungsverfahren für den Konzentrationsbereich bis zur Mitte der Konzentrationsspanne für die Bestimmung des linearen Verteilungskoeffizienten von Vanadium verwendet. Susset & Leuchs (2008a) hatten ausschließlich für das Vanadium das noch konservativere „Sekantenverfahren“ bei der Linearisierung eingesetzt (detailliert weiter unten). Die Änderung für AE 2 EBV führt gegenüber AE 1 EBV zu höheren maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen und folglich zu höheren ME für Vanadium.

Für Arsen wurde die Sorption wie bei Susset & Leuchs (2008a) aus einer substratübergreifenden Sorptionsisotherme der BGR hauptsächlich über den Tongehalt abgeschätzt.

Aufgrund der verbreiteten Kritik bzgl. der Nachvollziehbarkeit der Ableitungen von Verteilungskoeffizienten für Schwermetalle aus den Freundlichisothermen und den substratübergreifenden Sorptionsisothermen im Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a, vgl. Kritikpunkte insbesondere in der Synopse zur Stellungnahme der LABO, Kapitel 1.1.3.1) wird dieser Verfahrensweg im nachfolgenden Kapitel 4.1.3.1 nochmals näher betrachtet und alle für eine Nachrechnung benötigten Eingangsgrößen genannt.

Die Ableitung von Verteilungskoeffizienten von organischen Stoffen und der Abbauraten im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens ist mit der Vorgehensweise nach Susset & Leuchs (2008a) identisch: Für die organischen Stoffe wurde analog Grathwohl (2004) mit empirischen Korrelationen nach Seth et al. (1999), Karickhoff et al. (1979), Grathwohl und Rahman (2002) sowie nach Chiou et al. (1979) unter Verwendung von Wasserlöslichkeiten bzw. von Oktanol-/Wasserverteilungskoeffizienten ein entsprechender K_{OC} -Wert für den organischen Einzelstoff bzw. die repräsentative Modellsubstanz berechnet. Die bodenspezifischen K_d -Werte ergeben sich dann für den Fall einer linearen Sorption vereinfacht aus den gegebenen Gehalten an organisch gebundenen Kohlenstoff aus dem K_{OC} - f_{OC} -Konzept nach Karickhoff et al. (1979) berechneten K_{OC} -Werten. Analog zur Vorgehensweise bei PAK wird bei den Stoff-

gruppen KW, PCB, BTEX und LHKW die Eigenschaft einer typischen, Verbindung mit mittlerer Sorptionsneigung (bzw. Wasserlöslichkeit) zugeordnet (Grathwohl, 2004). Beispielsweise wird für KW das Oktan, für PCB das PCB-52, für BTEX das Toluol und für LHKW das Trichlorethen herangezogen (Tab. 3.4.2.1 in Kapitel 3.4.2 in Susset & Leuchs, 2008a). In einer Stellungnahme des Altlastenausschusses (ALA) der Länderarbeitsgemeinschaft Boden (LABO) zu den Stoffdaten der Tab. 3.4.2.1 in Susset & Leuchs (2008a) im Nachgang des Fachgespräches des BMU mit den Technischen Ausschüssen der Länderarbeitsgemeinschaften Boden, Abfall und Wasser am 25.06.2008 in Berlin, wurde insbesondere ein Konkretisierungsbedarf bezüglich der Auswahl der Verteilungskoeffizienten und Abbauraten der organischen Stoffe im Fachkonzept von Susset & Leuchs (2008a) gesehen. Hierzu sei auf die fachliche Stellungnahme des Projektnehmers mit Begründungen zu den einzelnen Parametrisierungen verwiesen (wurde am 12.11.2008 an das UBA mit der Bitte um Veröffentlichung übermittelt, vgl. auch Kapitel 1.1.3.1). In Kapitel 4.1.2.3.2 gehen wir nochmals auf die wichtigsten Punkte ein.

Für weitere organische Stoffe, einschl. einiger Herbizide, die für Gleisschotter relevant sind, hatte das Fraunhofer Institut Schmallenberg dankenswerterweise Daten zur Verfügung gestellt (vgl. Tabelle 3.4.2.1 in Susset & Leuchs, 2008a). Wie in Kapitel 5.1.4 (Teil I dieser Bericht) besprochen, wurden die Verteilungskoeffizienten für die Herbizide Glyphosat und AMPA sowie sonstige Herbizide an neue Ergebnisse von zwischenzeitlich durchgeführten Sorptionsuntersuchungen des Fraunhofer Instituts Schmallenberg mit repräsentativen Unterböden angepasst (vgl. Kapitel 4.1.2.3.3).

4.1.2.3.1 Ableitung konzentrationsabhängiger Verteilungskoeffizienten für Schwermetalle aus Freundlichisothermen

Freundlichisothermen

Begründungen für Auswahl und Geeignetheit der substratübergreifenden Sorptionsisothermen für Unterbodenproben nach Utermann et al. (2005) finden sich in Susset & Leuchs (2008a) und in Utermann et al. (2005) (siehe auch eingehende Diskussion in Gäbler et al., 2009). Nach Gleichung 2.4-4, Seite 40 in Utermann et al. (2005) gilt:

$$\log C_s = \log K^* + a \text{ pH} + b \log T_{\text{on}} + c \log C_{\text{org}} + d \log M_{\text{nox}} + n \log C_w \quad (8)$$

mit dem intrinsischen Sorptionskoeffizienten $K^* [\mu\text{g}^{1-n} \text{ L}^n \text{ kg}^{-1}]$, dem Feststoffgehalt $C_s [\mu\text{g/kg}]$, dem pH-Wert im Boden [], dem organisch gebunden Kohlenstoffgehalt $C_{\text{org}} [\%]$, dem Oxalat-löslichen Mangangehalt $M_{\text{nox}} [\text{mg/kg}]$, der Konzentration im (Sicker-)Wasser $C_w [\mu\text{g/L}]$, dem Freundlich-Exponenten $n [-]$ sowie den empirischen Koeffizienten $a-d$.

Die empirischen Koeffizienten wurden durch Utermann et al. (2005) mittels multipler linearer Regressionsanalyse von Messdatensätzen mit insgesamt 388 Proben von 133 Standorten (Acker und Grünland) und mit bis zu über 1400 Sorptionsisothermen pro Parameter ermittelt (Probenanzahlen für die verschiedenen Schwermetalle in Tabelle 4.3). Die Arsen- und Vanadiumisothermen waren nicht Gegenstand des BMBF-Sickerwasserprognoseprojekts der BGR (Utermann et al., 2005). Die Freundlichparameter der Arsen- und Vanadiumisothermen wurden aus Messdatensätzen der BGR direkt bestimmt (siehe Tabelle 4.4 und 4.5).

Tab. 4.3: Anzahl untersuchter Proben für die Ableitung substratübergreifender Schwermetallisothermen nach Utermann et al. (2005). Die Arsen- und Vanadiumisothermen wurden aus Datensätzen der BGR direkt bestimmt

Parameter	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Zn
Anzahl untersuchter Böden n	341	290	322	319	339	271	332	315

Zur Bestimmung der Schwermetallisothermen von Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb und Zn für die Bodenszenarien der EBV wurde Gleichung 8 mit den Koeffizienten für das Probenkollektiv von Unterböden nach Utermann et al. (2005, vgl. Tabelle 3.2-9 auf Seite 96 im BGR-Bericht) parametrisiert (vgl. Tabelle 4.4). Die Schwermetallisotherme von As wurde in Susset & Leuchs (2008a) mit den in Tabelle 4.4 gezeigten Koeffizienten aus einer separaten Studie von Schug et al. (1999) parametrisiert, welche die BGR zur Umsetzung im Konzept empfohlen hat. Dieser Untersuchung liegen 40 untersuchte Proben zu Grunde.

Tab. 4.4: Koeffizienten zur Parametrisierung der substratübergreifenden Sorptionsisotherme für Unterbodenproben (Tabelle 3.2-9 in Utermann et al., 2005).

	$\log K^*$ [$\mu\text{g}^{1-n} \text{L}^n \text{kg}^{-1}$]	pH (CaCl ₂)	log Ton	log C	log Mnox
Antimon	3,004	-0,352	0,692	0,841	
Arsen	1,22		0,04		
Blei	1,019	0,393	0,333	0,598	0,249
Cadmium	-1,493	0,583	0,501	0,835	
Chrom	3,084			0,787	
Kupfer	0,590	0,364	0,428	0,726	
Molybdän	5,467	-0,671	0,726	0,621	
Nickel	-0,616	0,417	0,535	0,757	
Zink	-0,165	0,49	0,435	0,574	

Die Freundlichparameter für die Vanadiumisotherme in Sand bzw. Schluff/Lehm/Ton (Tabelle 4.5) ergibt sich aus der Mittelung gemessener Freundlichparameter für 5 Sandböden und 11 Schluffböden nach Gäbler et al. (2009).

Tab. 4.5: Gemittelte Freundlichparameter für Vanadium in den beiden Bodenkategorien der EBV abgeleitet aus Gäbler et al. (2009)

Vanadium-Isotherme	K_{Fr} [$\mu\text{g}^{1-n} \text{L}^n \text{kg}^{-1}$]	1/n []
Sand	481	0,48
Lehm/Schluff/Ton	2104	0,54

Diskussion der Unsicherheiten

Utermann et al. (2005) haben alle Datensätze und Regressionen einer statistischen Unsicherheitsanalyse unterzogen (vgl. adjustierte Bestimmtheitsmaße der Regressionen in Tabelle 3.2-9, S. 96 Utermann-Bericht). Gäth & Luckner (2008, Gutachten zum Fachbericht Susset & Leuchs, 2008a, siehe auch Kapitel 1.1.3.2) kritisieren insbesondere die vergleichsweise hohen Unsicherheiten bei den Sorptionsisothermen von Arsen, Chrom und Vanadium, die sich auch in vergleichsweise niedrigeren Bestimmtheitsmaßen ausdrücken. Diese Unsicherheiten wurden im BMU-Workshop zu AE1 EBV und am 05.11.2010 in einem weiteren Expertengespräch nochmals eingehend diskutiert:

Als Ergebnis des Expertengesprächs wurde festgestellt, dass die Grenzwertableitungen aller für die EBV bewertungsrelevanter Schwermetalle außer Vanadium und Arsen auf substratübergreifenden Sorptionsisothermen mit vergleichsweise großen Probenkollektiven basieren,

die für über 300 gemessene Sorptionsisothermen (Proben) mit über 1400 Isothermenpunkten abgeleitet und statistisch ausgewertet wurden. Das Probenkollektiv für Vanadium und Arsen tritt deutlich dahinter zurück. Das BMU begrüßt deshalb die weitere Absicherung durch Überprüfung der Sorptionsisothermen für Vanadium und Arsen an repräsentativen Sandböden. Hierzu soll in naher Zukunft ein Untersuchungsprogramm zur Erstellung weiterer Sorptionsisothermen und Durchführung von Bodensäulenversuchen im Labor initiiert werden. Dennoch war man sich einig, dass die Ableitungen zum aktuellen Stand des Wissens den Stand der Technik darstellen. Daraufhin wurde der Projektnehmer damit beauftragt, die Grenzwertableitungen für AE 2 EBV auf Basis der oben vorgestellten Sorptionsdaten für Schwermetalle durchzuführen.

Linearisierung der Freundlichisothermen zur Bestimmung von Verteilungskoeffizienten für bestimmte Konzentrationsbereiche

Wie in Kapitel 4.1.4.1 (Teil I, dieser Bericht) beschrieben wurden für die Transportberechnung mit der analytischen Lösung der Advektions-Dispersionsgleichung nach Liedl et al. (2005), die Freundlichisothermen für den jeweiligen bewertungsrelevanten Konzentrationsbereich linearisiert und konzentrationsabhängige Verteilungskoeffizienten berechnet.

Susset & Grathwohl (2008, www.qrb.de) begründen in ihrer Stellungnahme zum Gutachten Gäth & Luckner (2008) nochmals die Geeignetheit einer linearisierten Isotherme - also die Verwendung von konstanten Verteilungskoeffizienten für die Transportprognose in den relevanten Konzentrationsbereichen: „Die Sorptionsisotherme wird benötigt um die Retardation der Schadstofffront abzuschätzen. Potenzielle Hystereseeffekte bei der Desorption, deren Berücksichtigung gefordert wurde, sind den Transport von Schadstofffronten nicht relevant. Im Übrigen zeigen organische Stoffe i.d.R. keine Hysterese bei den Sorptionsisothermen“ (vgl. Susset & Grathwohl 2008, www.qrb.de).

Abbildung 4.1 veranschaulicht zwei verschiedene Teillinearisierungsverfahren:

1. „ K_d Mitte“: Die Steigung wird zwischen 1/10 GFS bzw. BM und Mitte des Konzentrationsbereichs von GFS/BM bis maximal zulässiger Konzentration bestimmt.
2. „ K_d Sekante“: Die Steigung wird für die Konzentrationsspanne zwischen Maximum und 1/10 GFS bzw. BM bestimmt.

Wie in Kapitel 5.1.6 (Teil I, dieser Bericht) diskutiert führt die Linearisierung durch die Mitte der betrachteten Konzentrationsspanne zu einer Unterschätzung der Sorption im Niedrigkonzentrationsbereich und zu einer Überschätzung der Sorption im mittleren bis hohen Konzentrationsbereich, während die Linearisierung über die Sekante über den gesamten Konzentrationsbereich bis zur maximal zulässigen Konzentration die Sorption unterschätzt und erst darüber überschätzt.

Das LANUV NRW (Susset & Leuchs, 2008a) hatte ausschließlich für das Vanadium das sehr konservative Verfahren einer Linearisierung der Freundlichisotherme über die Sekante für die Ermittlung des Verteilungskoeffizienten zwischen Feststoff und Wasser (K_d) und die darauf aufbauende Grenzwertableitung für AE 1 EBV angewendet. Bei allen anderen Metallen wurde im Fachkonzept nach Susset & Leuchs (2008a) das gängige Linearisierungsverfahren durch die Mitte der Konzentrationsspanne angewendet. Beide Verfahren wurden im Expertengespräch vom 05.11.2010 für die Modellierung des Durchbruchs der Konzentrationsfront als hinreichend konservativ eingeschätzt, weil beide Verfahren die Geschwindigkeit der vorseilenden niedrigen Konzentrationen der dispersiven Konzentrationsfront unterschätzen. Schließlich wird im Niedrigkonzentrationsbereich der Geringfügigkeitsschwellen oder Bezugsmaßstäbe am Ort der Beurteilung der Durchbruch bestimmt. Im Expertengespräch wurde der Projektnehmer damit beauftragt, für den AE 2 EBV den K_d -Wert von Vanadium wie bei allen anderen Schwermetallen ebenfalls über die Mitte der Konzentrationsspanne zu ermitteln und die Ableitungen von medienschutzbasierten Einbauwerten und Bewertungen der mineralischen Ersatzbaustoffe entsprechend anzupassen.

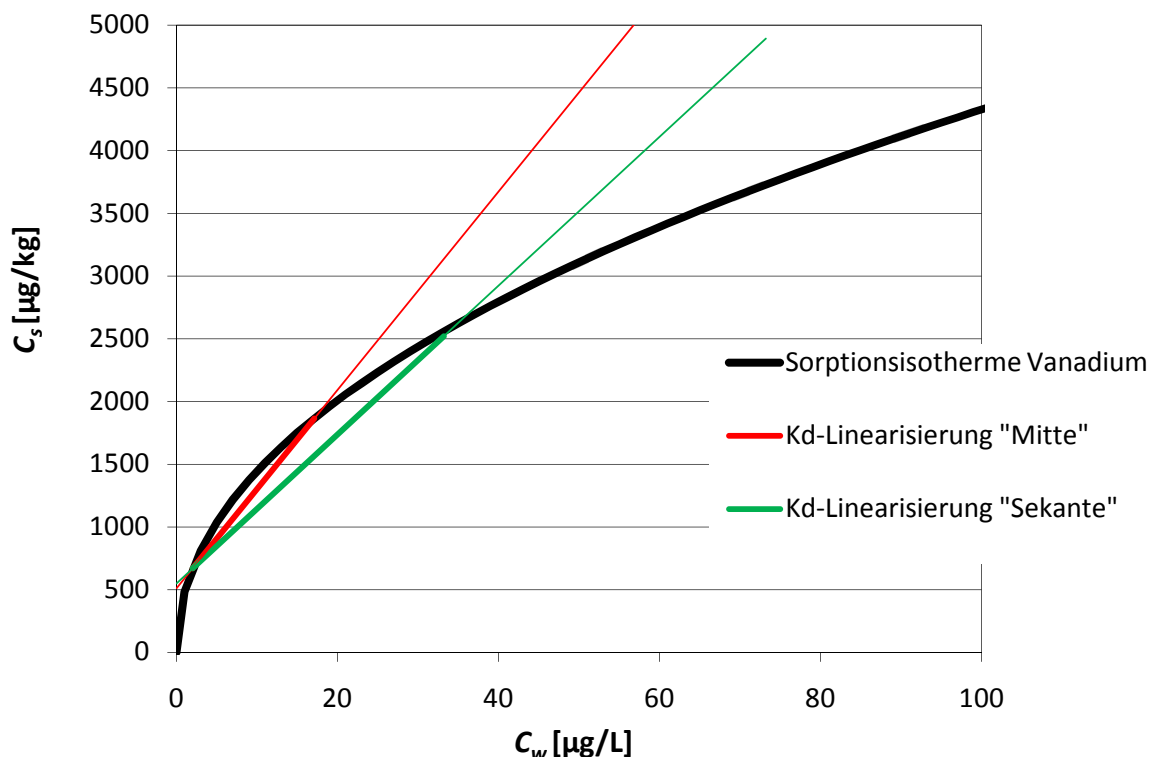


Abb. 4.1: „Sekantenverfahren“ und „ K_d -Mitte-Verfahren“ zur Bestimmung eines linearen Verteilungskoeffizienten aus Freundlichisothermen am Beispiel von Vanadium.

4.1.2.3.2 Verteilungskoeffizienten und Abbauraten organischer Stoffe

In der Stellungnahme des ALA der LABO zu den Stoffkennndaten organischer Stoffe in Tabelle 3.4.2.1 im Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a) werden folgende fachliche Anregungen gegeben:

- Orientierung der K_{OC} -Werte und Halbwertszeiten (HWZ) an mit PCKOCWIN bzw. BIOWIN aus dem US-EPA EPI-Suite Paket berechneten Werten, wie in ALTEX-1D durch ALA der LABO umgesetzt (ALTEX 1 D ist ein analytisches Modell, dass durch die LABO für die Transportprognose im Rahmen der Altlastenbearbeitung empfohlen wird).
- Konkret bewertet der ALA der LABO die in Tabelle 4.6 rot markierten Werte aus Susset & Leuchs (2008a) im Vergleich zu den durch das Fraunhofer Institut Schmallenberg mit MCPOLMO abgeleiteten Werten als nicht hinreichend konservativ und bittet um Überprüfung.
- Für Oktan und Toluol wird die Annahme von Susset & Leuchs (2008a) einer Nichtabbaubarkeit als Widerspruch zu den Erfahrungen der LABO gesehen

Tab. 4.6: Gegenüberstellung von Sorptionsparametern und Halbwertszeiten aus Susset & Leuchs (2008a) und Stoffkennndaten aus verschiedenen Ableitungsmodellen für organische Parameter durch den ALA der LABO. Der ALA LABO kritisiert insbesondere die rot und fett markierten Werte als nicht hinreichend konservativ und empfiehlt die Verwendung mit PCKOCWIN bzw. BLOWIN berechneten und in ALTEX 1D umgesetzten Werte für die Grenzwertableitungen in der EBV (Originaltabelle aus Stellungnahme des ALA der LABO vom 10.07.2008).

	Werte aus Tab. 3.4.2.1 (Susset & Leuchs, 2008a) abgeleitet mit TOC für EBV-Szenarien von 0, 1 %					Stoffdaten EPI-Suite			Bericht Fraunhofer Institut Schmallenberg		
						PCKO CWIN	Bio- win3	Bio- win4	Anh.1/ Tab. 2	Anh.1/ Tab. 2	(be- rech- net)*
Stoff	Modell- sub- stanz	log (K _{OC}) [L/kg]	K _{OC} [L/kg]	K _d [L/kg]	HWZ [d]	K _{OC} [L/kg]	HWZ [d]	K _{OC} [L/kg]	HWZ [d]		
PAK15	Fth/Py,	5,12	131826	132	70						
	Fluor- anthen,					70850	1,9529	2,8537	12302,7	164,3	164,2
	Pyren					69410	1,9529	2,8537	12302,7	164,3	164,2
Naphthalin		3,16	1445	1,45	30	1837	2,33	3,32	467,7	79,3	79,3
MKW	Oktan	4,68	47863	47,8	-	506,7	3,5434	4,2211	507	8	7,6
BTEX	Toluol	2,06	115	0,116	-	268	2,9427	3,6512	144,5	24,3	24,3
LHKW	Trichlor- ethen	2,13	135	0,134	-	67,7	2,3893	3,3563	125,9	70,7	70,7
PCB6	PCB-52	4,42	26303	26,6	-	44820	1,7275	2,7651	173800	254	253,6
Phe- nol(index)		1,4	25	0,0251	4	268	3,0696	3,7565	64,6	19	19,0
Nonyl- phenol		4,5	31623	31,6	10	40170	2,6937	3,501	3380	13	39,3
Chlor- phenole	Trichlor- phenol	2,5	316	0,316	10	1186	2,1994	3,1065	645,7	102	102,0
Chlor- benzole	PCB-52	4,42	26303	26,6	-	44820	1,7275	2,7651	173800	254	253,6
Hexachlor- benzol		4,75	56234	56,2	-	3380	1,3302	2,4448	6918,3	547,1	546,1
Atrazin		2,17	148	0,148	80	230,4	2,0002	3,0969	263	149,9	149,8
Bromacil		1,86	72	0,0724	180	104,1	2,6511	3,5064			42,7
Diuron		2,6	398	0,398	135	136	2,2709	3,1808	218,8	88,8	88,9
Glyphosat		3,42	2630	2,63	60	18,79	3,2146	4,0327			14,4
Simazin		2,13	135	0,134	46	149	2,0312	3,1172	166	141,2	141,1

* Werte berechnet nach Formel 18/S. 28 Fraunhofer-Bericht/Klein

Diskussion:

Wie der ALA der LABO in seiner Stellungnahme richtig feststellt, besteht ein bekanntes Problem darin, dass die in der Literatur bekannten K_{OC}-Werte und Halbwertszeiten stoffspezifisch eine enorme Bandbreite aufweisen können. Insofern empfiehlt der ALA der LABO sich bei der Ableitung auf möglichst breit konsentrierte Datenquellen wie in Tabelle 4.6 angegeben zu stützen. Wie an verschiedenen Stellen in diesem Bericht diskutiert, müssen für das generalisierte Ableitungskonzept der EBV allerdings konkrete Grenzwerte abgeleitet werden, die möglichst konservativ sein sollten. Hierfür ist die Festlegung konkreter Sorptionsparameter notwendig. Die in der Tabelle 4.6 durch den ALA der LABO empfohlenen Sorptionsparameter und Abbauraten weisen i.d.R. solch hohe Spannbreiten auf, dass sie zur notwendigen Konkretisierung von Sorptionsparametern für die EBV nur wenig beitragen können. Eine Möglichkeit sich der Problematik anzunähern bietet die Untersuchung, ob und für welche in

der Tabelle 4.6 markierten Parameter die Unterschiede zwischen Werten nach Susset & Leuchs und empfohlenen Werten des ALA der LABO für die Fragestellung der medien-schutzbasierten Beurteilung von mineralischen Ersatzbaustoffen im Regelungsbereich der EBV eine Rolle spielen. Dies wurde im Einzelnen für folgende Fälle untersucht:

PAK₁₅, Naphtalin, PCB:

Insbesondere bei den PAK „bietet“ die Literatur nahezu beliebige Bandbreiten von K_{OC} -Werten und Abbaukonstanten „an“. Bei der Festlegung von Sorptionsparametern und Abbauraten für die Transportmodellierungen der EBV-Szenarien haben sich Susset & Leuchs (2008a) an sehr gut belegten Korrelationen nach Allen-King et al. (2002) orientiert und schließlich die Verwendung einer Ableitung nach dem Karickhoff-Modell wie folgt begründet (vgl. Susset & Leuchs, 2008b):

„Für PAK wurde der K_{oc} nach zwei verschiedenen, nach Grathwohl (2004) und Allen-King (2002), besonders gut belegten (durch kritische Bewertung von Literaturdaten und neue präzise Messungen) empirischen Korrelationen abgeleitet und die Ergebnisse verglichen. Bei Variante 1 wurde der K_{oc} nach Karickhoff et al. (1979) aus dem Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient K_{ow} einer für die $\Sigma 15$ EPA PAK repräsentativen Modellsubstanz berechnet. Bei Variante 2 wurde der K_{oc} nach Seth et al. (1999) aus der Wasserlöslichkeit S_{eff} einer für die $\Sigma 15$ EPA PAK repräsentativen Modellsubstanz abgeleitet. Diese empirischen Korrelation wurden von Rügner et al. (2005) und Henzler et al. (2006) für eine LABO-Studie zur Beurteilung der Empfindlichkeit der Filter und Pufferfunktion von Unterböden verwendet (Länder-LABO-Projekt „LABO 2003 B 2.03“).“

Die für die $\Sigma 15$ EPA PAK verwendeten K_{ow} und S_{eff} repräsentieren in etwa Fluoranthren/Pyren mit $\log K_{ow} = 5,33$ L/kg und $S_{eff} = 2,5$ mg/L (vgl. Grathwohl, 2004). Nach der Korrelation von Karickhoff resultiert ein $\log K_{oc}$ von 5,12 L/kg. Die Karickhoff-Korrelation ist eine der wenigen Korrelationen, die auf natürlichen Sedimentproben beruht und deshalb im EBV-Fachkonzept eingesetzt.

Als Abbauratenkonstante für die $\Sigma 15$ EPA-PAK wurde eine mittlere (d. h. über das Jahr gemittelte) Abbauratenkonstante mit einer HWZ von 70 Tagen nach Rügner et al. (2005, LABO-Bericht, zusammengefasst in Henzler et al. 2006) verwendet. Nach Rügner et al. (2005) und Beyer et al. (2007, 2008) ist diese Halbwertszeit eine sehr konservative Abschätzung bzw. „Worst-case“-Annahme für organische Schadstoffe (in der internationalen Literatur werden verbreitet kleinere HWZ berichtet). Dies gilt insbesondere für die Summe der PAK im Wasser, die bei den typischen PAK-Verteilungsmustern (vgl. hierzu Verteilungsmuster im Sickerwasser von Feldlysimetern in Susset & Leuchs, 2008b) zum größten Anteil aus den niedrig bis moderat kondensierten, d.h. noch besser abbaubaren Einzelspezies, besteht. Thiem & Stieber (2005 und 2006) messen im Rahmen von BMBF-Sickerwasserprognose Halbwertszeiten von 7 Stunden für Fluoranthren (4- Ring-PAK) selbst in Laborsäulenversuchen mit Bauschutt (Referenzmaterial, BAM). Diesen stellen Stieber et al. eine Literaturrecherche von HWZ im Labor und Feld gegenüber und finden für Phenanthren HWZ von 15 Tagen im Feld und HWZ für Phenol im Labor von wenigen Minuten. Insgesamt ist deshalb davon auszugehen, dass die PAK in der ungesättigten Zone unter Feldbedingungen noch deutlich schneller abgebaut werden, als hier mit einer HWZ von 70 Tagen hinreichend konservativ abgeschätzt wird.

Bei PCB kommt man mit einem gut belegten Ansatz auf wesentlich geringere K_{OC} -Werte. Auch die durch ALA der LABO in Tabelle 4.6 empfohlenen weniger konservativen HWZ und K_{OC} -Werte führen nicht zu einer Veränderung der medien-schutzbasierten Einbauwerte der EBV, da trotz höherer Werte der LABO keine hinreichende Rückhaltung (länger als 200 Jahre) gefunden wird.

MKW:

Der Parameter MKW ist für den Regelungsbereich der EBV weitestgehend irrelevant und wird ausschließlich als Materialwert im Eluat von Böden festgelegt. Die hier verwendeten Sorptionsparameter führen in den günstigen Fällen Sand und Lehm/Schluff/Ton je nach Szenario auch ohne Anrechnung des Bioabbaus zu geringfügig bis moderat gegenüber der GFS erhöhten zulässigen medienschutzbasierten Einbauwerten von 250 µg/L bis 600 µg/L. Die durch ALA der LABO empfohlenen Halbwertszeiten würden nach dem Durchbruchkriterium zu extrem erhöhten zulässigen Eluatkonzentrationen führen, die nur noch über das Anreicherungskriterium bei 700 bis > 1000 µg/L gedeckelt wären. Für den Regelungsbereich der Verwertung von aufbereiteten Böden in technischen Bauwerken der EBV sind solch hohe Konzentrationen nicht erforderlich und wohl auch nicht wünschenswert. Eine Überarbeitung der Werte für den Regelungsbereich permanenter Verfüllungen (500 Jahre) und Altlastenbeurteilung (100 Jahre) ist zum Stand dieses Berichts noch nicht erfolgt, kann aber in den laufenden Arbeitsplan bis Ende 2011 aufgenommen werden.

LHKW und Nonylphenol:

Die Sorptions- und Abbauparameter von LHKW und Nonylphenol spielen für den Regelungsbereich der EBV und dieses Fachkonzept keine Rolle, da für AE 2 EBV nur ein Materialwert für LHKW im Feststoffgehalt von Böden festgelegt wurde, der mit dem hier vorgestellten medienschutzbasierten Fachkonzept nicht in Verbindung steht.

Hexachlorbenzol

Der Parameter Hexachlorbenzol ist für den Regelungsbereich der EBV weitestgehend irrelevant und wird ausschließlich als Materialwert im Eluat von Böden festgelegt. Die hier verwendeten Sorptionsparameter führen in den günstigen Fällen Sand und Lehm/Schluff/Ton je nach Szenario auch ohne Anrechnung des Bioabbaus wie bei Susset & Leuchs (2008a) zu geringfügig bis moderat gegenüber der GFS erhöhten zulässigen medienschutzbasierten Einbauwerten von 0,02 µg/L bis 12 µg/L. Für den Regelungsbereich der Verwertung von aufbereiteten Böden in technischen Bauwerken der EBV sind höhere Konzentrationen nicht erforderlich und wohl auch nicht wünschenswert. Eine Überarbeitung der Werte für den Regelungsbereich permanenter Verfüllungen (500 Jahre) und Altlastenbeurteilung (100 Jahre) ist zum Stand dieses Berichts noch nicht erfolgt. Bei der Ergänzung dieser Berechnungen im weiteren Verlauf dieses Projekts, kann die Diskussion der Sorptionsparameter von Hexachlorbenzol mit Blick auf den Altlastenbereich wieder aufgenommen werden.

Herbizide

Die Diskussion zum K_{oc} – Wert von Diuron ist irrelevant, da sowohl die Werte nach Susset & Leuchs als auch nach den Empfehlungen des ALA der LABO in Tabelle 3.6 i.d.R. zu einer nicht ausreichenden Rückhaltung führen. Geringfügig höhere zulässige Werte ergeben sich nur in den Bahnbauweisen H und H modifiziert.

K_{oc} und HWZ der Herbizide wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut Schmallenberg parametrisiert. Im Zuge des Ordnungsverfahren wurden die Ableitungen für Glyphosat und AMPA neu überarbeitet und entsprechend angepasst (siehe nachfolgendes Kapitel 4.1.3.3).

Phenolindex:

Ob der Phenolindex mit einem K_{oc} von 25 L/kg nach Susset & Leuchs (2008a) oder 65 bis 268 L/kg nach ALA der LABO (vgl. Tabelle 4.6) berücksichtigt wird ist für das EBV-Konzept irrelevant, da in allen Fällen keine hinreichende Rückhaltung erfolgt (Durchbruch erfolgt nach weniger als 200 Jahren). Allerdings führen hier in allen Fällen die niedrigen Halbwertszeiten von 4 Tagen (Susset & Leuchs, 2008a) aber auch 3,7 – 19 Tagen nach ALA der LABO (vgl. Tabelle 4.6) immer zu extrem hohen zulässigen Konzentrationen. Diese wurden durch Susset & Leuchs (2008a) per Konvention mit 2000 µg/L gedeckelt.

Fazit

Aus den konkretisierenden Hinweisen des ALA der LABO ergibt sich kein inhaltlicher oder konzeptioneller Änderungsbedarf für den Regelungsbereich der ErsatzbaustoffV, weil:

- MKW, LHKW, Nonylphenol und Hexachlorphenol für den Regelungsbereich der EBV entweder von vornherein nicht relevant sind oder die empfohlen Bandbreiten von Sorptions- und Abbauparametern keine Auswirkungen auf die Höhe der hier abgeleiteten medianschutzbasierten Einbauwerte haben;
- die Ableitungen der Sorptionsparameter und Halbwertszeiten für die 16 EPA PAK auf neuesten Erkenntnissen im BMBF-Sickerwasserprognose basieren, in der Fachliteratur als hinreichend konservativ erachtet werden und die empfohlenen Parameter Bandbreiten aufweisen, die keine systematische Bewertung für ein generalisiertes Regelwerk wie die EBV erlauben;
- auch die K_{OC} – Werte von Diuron für den Regelungsbereich der EBV zu einer nicht ausreichenden Rückhaltung führen und damit alle empfohlenen Werte unverändert bleiben.

Folglich ergeben sich für den AE 2 EBV mit Ausnahme der Herbizide Glyphosat und AMPA und sonstigen Herbiziden keine Änderungen bei der medianschutzbasierten Beurteilung von organischen Schadstoffen (Anpassung der Sorptionsparameter an neuen Erkenntnisstand vgl. nachfolgendes Kapitel).

4.1.2.3.3 Geänderte Sorptionsisothermen für AMPA und Sonstige Herbizide und Glyphosat nach Studie des Fraunhofer Instituts Schmallenberg von 2008 und Aussetzung des Durchbruchkriteriums für AMPA und sonstige Herbizide

Wie in Kapitel 5.1.4 (Teil I dieser Bericht) dargestellt, wurden durch das Fraunhofer Institut Schmallenberg im Auftrag der DB Sorptionsuntersuchungen mit repräsentativen Unterböden für die Stoffe Glyphosat und AMPA durchgeführt. Durch die BGR wurden zwei repräsentative Böden für die Untersuchungen bereitgestellt, an welchen aus Kapazitätsgründen das Bahn-Umwelt-Zentrum Adsorptionsisothermen durchgeführt hat. Das Fraunhofer Institut Schmallenberg fasst die Ergebnisse wie folgt zusammen (Gutachten zur Untersuchung der Sorption von Glyphosat und dessen Abbauprodukt AMPA an Unterböden, Gutachten DB/Fraunhofer Institut vom 21.01.2009, unveröffentlicht, im Eigentum der DB):

„Die Ableitung von Verteilungskoeffizienten für die unpolaren Verbindungen wie PCB oder PAK anhand des Koc-/foc-Konzepts in Susset & Leuchs (2008a) entspricht dem Stand der Technik. Bei der Sorption der polaren Stoffe Glyphosat und dem Abbauprodukt AMPA sind jedoch mehrere Prozesse beteiligt, die durch das Koc-/foc-Konzept nicht hinreichend berücksichtigt werden können. Neben der Bindung an den organisch gebundenen Kohlenstoff erfolgt zusätzlich eine Bindung z.B. an Tonmineralen und Sesquioxiden. Deshalb wird das Rückhaltevermögen der Stoffe durch den Unterboden nach UBA-Fachkonzept grundsätzlich unterschätzt.“

Die Empfehlung von K_d -Werten für die Stoffe Glyphosat und AMPA durch das Fraunhofer Institut für AE 2 EBV der ErsatzbaustoffV basiert auf einem Abgleich der Messergebnisse der Sorptionsisothermen der DB an repräsentativen Unterböden mit Literaturwerten. Vor diesem Hintergrund empfiehlt das Fraunhofer Institut für den günstigen Fall Schluff/Lehm/Ton der ErsatzbaustoffV die in den aktuellen Messungen ermittelten K_d -Werte von im Mittel 370 L/kg für Glyphosat und 54 L/kg für AMPA. Letztere sind mit Literaturwerten vergleichbar und plausibel.

Die K_d -Werte für sandige Böden waren im Vergleich zu den Literaturwerten jedoch extrem hoch, was auf die pH-Abhängigkeit zurückgeführt werden kann. Das Fraunhofer Institut sah zur Absicherung weiteren Untersuchungsbedarf und empfahl als Kompromisslösung die Anwendung des Glyphosat-Wertes in Sand von 77 L/kg aus einer Untersuchung von Fresenius zur Grenzwertableitung von Glyphosat und AMPA im Szenario „Sand“ der ErsatzbaustoffV (vgl. DB-Gutachten des Fraunhoferinstituts vom 21.01.2009 sowie Projektbericht 08 028 25

der DB-Netz AG (Bahn-Umwelt-Zentrum) vom 10.12.2008 zu Sorptionsversuchen ausgewählter Herbizide an Unterböden, unveröffentlichte Gutachten).

Die Gutachten wurden dem BMU durch die DB Netz AG am 29.01.2009 zur Verfügung gestellt. Das BMU hat uns daraufhin damit beauftragt, die in Tabelle 4.6 gelisteten K_d -Werte zur Berechnung des Durchbruchkriteriums von AMPA, sonstige Herbizide und Glyphosat im Ergänzungsvorhaben einzusetzen.

Tab. 4.7: Vergleich der K_d -Werte von Glyphosat und AMPA nach Susset & Leuchs (2008a) mit den durch das Fraunhofer Institut Schmallenberg im Auftrag der DB auf der Grundlage von neuen Sorptionsmessungen mit repräsentativen Böden neu abgeleiteten K_d -Werten.

	K_d-Werte nach Susset & Leuchs (2008a) für AE1 EBV [L/kg]	K_d-Werte nach Fraunhofer Institut Schmallenberg (2008) für AE2 EBV [L/kg]
Bodenkategorie Sand		
Glyphosat	2,63	77
AMPA, sonstige Herbizide	0,08	77
Bodenkategorie Schluff/Lehm/Ton		
Glyphosat	2,63	370
AMPA, sonstige Herbizide	0,08	54

Wie in Kapitel 5.1.5 (Teil I dieser Bericht) begründet, wurde das Durchbruchkriterium von AMPA im Auftrag des BMU für die abschließenden Bewertungen in AE 2 EBV ausgesetzt. Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen und die medianschutzbasierten Einbauwerte in den günstigen Fällen ergeben sich für AMPA alleine aus dem Anreicherungskriterium (vgl. Kapitel 4.1.3.3), für den ungünstigen Fall hat das BMU den in Kapitel 5.1.5 (Teil I dieser Bericht) genannten Konventionswert festgelegt, der hier für die weiteren Bewertungen verwendet wird. Für sonstige Herbizide wurden beide Kriterien (entweder es limitiert das Durchbruchs- oder das Anreicherungskriterium, vgl. Kapitel 4.1.3.3) berücksichtigt.

4.1.2.4 Geänderte Bezugsmaßstäbe nach BGR-Studie 2010

Wie in Kapitel 5.1.3 (Teil I dieser Bericht) erläutert hat die BGR zusätzlich 879 Ober- und Unterbodenproben von 296 unbelasteten Standorten in Deutschland in WF 2 –Eluaten untersucht (Utermann & Fuchs, 2010). Hiermit sollten die bisher für AE 1 EBV statistisch aus WF 5-Eluaten abgeleiteten Bezugsmaßstäbe nochmals in WF 2–Eluaten überprüft und ggf. korrigiert werden sowie hintergrund- und methodenspezifische Prüfwerte für die Novelle der BBodSchV abgeleitet werden. Diese Bezugsmaßstäbe ersetzen dann – entsprechende der Vorgehensweise nach Susset & Leuchs (2008a) - die GFS bzw. die Bezugsmaßstäbe nach Susset & Leuchs (2008a). Die Ergebnisse sind im Fachbericht von Utermann & Fuchs (2010) detailliert beschrieben und in nachfolgender Tabelle 4.8 dargestellt.

Tab. 4.8: Vergleich der Bezugsmaßstäbe für Unterböden (< 1% Humus) als Zielwerte der Modellierungen von medienschutzbasierten Einbauwerte für den ersten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV mit den Ergebnissen der neuen Untersuchungen nach Utermann & Fuchs (2010, BGR-Studie) in WF 2- Eluaten

	Bezugsmaßstäbe für AE 1 EBV / Prüfwerter BBodSchV Umrechnung von WF 5 [µg/L]	95. Perzentil BGR-Daten neue Studie der BGR vom 15.01.2010 WF 2-Eluate [µg/L]	Mit BMU abgestimmte Bezugs- maßstäbe für AE 2 EBV / Prüfwer- te BBodSchV [µg/L]
As	10 (GFS)	7,3	10 (GFS)
Cd	2,5	2,0	2,0
Cr	7 (GFS)	9,9	10
Cu	14 (GFS)	18,8	20
Mo	35 (GFS)	2,3	35 (GFS)
Ni	20	19	20
Pb	9	22,3	23
Sb	5 (GFS)	1,0	5 (GFS)
Zn	120	94	100
V	10	19	20

In Abstimmung mit dem BMU am 30.03.2010 im Nachgang der Besprechung zur Berücksichtigung der Bezugsmaßstäbe aus der BGR-Studie für AE 2 EBV (24.03.2010 in Hannover) wurden die Werte der rechten Spalte in Tabelle 4.8 als Zielwerte (Bezugsmaßstäbe) für die hier vorgestellten Transportberechnungen zur Ableitung von medienschutzbasierten Einbauwerten für den Regelungsbereich der EBV festgelegt. Diese Bezugsmaßstäbe sind auch für die Bewertungen bei der Verfüllung von Abgrabungen in der Novelle der BBodSchV in Artikel 3 der MantelV (BMU, 2011) vorgesehen. Die resultierenden Änderungen der maximal zulässigen Quellstärken und medienschutzbasierten Einbauwerte sind im Anhang 1.1 detailliert dargestellt.

4.1.2.5 Maximale Filterkapazitäten für die Anreicherungsrechnung

Die Filterkapazität ergibt sich gemäß Susset & Leuchs (2008a) nach folgender Gleichung:

$$Fk_{max} = HGW - VW \text{ bzw. } EW \quad (9)$$

Mit der maximalen Filterkapazität Fk_{max} , dem Hintergrundwert HGW , und dem Vorsorgewert VW nach BBodschV bzw. Ersatzwerten EW (in Susset & Leuchs, 2008a).

Nachfolgende Tabelle listet die auf diese Weise abgeleiteten Filterkapazitäten für alle in der EBV betrachteten Stoffe in den beiden Bodenkategorien auf. Änderungen zu Susset & Leuchs (2008a) sind rot und fett markiert, alte Werte durchgestrichen dargestellt. Die maximalen Filterkapazitäten zur Berechnung des Anreicherungskriteriums wurden grundsätzlich nicht verändert. Kleinere Korrekturen im Laufe des Ordnungsverfahrens bei den Hintergrundwerten von Sb, As, Mo, und Vanadium (vgl. Tabelle 4.5) wurden uns durch das BMU ohne weitere Begründung mit der Bitte um Berücksichtigung mitgeteilt. Sie sind für die Ableitungen von ME irrelevant, weil alle zuletzt genannten Stoffe durch das Durchbruchskriterium limitiert sind. Aufgrund der in Kapitel 5.1.2 (Teil I dieser Bericht) ausführlich dargestellten

Empfehlung des BOVA der LABO wurde die Filterkapazität von Blei an die neu empfohlenen Hintergrundwerte angepasst. Diese führt zu einer deutlichen Herabsetzung der maximalen bzw. der ausnutzbaren Filterkapazität (50%-Kriterium) und - da Blei immer durch das Anreicherungskriterium limitiert ist – zu einer entsprechenden Herabsetzung der ME für Blei. Wie in Kapitel 5.1.2 (Teil I dieser Bericht) begründet, wirkt sich diese Korrektur dennoch kaum verwertungslimitierend aus. Änderungen von Vorsorgewerten für AE 2 EBV durch das BMU wurden uns nicht mitgeteilt. Eine Ableitung von Hintergrund-, Ersatz- oder von Vorsorgewerten war nicht Gegenstand dieses Ergänzungsvorhabens.

Tab. 4.9: Ableitung der maximalen Filterkapazität Fk_{max} aus Vorsorgewert VW nach BBodSchV bzw. Ersatzwert EW minus Hintergrundwert HGW , Änderungen zu Susset & Leuchs (2008a) sind rot und fett markiert dargestellt, alte Werte sind durchgestrichen dargestellt. Erläuterungen der Änderungen in Fußnoten.

Parameter	Sand			Lehm/Schluff/Ton		
	VW/EW	HGW	Fk_{max}	VW/EW	HGW	Fk_{max}
	mg/kg					
Antimon	3	0,9	2,1	6	4 ²	5 4
Arsen	12,4	3,8	8,6	32,5	6,4 6,8¹	26,1 25,7
Blei	40	42 30²	28 10	70	29 43²	44 27
Cadmium	0,4	0,24	0,16	1	0,22	0,78
Chrom	30	15	15	60	28	32
Kupfer	20	7	13	40	20	20
Molybdän	2	0,9	1,1	3	0,9 1,8¹	2,1 1,2
Nickel	15	9,4	5,6	50	30	20
Vanadium	100	37	63	150	80 93³	70 57
Zink	60	24	36	150	59	91
Σ15 EPA PAK, Naphtalin	3	0,3 ⁵	2,7	3	0,3 ⁵	2,7
PCB	0,05	0,005 ⁵	0,045	0,05	0,005 ⁵	0,045
MKW	100	10	90	100	10	90
BTEX	1	0,1	0,9	1	0,1	0,9
Chlorphenole, Phenol	6,3	0,63	5,7	6,3	0,63	5,7
Chlorbenzol, Hexachlorbenzol	0,5	0,05	0,45	0,5	0,05	0,45
Herbizide	0,25	0,025	0,23	0,25	0,025	0,23

1: Korrekturen durch BGR im Laufe des Verordnungsverfahrens

2: Anpassungen an Empfehlungen des BOVA der LABO (vgl. Kapitel 5.1.2)

3: Änderung durch BMU ohne weitere Begründung

4.1.3 Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen

4.1.3.1 Durchbruchskriterium

Abbildung 4.2 zeigt exemplarisch für das Szenario Pflasterbauweisen mit Sickerwasserraten von 313 mm/a und für die Bodenkategorien Sand (oben) bzw. Lehm/Schluff/Ton (unten) die Berechnung der maximal zulässigen Quelltermkonzentration für Vanadium, die eine Einhaltung des Bezugsmaßstabes am Ort der Beurteilung nach 1 Meter Sickerstrecke über einen Beurteilungszeitraum von 200 Jahren gewährleistet. Tabelle 4.10 fasst die Eingangsgrößen und die für die bewertungsrelevanten Konzentrationsbereiche linearisierten K_d -Werte von Vanadium für diese beiden Bodenkategorien zusammen. Der K_d -Wert wird iterativ bestimmt (mit jeder Konzentrationsänderung ändert sich K_d -Wert). Nach dieser Vorgehensweise werden für alle in der EBV relevanten Schwermetalle und Organika und jede bauwerksspezifische Sickerwasserrate unter Berücksichtigung der Retardation nach Gleichung 16 in Kapitel 2.3 im Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a, analytische Lösung nach Liedl et al. 2005 für lineare Sorption) und ggf. des Abbaus nach Gleichung 15 für die beiden Bodenkategorien, die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen berechnet.

Bei organischen Stoffen muss neben den konstanten K_d -Werten aus Tabelle 3.4.2.1 in Kapitel 3.4.2 im Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a) ggf. zusätzlich der Abbau berücksichtigt werden (vgl. Halbwertszeiten in Susset & Leuchs, 2008a)

In der Summe ergeben sich für die technischen Bauwerke der EBV 800 Transportberechnungen (2 Bodenkategorien \times 8 verschiedene Sickerwasserraten \times 25 Stoffe mit verschiedenen Sorptionseigenschaften) zur Bestimmung der nach dem Durchbruchkriterium maximal zulässigen Quelltermkonzentration.

Tab. 4.10: Eingangsgrößen für die Berechnung des Transports von Vanadium in den Bodenkategorien Sand bzw. Lehm/Schluff/Ton zur Bestimmung der nach dem Durchbruchkriterium maximal zulässigen Quelltermkonzentration im Szenario Pflasterbauweisen.

Bodenkategorien der EBV	Sand	Lehm/Schluff/Ton
Sickerstrecke [m]	1	1
Sickerwasserrate [mm/a]	313	313
Tongehalt (%)	2,46	12
pH (CaCl ₂)	4,8	6,6
TOC [%]	0,1	0,1
Trockenraumdichte [kg/m ³]	1420	1450
effektive Porosität []	0,17	0,26
Freundlichisotherme Vanadium	Gl. 8	Gl. 8
Freundlichparameter	Tabelle 4.4	Tabelle 4.4
Beurteilungszeitraum [Jahre]	200	200
Zielwert (BM, Vanadium) [µg/L]	20	20
resultierender teillinearisierte K_d [L/kg]	66	114

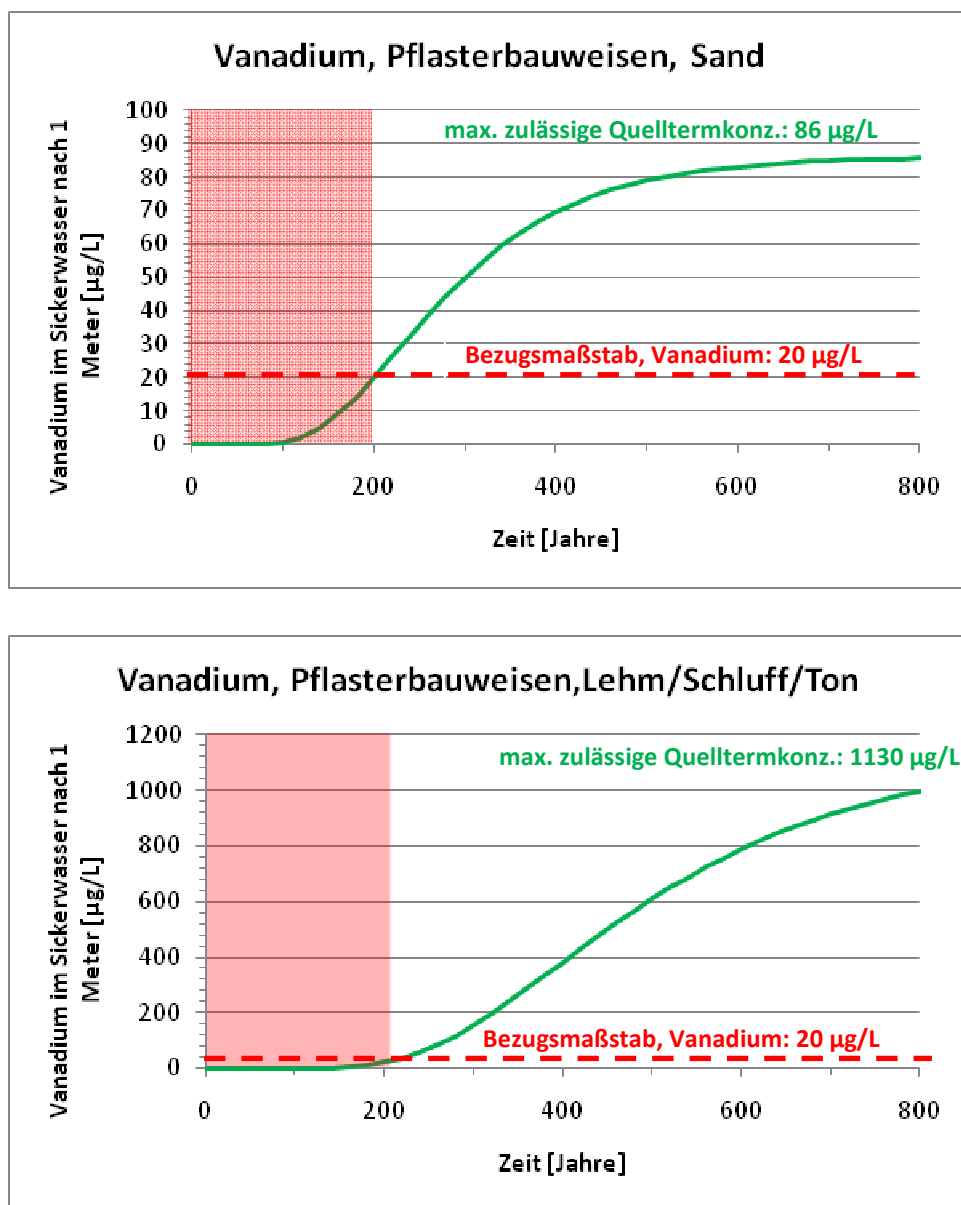


Abb. 4.2: Durchbruchkurven von Vanadium im Szenario Pflasterbauweisen bei Unterlagerung mit 1 Meter Sand (oben) oder 1 Meter Lehm/Schluff/Ton (unten). Eingangsgrößen sind in Tabelle 4.10 aufgelistet. Rot schraffiert: Beurteilungszeitraum von 200 Jahren bei technischen Bauwerken in der EBV. Innerhalb dieses Zeitraums soll die Einhaltung der GFS oder der Bezugsmaßstäbe gewährleistet sein.

Wie Abbildung 4.2 zeigt wird Vanadium aufgrund der ungünstigeren Sorptionseigenschaften im Sandboden weniger effektiv zurückgehalten als im Szenario Lehm/Schluff/Ton. Die nach dem Durchbruchkriterium resultierende konstante, maximal zulässige Quelltermkonzentration, bei welcher kein Durchbruch von Konzentrationen im Sickerwasser nach 1 Meter Transportstrecke in Höhe der GFS oder der Bezugsmaßstäbe innerhalb des Beurteilungszeitraums von 200 Jahren zu erwarten ist, ist in der Bodenkategorie Lehm-/Schluff-/Ton entsprechend höher. Parallel wird für jeden Fall das Anreicherungskriterium überprüft, der jeweils kleinere Wert limitiert die für die EBV bewertungsrelevante, maximal zulässige Quelltermkonzentration.

Im „Worst-case“ eines dauerhaft konstanten Quellterms steigen die Konzentrationen im Sickerwasser nach 200 Jahren auf Werte oberhalb der GFS oder Bezugsmaßstäbe an (vgl. Diskussion der Konventionen in Kapitel 4.1.4.1 Teil I dieser Bericht). Eine generalisierte Berücksichtigung einer diskontinuierlichen Quelle für das Durchbruchkriterium ist aufgrund der in Kapitel 4 (Teil I dieser Bericht) und in der Synopse des Projektnehmers zur Stellungnahme

der LABO (vgl. Kapitel 1.1.3.1 Teil II dieser Bericht) geführten Diskussion für ein generalisiertes Fachkonzept nicht Stand der Technik. Insbesondere ist die Festlegung eines Verhältnisses Gesamtgehalt/mobilisierbarer Anteil zur Begrenzung der Quelldauer generalisiert und fachlich belastbar nicht möglich. Eine Begrenzung der Lebensdauer einer Quelle und damit der Fracht über die Dimension der Quelle und über die Feststoffgehalte setzt einen wissenschaftlich belastbaren konstanten Zusammenhang zwischen Feststoffbelastung und Höhe der Quellstärke und zeitlicher Quellstärkenentwicklung voraus. Es herrscht wissenschaftlicher Konsens, dass dieser Zusammenhang in den meisten Fällen nicht existiert und insbesondere nicht konstant ist (vgl. Diskussion und Ergebnisse in Kapitel 4.1.3.1, Teil I dieser Bericht, sowie Ergebnisse verschiedener Projekte des BMBF-Projekts „Sickerwasserprognose“). Die Lebensdauer der Quelle ist in technischen Bauwerken technisch begrenzt.

Der wissenschaftlich nicht belastbare Ansatz einer Endlichkeit von Organika- und Metallquellen kann zu Fehlinterpretationen des Boden- und Grundwassergefahrenpotenzials führen, da bei der Transportprognose zusätzliche, scheinbare Stoffminderungspotenziale eingerechnet werden (siehe detaillierte Darstellungen und Diskussion in Synopsen zu den Stellungnahmen, vgl. Kapitel 1.1.3.1 Teil II dieser Bericht). Ein konzentrationsmindernder Prozess infolge der Längsdispersion, führt nur dann zu einer signifikanten Konzentrationsabnahme bzw. einer Dämpfung der Maximalkonzentration, wenn die Transportzeit wesentlich länger als die Dauerhaftigkeit der Quelle ist, d.h. wenn die Mächtigkeit (bzw. Aufenthaltszeit des Sickerwassers in) der Transportschicht deutlich größer wird als die der Quellschicht (Förstner & Grathwohl, 2007). Wie Grathwohl & Susset (2009) und Susset & Leuchs (2008b) anhand theoretischer Betrachtungen und anhand von Feldlysimeterergebnissen zeigen schließt sich insbesondere bei PAK- und Schwermetallquellen nach einem anfänglichen Abklingen der Konzentrationen oftmals ein dauerhaftes Konzentrationstailing mit Konzentrationen z.T. deutlich oberhalb der GFS oder Bezugsmaßstäbe an. Eine Approximation solcher Quellterme mit Exponentialansätzen (wie von verschiedenen Seiten empfohlen) führt zu einer Fehlinterpretation und Unterschätzung des langfristigen Umweltgefahrenpotenzials, weil das Konzentrationstailing „abgeschnitten“ wird.

4.1.3.2 Anreicherungskriterium

Als weiteres gleichwertiges Bewertungskriterium wird die Schadstoffanreicherung im Boden durch eine einfache Massenbetrachtung berechnet. Die über die Transportstrecke gemittelte Anreicherung im Boden errechnet sich aus der Stoffemission aus der Quelle im Beurteilungszeitraum (abhängig von der Höhe der konstanten Quelltermkonzentration) bezogen auf die Masse des Bodens in der Transportzone nach Gleichung 10:

$$C_{w,zulässig} = \frac{C_{s,zulässig} M_{Sicker\ strecke} \rho_{bulk}}{SWN T_{zulässig}} \quad (10)$$

SWN [L³/(L² T)] bezeichnet die Sickerwasserrate, $C_{w,zulässig}$ die konstante maximal zulässige Quelltermkonzentration nach dem Anreicherungskriterium [M/L], $C_{s,zulässig}$ der gemittelte maximal zulässige Feststoffkonzentration [M/L], $T_{zulässig}$ [T] den Beurteilungszeitraum (200 Jahre bei technischen Bauwerken), $M_{Sickerstrecke}$ [L] die Mächtigkeit der Bodenzone und ρ_{bulk} [M/L³] die Trockenraumdichte.

Die maximal zulässige Quelltermkonzentration aus dem Anreicherungskriterium ergibt sich durch Einsetzen der Trockenraumdichten der beiden Bodenszenarien aus Tabelle 4.2, der Transportstrecke von einem Meter über die per Konvention gemittelt wird (vgl. Kapitel 4.1.1 Teil I dieser Bericht), der Sickerwasserraten für die verschiedenen Einbauszenarien aus Tabelle 4.1, den Beurteilungszeitraum (200 Jahre für technische Bauwerke der EBV) und die zulässige Feststoffkonzentration bis zu der per Konvention angereichert werden kann aus Tabelle 4.9 (50% von FKmax) in Gleichung 10.

Wie in Kapitel 4.1.4.1, Teil I dieser Bericht eingehend diskutiert, findet die „tatsächliche“ Anreicherung der Stoffe über das Bodenprofil nicht gleichmäßig statt. Abb. 4.10 in Kapitel 4 Teil I zeigt das mit dem hier verwendeten Retardationsmodell berechnete Konzentrationsprofil im Bodenfeststoff mit Anreicherung bis zum Sorptionsgleichgewicht in den obersten Bodenhorizonten (vgl. auch Diskussion dieser Konvention in Kapitel 4.1.4.1 Teil I dieser Bericht).

In der Summe ergeben sich für die technischen Bauwerke 800 Berechnungen (2 Bodenkategorien \times 8 verschiedene Sickerwasserraten \times 25 Stoffe mit verschiedenen Filterkapazitäten) zur Bestimmung der nach dem Anreicherungskriterium maximal zulässigen Quelltermkonzentration.

4.1.3.3 Berechnungsergebnisse Durchbruch versus Anreicherung

Tabellen 4.11 zeigen für alle Einbauweisen und Stoffe (Tab. 4.11a: Anorganika, Tab. 4.11b: Organika) für die Bodenkategorie „Sand“ die berechneten maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen, die bei alleiniger Betrachtung des Durchbruchkriteriums (DK) resultieren. In der jeweils unteren Zeile werden für jeden Stoff die berechneten, maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen, die bei alleiniger Betrachtung des Anreicherungskriteriums (AK) resultieren, gegenübergestellt. Tabellen 4.12a, b zeigen die Berechnungsergebnisse für die Bodenkategorie „Lehm/Schluff/Ton“ (Anhang 4 zeigt die Änderungen gegenüber Susset & Leuchs, 2008a).

Die bewertungsrelevante maximal zulässige Quelltermkonzentration für einen bestimmten Stoff in einem bestimmten Einbauszenario wird entweder durch das Anreicherungskriterium oder durch das Durchbruchkriterium limitiert. Die jeweils limitierenden Werte (der niedrigste Wert) für die nachfolgende Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten für die Bewertung der Zulässigkeit des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in der EBV sind fett markiert. Bei AMPA und sonstigen Herbiziden wurde wie in Kapitel 5.1.5 (Teil I dieser Bericht) und Kapitel 4.1.2.3.3 (oben) erläutert im Auftrag des BMU das Durchbruchkriterium ausgesetzt (vgl. Tabellen 4.11b und 4.12b) und die nach dem Anreicherungskriterium resultierende maximal zulässige Quelltermkonzentration für die weitere medianschutzbasierte Beurteilung verwendet.

Um die limitierenden Durchbruchskriterien nachvollziehen zu können, sind für die Schwermetalle, deren Sorption anhand substratübergreifender Sorptionsisothermen approximiert wird, die korrespondierenden für den Konzentrationsbereich 1/10 GFS bzw. 1/10 BM bis max. zulässige Quelltermkonzentration, durch Teillinearisation der Freundlichisothermen („ K_d -Mitte“) ermittelten K_d -Werte jeweils in der Klammer angegeben.

Wie in Kapitel 4.1.4.2 Teil I dieser Bericht detailliert erläutert zeigen vergleichsweise immobile Stoffe wie z. B. Chrom, ges., Blei, i.d.R. Kupfer eine Limitierung durch das Anreicherungskriterium (vgl. nachfolgende Tabellen). Für diese Stoffe spielt die Diskussion um die rechtlichen und wirtschaftlichen Folgen einer Einführung der GFS und der Bezugsmaßstäbe als Zielwerte und die Festlegung des Ortes der Beurteilung für den Regelungsbereich der EBV keine Rolle (zumindest solange das Bodenschutzkriterium limitiert). Molybdän ist ein sehr mobiles Schwermetall, welches aber in Sandböden effektiver zurückgehalten wird als in der Bodenkategorie Lehm/Schluff/Ton. Die Rückhaltung in der Bodenkategorie Sand kann für Molybdän allerdings nach derzeitiger, unseres Erachtens sehr konservativer Auslegung der Filterkapazität (vgl. Tabelle 4.9) nicht in Rechnung gestellt werden, da durch die niedrige FK i.d.R. der GFS eingehalten werden muss, um das Anreicherungskriterium für Molybdän zu erfüllen.

In Anhang 1.1 sind alle Änderungen der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für den AE 2 EBV gegenüber Susset & Leuchs (2008a) gekennzeichnet. Im Einzelnen werden die Auswirkungen der geänderten Bezugsmaßstäbe, der herabgesetzten Filterkapazität von Blei, der nachgerechneten Sickerwasserraten aus den numerischen Modellen für Straßendämme, der Änderungen der Sorptionsparameter der Herbizide Glyphosat und AMPA und der geänderten Teillinearisation der Vanadium-Isotherme erläutert.

Tab. 4.11a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von anorganischen Stoffen in Einbauszenarien der EBV bei Unterlagerung mit 1 Meter Sand, unterschieden nach dem Durchbruch- bzw. Anreicherungskriterium. Abkürzungen: DK: Durchbruchskriterium, AK: Anreicherungskriterium. Fett markiert: Limitierender Wert für die maximal zulässige Quelltermkonzentration zur Ableitung von ME, kursiv: GFS oder Bezugsmaßstab. Werte in Klammern: Mit dem Durchbruchskriterium korrespondierende teillinearisierte K_d -Werte [L/kg] der Schwermetalle.

Einbauweisen nach AE 2 EBV, MantelIV, 2011 (Ifd. Nr.)		Bahn- bau- weise H modifi- ziert (B4, B8, B10, B15)	Bahn- bau- weise H (B3, B7, B9, B11, B14)	Bau- weisen unter Pflaster und Schutz- wälle (18, 20, 22, 24, 27)	Bahn- bau- weise Stan- dard Damm (B1, B5, B12,)	Bahn- bau- weise Stan- dard Ein- schnitt (B2, B6, B13)	Hinter- füllung von Bau- werken und Dämme im Bösch- ungs- bereich (25, 26)	ToB, Boden- verbes- serung und Unter- bau u. geb. Deck- schicht (11-13)	Bauwei- sen unter Platten- belägen und Deck- schichten ohne Binde- mittel (16, 17, 19, 21, 23)
Sickerwasser- raten [mm/a]		103	221	313	395	434	453	486	583
Anti- mon [µg/L]	AK	72	34	24	19	17	17	15	13
	DK(K_d)	33(25)	8(30)	6(32)	5(33)	5	5	5	5
Arsen [µg/L]	AK	296	138	98	77	70	67	63	52
	DK(K_d)	175(31)	17(31)	12(31)	10(31)	10	10	10	10
Blei [µg/L]	AK	345	161	113	90	82	78	73	61
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Cadmi- um [µg/L]	AK	5,5	2,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	DK(K_d)	11(24)	3,10(29)	2,34(31)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Chrom, ges. [µg/L]	AK	517	241	170	135	123	118	110	91
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Kupfer [µg/L]	AK	448	209	147	117	106	102	95	79
	DK(K_d)	>1000	481 (71)	232 (87)	148 (98)	124 (103)	115 (105)	101 (109)	74 (118)
Molyb- dän [µg/L]	AK	38	35	35	35	35	35	35	35
	DK(K_d)	900 (33)	249 (54)	147 (66)	107 (74)	95 (78)	90 (79)	82 (82)	67 (88)
Nickel [µg/L]	AK	193	90	64	50	46	44	41	34
	DK(K_d)	51 (18)	23 (21)	20 (22)	20	20	20	20	20
Vana- dium [µg/L]	AK	2171	1012	715	566	515	494	460	384
	DK(K_d)	368 (34)	133 (53)	86 (66)	66 (76)	59 (80)	56 (82)	52 (86)	43 (94)
Zink [µg/L]	AK	1241	578	408	324	295	282	263	219
	DK(K_d)	461 (22)	184 (32)	136 (37)	118 (37)	113 (39)	111 (39)	108 (40)	104 (41)

Tab. 4.11b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von organischen Stoffen in Einbauszenarien der EBV bei Unterlagerung mit 1 Meter Sand, unterschieden nach dem Durchbruch- bzw. Anreicherungskriterium. Abkürzungen: DK: Durchbruchskriterium, AK: Anreicherungskriterium. Fett markiert: Limitierender Wert für die maximal zulässige Quelltermkonzentration zur Ableitung von ME, kursiv: GFS oder Bezugsmaßstab. Durchbruchskriterien von AMPA im Auftrag des BMU ausgesetzt (durchgestrichen dargestellt).

Einbauweisen nach AE 2 EBV, MantelIV, 2011 (Ild. Nr.)		Bahn- bau- weise H modifi- ziert (B4, B8, B10, B15)	Bahn- bau- weise H (B3, B7, B9, B11, B14)	Bau- weisen unter Pflas- ter und Schutz- wälle (18, 20, 22, 24, 27)	Bahn- bau- weise Stan- dard Damm (B1, B5, B12,)	Bahn- bau- weise Stan- dard Ein- schnitt (B2, B6, B13)	Hinter- füllung von Bau- wer- ken und Däm- me im Bösch- ungs- be- reich (25, 26)	ToB, Bo- den- ver- bes- serung und Unter- bau u. geb. Deck- schicht (11- 13)	Bauwei- sen unter Platten- belägen und Deck- schichten ohne Binde- mittel (16, 17, 19, 21, 23)
Sickerwasserraten [mm/a]		103	221	313	395	434	453	486	583
Σ15 EPA PAK[µg/L]	AK	93,1	43,4	30,6	24,3	22,1	21,2	19,7	16,4
	DK	>1000	1020	46,4	10,4	6,3	5,1	3,7	3
Naphtalin [µg/L]	AK	93,1	43,4	30,6	24,3	22,1	21,2	19,7	16,4
	DK	2480,0	88,6	30,5	17,0	13,8	12,6	10,9	7,7
MKW [µg/L]	AK	3102	1446	1021	809	736	705	657	548
	DK	>1000	462	198	141	129	124	118	108
BTEX [µg/L]	AK	31,02	14,46	10,21	8,09	7,36	7,05	6,57	5,48
	DK	33,40	25,50	24,00	23,00	22,60	22,6	22,40	22,00
PCB, ges. [µg/L]	AK	1,55	0,72	0,51	0,40	0,37	0,35	0,33	0,27
	DK	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Phenol [µg/L]	AK	196,5	91,6	64,7	51,2	46,6	44,7	41,6	34,7
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Chlorphe- nole, ges. [µg/L]	AK	196,5	91,6	64,7	51,2	46,6	44,7	41,6	34,7
	DK	>1000	>1000	>1000	715	464	385	285	140
Chlorben- zole, ges. [µg/L]	AK	15,51	7,23	5,10	4,04	3,68	3,53	3,29	2,74
	DK	1,74	1,30	1,21	1,17	1,15	1,14	1,13	1,11
Hexachlorb- enzole, ges. [µg/L]	AK	15,51	7,23	5,10	4,04	3,68	3,53	3,29	2,74
	DK	11,60	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Atrazin [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	4,42	0,76	0,45	0,34	0,31	0,29	0,27	0,23
Bromazil [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	0,70	0,27	0,20	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15
Diuron [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	0,60	0,18	0,13	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08
Glyphosat [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	>1000	11,72	2,08	0,93	0,71	0,64	0,54	0,38
Simazin [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	31,80	2,48	1,12	0,72	0,62	0,58	0,52	0,29
sonstige Herbizide [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	>1000	14,65	2,57	1,13	0,86	0,77	0,65	0,45
AMPA [µg/L]	AK	7,93	3,70	2,61	2,07	1,88	1,80	1,68	1,40
	DK	>1000	14,65	2,57	1,13	0,86	0,77	0,65	0,45

Tab. 4.12a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von anorganischen Stoffen in Einbauszenarien der EBV bei Unterlagerung mit 1 Meter Lehm/Schluff/Ton, unterschieden nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium. Abkürzungen: DK: Durchbruchskriterium, AK: Anreicherungskriterium. Fett markiert: Limitierender Wert für die maximal zulässige Quelltermkonzentration zur Ableitung von ME, kursiv: GFS oder Bezugsmaßstab. Werte in Klammern: Mit dem Durchbruchskriterium korrespondierende teillinearisierte K_d -Werte [L/kg] der Schwermetalle.

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
Antimon [µg/L]	AK	141	66	46	37	33	32	30	25
	DK(K_d)	16(19)	6(22)	5(23)	5	5	5	5	5
Arsen [µg/L]	AK	905	422	298	236	215	206	192	160
	DK(K_d)	273(33)	20(33)	13(33)	11(33)	11(33)	10(33)	10	10
Blei [µg/L]	AK	950	443	313	248	226	216	201	168
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Cadmium [µg/L]	AK	28	13	9	7	7	6	6	5
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Chrom, ges. [µg/L]	AK	1126	525	371	294	267	256	239	199
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Kupfer [µg/L]	AK	704	328	232	184	167	160	149	124
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Molybdän [µg/L]	AK	42	35	35	35	35	35	35	35
	DK(K_d)	78 (16)	41 (21)	36 (22)	35 (23)	35	35	35	35
Nickel [µg/L]	AK	704	328	232	184	167	160	149	124
	DK(K_d)	>1000	>1000	>1000	598 (289)	478 (137)	432 (140)	370 (145)	246 (160)
Vanadium [µg/L]	AK	2006	935	660	523	476	456	425	354
	DK(K_d)	>1000	>1000	>1000	776 (135)	668 (145)	629 (149)	560 (157)	422 (179)
Zink [µg/L]	AK	3203	1493	1054	835	760	728	679	566
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000

Tab. 4.12b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von organischen Stoffen in Einbauszenarien der EBV bei Unterlagerung mit 1 Meter Lehm/Schluff/Ton, unterschieden nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium. Abkürzungen: DK: Durchbruchskriterium, AK: Anreicherungskriterium. Fett markiert: Limitierender Wert für die maximal zulässige Quelltermkonzentration zur Ableitung von ME, kursiv: GFS oder Bezugsmaßstab. Durchbruchskriterien von AMPA im Auftrag des BMU ausgesetzt (durchgestrichen dargestellt).

	Bauweisen (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)
	Sicker- rate [mm/a]	103	221	313	395	434	453	486	583
Σ15 PAK [µg/L]	AK	95,0	44,3	31,3	24,8	22,6	21,6	20,1	16,8
	DK	>1000	1720	72,8	15,4	9,2	7,4	5,3	2,5 (4,5)
Naphtalin [µg/L]	AK	95,0	44,3	31,3	24,8	22,6	21,6	20,1	16,8
	DK	>1000	467,0	116,0	53,2	40,2	35,6	29,2	18,4
MKW [µg/L]	AK	3168	1476	1042	826	752	720	671	560
	DK	>1000	497	205	145	131	126	120	109
BTEX [µg/L]	AK	31,68	14,76	10,42	8,26	7,52	7,20	6,71	5,60
	DK	43,00	29,00	26,00	24,70	24,20	24,00	23,80	23,30
PCB, ges. [µg/L]	AK	1,58	0,74	0,52	0,41	0,38	0,36	0,34	0,28
	DK	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Phenol [µg/L]	AK	201	94	66	52	48	46	43	35
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Chlorphenole, ges. [µg/L]	AK	201	94	66	52	48	46	43	35
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Chlorbenzole, ges. [µg/L]	AK	15,84	7,38	5,21	4,13	3,76	3,60	3,36	2,80
	DK	2,28	1,49	1,34	1,26	1,23	1,23	1,21	1,17
Hexachlorbenzole, ges. [µg/L]	AK	15,84	7,38	5,21	4,13	3,76	3,60	3,36	2,80
	DK	14,40	0,09	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Atrazin [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	18,90	1,80	0,87	0,59	0,51	0,48	0,44	0,36
Bromazil [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	1,61	0,43	0,29	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18
Diuron [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	1,66	0,32	0,20	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11
Glyphosat [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000
Simazin [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	245	8,77	3,02	1,69	1,37	1,25	1,08	0,77
sonstige Herbizide [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	>1000	11,00	2,93	1,53	1,22	1,12	0,92	0,67
AMPA [µg/L]	AK	8,10	3,77	2,66	2,11	1,92	1,84	1,72	1,43
	DK	>1000	11,00	2,93	1,53	1,22	1,12	0,92	0,67

4.1.3.4 Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen für die Ableitung von ME

Die bewertungsrelevanten, maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für die einzelnen Einbauweisen der EBV ergeben sich aus den in Tabellen 4.11 bis 4.12 durch Gegenüberstellung von Durchbruchskriterium und Anreicherungskriterium identifizierten, jeweils limitierenden Werten. Nachfolgende Tabellen zeigen die Zuordnungen der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen zu allen unmittelbar nach dem medienschutzbasierten Fachkonzept bewerteten Einbauweisen der EBV (ohne geschlossene Bauweisen und ohne Bauweisen mit technischen Sicherungsmaßnahmen; letztere wurden im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens nicht modelliert).

Zur besseren Nachvollziehbarkeit wurde dieselbe Matrix verwendet, wie in den Einbautabellen der EBV in der MantelV (BMU, 2011).

Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für einzelne Bauwerke unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen, entlang der Bauwerksunterkante gemittelten Sickerwasserraten (vgl. Kapitel 3.2, Tabelle 3.7 für die Straßenbauweisen und Kapitel 3.3, Tabelle 3.17 für die Bahnbauweisen). Zum Beispiel ist die maximal zulässige Quelltermkonzentration für die Einbauweisen in Straßendämmen 11-13 identisch, da der Transport mit der entlang der Unterseite des Straßendamms gemittelten Sickerwasserrate betrachtet wird.

Die Einbauschicht-spezifischen Unterschiede der medienschutzbasierten Einbauwerte ergeben sich durch die Bauwerks- und Einbauschicht-spezifischen Verdünnungsfaktoren (vgl. Kapitel 5). Im zuletzt genannten Beispiel unterscheiden sich die ME zwischen den Bauweisen 11-13 aufgrund der unterschiedlichen Faktoren F_{QT} auf die maximal zulässige Quellstärke (vgl. Tabelle 3.7). Kapitel 5 zeigt die aus den maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen durch Multiplikation mit den bauwerksspezifischen Faktoren und dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 berechneten medienschutzbasierten Einbauwerte.

Erläuterungen zu den Tabellen:

Farbliche Markierungen in den Tabellen 4.13a, b: Bauweisen mit identischen entlang der Bauwerksunterkanten gemittelten Sickerwasserraten und damit identischen maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen

Die Werte für den ungünstigen Fall in den linken Spalten „ungünstig“ (höchster zu erwartender GW-Abstand zwischen 0,1 und 1 m) entsprechen den Geringfügigkeitsschwellenwerten nach GrwV in Artikel 1 des AE 1 MantelV (BMU, 2011) bzw. den Bezugsmaßstäben nach Utermann & Fuchs (2010, vgl. Tabelle 4.8, rechte Spalte).

Die Werte für den günstigen Fall „Sand“ in den mittleren Spalten (höchster zu erwartender GW-Abstand > 1 m und Sandboden) entsprechen den jeweils limitierenden maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen aus Tabellen 4.11a und b nach den Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterien. Bei unzureichender Rückhaltung und / oder zur geringer Filterkapazität entsprechen sie den Geringfügigkeitsschwellenwerten nach GrwV in Artikel 1 des AE 1 MantelV (BMU, 2011) bzw. den Bezugsmaßstäben nach Utermann & Fuchs (2010, vgl. Tabelle 4.8, rechte Spalte).

Die Werte für den günstigen Fall „Lehm/Schluff/Ton“ in den rechten Spalten (höchster zu erwartender GW-Abstand > 1 m und Lehmboden bzw. Böden mit günstigeren Sorptionseigenschaften) entsprechen den jeweils limitierenden maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen aus Tabellen 4.12a und b nach den Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterien. Bei unzureichender Rückhaltung und / oder zur geringer Filterkapazität entsprechen sie den Geringfügigkeitsschwellenwerten nach GrwV in Artikel 1 des AE 1 der MantelV (BMU, 2011) bzw. den Bezugsmaßstäben nach Utermann & Fuchs (2010, vgl. Tabelle 4.8, rechte Spalte).

Legende zu 4.13a: Vgl. Tabelle 3.7 in Kapitel 3.2 (Teil II, dieser Bericht):

Entlang der Unterseite des niedrigen Straßendamms gemittelte Sickerwasserrate von 486 mm/a

Sickerwasserrate von 583 mm/a unter ungeb. Deckschichten und Plattenbelägen

Sickerwasserrate von 313 mm/a unter Pflasterdecken

Entlang der Unterseite des hohen Straßendamms gemittelte Sickerwasserrate von 453 mm/a

Tab. 4.13a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Schwermetallen in den medienenschutz-basiert bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruch- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11a und 4.12a.

Cw,max für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. Cadmium 0,1 µg/L gerundet):			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten									
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)						
Sb		As	Pb	höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton			
Cd		Cr	Cu				S		L/U/T			
Ild. Nr. und Einbauweisen				1			2			3		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht			5	10	23	5	10	73	5	10	201
				2,0	10	20	2,0	110	95	6,0	239	149
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht			5	10	23	5	10	73	5	10	201
				2,0	10	20	2,0	110	95	6,0	239	149
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht			5	10	23	5	10	73	5	10	201
				2,0	10	20	2,0	110	95	6,0	239	149
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht			5	10	23	5	10	73	5	10	201
				2,0	10	20	2,0	110	95	6,0	239	149
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen			5	10	23	5	10	61	5	10	168
				2,0	10	20	2,0	91	74	5,0	199	124
16	Deckschicht ohne Bindemittel			5	10	23	5	10	61	5	10	168
				2,0	10	20	2,0	91	74	5,0	199	124
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen			5	10	23	5	10	61	5	10	168
				2,0	10	20	2,0	91	74	5,0	199	124
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster			5	10	23	6	12	113	5	13	313
				2,0	10	20	2,0	170	147	9,0	371	232
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen			5	10	23	5	10	61	5	10	168
				2,0	10	20	2,0	91	74	5,0	199	124
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster			5	10	23	6	12	113	5	13	313
				2,0	10	20	2,0	170	147	9,0	371	232
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen			5	10	23	5	10	61	5	10	168
				2,0	10	20	2,0	91	74	5,0	199	124
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster			5	10	23	6	12	113	5	13	313
				2,0	10	20	2,0	170	147	9,0	371	232
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen			5	10	23	5	10	61	5	10	168
				2,0	10	20	2,0	91	74	5,0	199	124
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster			5	10	23	6	12	113	5	13	313
				2,0	10	20	2,0	170	147	9,0	371	232
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden			5	10	23	5	10	78	5	10	216
				2,0	10	20	2,0	118	102	6,0	256	160
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre			5	10	23	5	10	78	5	10	216
				2,0	10	20	2,0	118	102	6,0	256	160
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden			5	10	23	5	10	78	5	10	216
				2,0	10	20	2,0	118	102	6,0	256	160
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre			5	10	23	5	10	78	5	10	216
				2,0	10	20	2,0	118	102	6,0	256	160
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden			5	10	23	6	12	113	5	13	313
				2,0	10	20	2,0	170	147	9,0	371	232
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre			5	10	23	6	12	113	5	13	313
				2,0	10	20	2,0	170	147	9,0	371	232

Tab. 4.13b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Schwermetallen in den medienenschutz-basiert bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau nach AE 2 EBV (MantelV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11a und 4.12a.

Cw, max für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. Cadmium 0,1 µg/L gerundet):			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Sb						S			L/U/T		
Cd											
As											
Pb											
Cr											
Cu											
Ild. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm		5	10	23	5	10	90	5	11	248
			2,0	10	20	2,0	135	117	7,0	294	184
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt		5	10	23	5	10	82	5	11	226
			2,0	10	20	2,0	123	106	7,0	267	167
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		5	10	23	8	17	161	6	20	443
			2,0	10	20	2,6	241	209	13,0	525	328
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert		5	10	23	33	175	345	16	273	950
			2,0	10	20	5,5	517	448	28,0	1126	704
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Damm		5	10	23	5	10	90	5	11	248
			2,0	10	20	2,0	135	117	7,0	294	184
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt		5	10	23	5	10	82	5	11	226
			2,0	10	20	2,0	123	106	7,0	267	167
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H		5	10	23	8	17	161	6	20	443
			2,0	10	20	2,6	241	209	13,0	525	328
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H modifiziert		5	10	23	33	175	345	16	273	950
			2,0	10	20	5,5	517	448	28,0	1126	704
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H		5	10	23	8	17	161	6	20	443
			2,0	10	20	2,6	241	209	13,0	525	328
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H modifiziert		5	10	23	33	175	345	16	273	950
			2,0	10	20	5,5	517	448	28,0	1126	704
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H		5	10	23	8	17	161	6	20	443
			2,0	10	20	2,6	241	209	13,0	525	328
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm		5	10	23	5	10	90	5	11	248
			2,0	10	20	2,0	135	117	7,0	294	184
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt		5	10	23	5	10	82	5	11	226
			2,0	10	20	2,0	123	106	7,0	267	167
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H		5	10	23	8	17	161	6	20	443
			2,0	10	20	2,6	241	209	13,0	525	328
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert		5	10	23	33	175	345	16	273	950
			2,0	10	20	5,5	517	448	28,0	1126	704

Legende: Vgl. Tabelle 3.17 in Kapitel 3.3 (Teil II, dieser Bericht):

Entlang der Unterkante der Bauweise „Standard Damm“ gemittelte Sickerwasserrate von 395 mm/a

Entlang der Unterkante der Bauweise „Standard Einschnitt“ gemittelte Sickerwasser. von 434 mm/a

Entlang der Unterkante der Bahnbauweise „H“ gemittelte Sickerwasserrate von 221 mm/a

Entlang der Unterkante der Bahnbauweise „H modifiziert“ gemittelte Sickerwasserrate von 103 mm/a

Tab. 4.14a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Schwermetallen und der $\Sigma 15$ EPA PAK in den medienschutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11a,b und 4.12a,b.

Cw, max für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. $\Sigma 15$ EPA PAK auf 0,1 µg/L gerundet):			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW- Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Mo	Ni	V									
Zn	$\Sigma 15$ EPA PAK	MKW				S			L/U/T		
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		35	20	20	35	20	52	35	149	425
			100	0,2	100	108	3,7	118	679	5,3	120
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		35	20	20	35	20	52	35	149	425
			100	0,2	100	108	3,7	118	679	5,3	120
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht		35	20	20	35	20	52	35	149	425
			100	0,2	100	108	3,7	118	679	5,3	120
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht		35	20	20	35	20	52	35	149	425
			100	0,2	100	108	3,7	118	679	5,3	120
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen		35	20	20	35	20	43	35	124	354
			100	0,2	100	104	3,0	108	566	4,5	109
16	Deckschicht ohne Bindemittel		35	20	20	35	20	43	35	124	354
			100	0,2	100	104	3,0	108	566	4,5	109
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		35	20	20	35	20	43	35	124	354
			100	0,2	100	104	3,0	108	566	4,5	109
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster		35	20	20	35	20	86	35	232	660
			100	0,2	100	136	30,6	198	1054	31,3	205
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		35	20	20	35	20	43	35	124	354
			100	0,2	100	104	3,0	108	566	4,5	109
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster		35	20	20	35	20	86	35	232	660
			100	0,2	100	136	30,6	198	1054	31,3	205
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		35	20	20	35	20	43	35	124	354
			100	0,2	100	104	3,0	108	566	4,5	109
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster		35	20	20	35	20	86	35	232	660
			100	0,2	100	136	30,6	198	1054	31,3	205
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		35	20	20	35	20	43	35	124	354
			100	0,2	100	104	3,0	108	566	4,5	109
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster		35	20	20	35	20	86	35	232	660
			100	0,2	100	136	30,6	198	1054	31,3	205
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		35	20	20	35	20	56	35	160	456
			100	0,2	100	111	5,1	124	728	7,4	126
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		35	20	20	35	20	56	35	160	456
			100	0,2	100	111	5,1	124	728	7,4	126
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		35	20	20	35	20	56	35	160	456
			100	0,2	100	111	5,1	124	728	7,4	126
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		35	20	20	35	20	56	35	160	456
			100	0,2	100	111	5,1	124	728	7,4	126
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden		35	20	20	35	20	86	35	232	660
			100	0,2	100	136	30,6	198	1054	31,3	205
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		35	20	20	35	20	86	35	232	660
			100	0,2	100	136	30,6	198	1054	31,3	205

Tab. 4.14b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Schwermetallen und der $\Sigma 15$ EPA PAK in den medienschutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau nach AE 2 EBV (MantelV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11a,b u. 4.12 a,b.

Cw, max für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. $\Sigma 15$ EPA PAK auf 0,1 µg/L gerundet):			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Mo	Ni	V				S			L/U/T		
Zn	$\Sigma 15$ EPA PAK	MKW									
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		35	20	20	35	20	66	35	184	523
	Damm		100	0,2	100	118	10,4	141	835	15,4	145
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		35	20	20	35	20	59	35	167	476
	Einschnitt		100	0,2	100	113	6,3	129	760	9,2	131
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		35	20	20	35	23	133	35	328	935
			100	0,2	100	184	43,4	462	1493	44,3	497
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		35	20	20	38	51	368	42	704	2006
	modifiziert		100	0,2	100	461	93,1	3102	3203	95,0	3168
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		35	20	20	35	20	66	35	184	523
	Bahnbauweise Standard Damm		100	0,2	100	118	10,4	141	835	15,4	145
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		35	20	20	35	20	59	35	167	476
	Bahnbauweise Standard Einschnitt		100	0,2	100	113	6,3	129	760	9,2	131
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		35	20	20	35	23	133	35	328	935
	Bahnbauweise H		100	0,2	100	184	43,4	462	1493	44,3	497
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		35	20	20	38	51	368	42	704	2006
	Bahnbauweise H modifiziert		100	0,2	100	461	93,1	3102	3203	95,0	3168
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		35	20	20	35	23	133	35	328	935
	Bahnbauweise H		100	0,2	100	184	43,4	462	1493	44,3	497
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		35	20	20	38	51	368	42	704	2006
	Bahnbauweise H modifiziert		100	0,2	100	461	93,1	3102	3203	95,0	3168
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H		35	20	20	35	23	133	35	328	935
			100	0,2	100	184	43,4	462	1493	44,3	497
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm		35	20	20	35	20	66	35	184	523
			100	0,2	100	118	10,4	141	835	15,4	145
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt		35	20	20	35	20	59	35	167	476
			100	0,2	100	113	6,3	129	760	9,2	131
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H		35	20	20	35	23	133	35	328	935
			100	0,2	100	184	43,4	462	1493	44,3	497
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise		35	20	20	38	51	368	42	704	2006
	H modifiziert		100	0,2	100	461	93,1	3102	3203	95,0	3168

Tab. 4.15a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von organischen Stoffen in den medien-schutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelIV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11b und 4.12b.

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. PCB und HCB auf 0,01 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten						
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)			
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton	
						S		L/U/T	
Ild. Nr. und Einbauweisen			1			2		3	
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	Phenol	8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
		PCB, ges.	1	1	0,01	42	1	0,01	43
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	BTX	8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
		Chlorphenole, ges.	1	1	0,01	42	1	0,01	43
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	Chlorbenzole, ges.	8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
		Hexachlorbenzol	1	1	0,01	42	1	0,01	43
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht		8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
			1	1	0,01	42	1	0,01	43
16	Deckschicht ohne Bindemittel		8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
			1	1	0,01	35	1	0,01	35
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
			1	1	0,01	35	1	0,01	35
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster		8	0,01	20	2000	0,01	24	2000
			1	1	0,01	65	1	0,03	66
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
			1	1	0,01	35	1	0,01	35
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster		8	0,01	20	2000	0,01	24	2000
			1	1	0,01	65	1	0,03	66
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
			1	1	0,01	35	1	0,01	35
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster		8	0,01	20	2000	0,01	24	2000
			1	1	0,01	65	1	0,03	66
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	0,01	20	2000	0,01	22	2000
			1	1	0,01	35	1	0,01	35
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster		8	0,01	20	2000	0,01	24	2000
			1	1	0,01	65	1	0,03	66
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000
			1	1	0,01	45	1	0,01	46
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000
			1	1	0,01	45	1	0,01	46
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000
			1	1	0,01	45	1	0,01	46
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000
			1	1	0,01	45	1	0,01	46
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden		8	0,01	20	2000	0,01	24	2000
			1	1	0,01	65	1	0,03	66
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		8	0,01	20	2000	0,01	24	2000
			1	1	0,01	65	1	0,03	66

Tab. 4.15b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von organischen Stoffen in den medien-schutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau nach AE 2 EBV (MantelIV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11b und 4.12b.

Cw, max für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. PCB und HCB auf 0,01 µg/L gerundet):			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Phenol PCB, ges. BTX						s			L/U/T		
Chlorphenole, ges. Chlorbenzole, ges. Hexachlorbenzol											
Ifd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000	0,01	25
	Damm		1	1	0,01	51	1	0,02	52	1	0,02
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000	0,01	24
	Einschnitt		1	1	0,01	47	1	0,02	48	1	0,02
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		8	0,01	20	2000	0,01	26	2000	0,01	29
			1	1	0,01	92	1	0,08	94	1	0,09
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		8	0,01	20	2000	0,09	33	2000	0,10	43
	modifiziert		1	1	0,01	197	2	11,60	201	2	14,40
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000	0,01	25
	Bahnbauweise Standard Damm		1	1	0,01	51	1	0,02	52	1	0,02
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000	0,01	24
	Bahnbauweise Standard Einschnitt		1	1	0,01	47	1	0,02	48	1	0,02
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		8	0,01	20	2000	0,01	26	2000	0,01	29
	Bahnbauweise H		1	1	0,01	92	1	0,08	94	1	0,09
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		8	0,01	20	2000	0,09	33	2000	0,10	43
	Bahnbauweise H modifiziert		1	1	0,01	197	2	11,60	201	2	14,40
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		8	0,01	20	2000	0,01	26	2000	0,01	29
	Bahnbauweise H		1	1	0,01	92	1	0,08	94	1	0,09
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		8	0,01	20	2000	0,09	33	2000	0,10	43
	Bahnbauweise H modifiziert		1	1	0,01	197	2	11,60	201	2	14,40
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H		8	0,01	20	2000	0,01	26	2000	0,01	29
			1	1	0,01	92	1	0,08	94	1	0,09
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000	0,01	25
			1	1	0,01	51	1	0,02	52	1	0,02
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt		8	0,01	20	2000	0,01	23	2000	0,01	24
			1	1	0,01	47	1	0,02	48	1	0,02
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H		8	0,01	20	2000	0,01	26	2000	0,01	29
			1	1	0,01	92	1	0,08	94	1	0,09
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise		8	0,01	20	2000	0,09	33	2000	0,10	43
	H modifiziert		1	1	0,01	197	2	11,60	201	2	14,40

Tab. 4.16a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Atrazin, Bromacil, Diuron, Glyphosat, Simazin, und sonstigen Herbiziden (Dimefuron, Flazasulfuron, Flumioxazin, sowie neu zugelassene Wirkstoffe) in den medienschutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11b und 4.12b.

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)				Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten						
				ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)			
				höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton	
							s		L/U/T	
Atrazin				Bromacil			Diuron		Glyphosat	
Simazin				sonstige Herbizide						
Ild. Nr. und Einbauweisen				1			2		3	
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,09	0,4	0,2	0,13
		0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	1,7	1,1	0,9
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,09	0,4	0,2	0,13
		0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	1,7	1,1	0,9
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,09	0,4	0,2	0,13
		0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	1,7	1,1	0,9
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,09	0,4	0,2	0,13
		0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	1,7	1,1	0,9
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,08	0,4	0,2	0,11
		0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	1,4	0,8	0,7
16	Deckschicht ohne Bindemittel	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,08	0,4	0,2	0,11
		0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	1,4	0,8	0,7
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,08	0,4	0,2	0,11
		0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	1,4	0,8	0,7
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	0,1	0,1	0,05	0,5	0,2	0,13	0,9	0,3	0,20
		0,1	0,1	0,1	2,1	1,1	2,6	2,7	2,7	2,7
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,08	0,4	0,2	0,11
		0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	1,4	0,8	0,7
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	0,1	0,1	0,05	0,5	0,2	0,13	0,9	0,3	0,20
		0,1	0,1	0,1	2,1	1,1	2,6	2,7	2,7	2,7
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,08	0,4	0,2	0,11
		0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	1,4	0,8	0,7
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	0,1	0,1	0,05	0,5	0,2	0,13	0,9	0,3	0,20
		0,1	0,1	0,1	2,1	1,1	2,6	2,7	2,7	2,7
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	0,1	0,1	0,05	0,2	0,2	0,08	0,4	0,2	0,11
		0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	1,4	0,8	0,7
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	0,1	0,1	0,05	0,5	0,2	0,13	0,9	0,3	0,20
		0,1	0,1	0,1	2,1	1,1	2,6	2,7	2,7	2,7
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
		0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,8	1,8	1,3	1,1
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
		0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,8	1,8	1,3	1,1
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
		0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,8	1,8	1,3	1,1
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
		0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,8	1,8	1,3	1,1
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	0,1	0,1	0,05	0,5	0,2	0,13	0,9	0,3	0,20
		0,1	0,1	0,1	2,1	1,1	2,6	2,7	2,7	2,7
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	0,1	0,1	0,05	0,5	0,2	0,13	0,9	0,3	0,20
		0,1	0,1	0,1	2,1	1,1	2,6	2,7	2,7	2,7

Tab. 4.16b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Atrazin, Bromacil, Diuron, Glyphosat, Simazin, und sonstigen Herbiziden (Dimefuron, Flazasulfuron, Flumioxazin, sowie neu zugelassene Wirkstoffe) in den medien-schutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau des AE 2 EBV in Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011). Diese ergeben sich durch den jeweils limitierenden Wert nach dem Durchbruchs- bzw. Anreicherungskriterium in den Tabellen 4.11b und 4.12b.

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)				Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
				günstig								
				höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			Sand			Lehm/Schluff/Ton		
							S			L/UT		
Atrazin				Bromacil		Diuron						
Glyphosat		Simazin		sonstige Herbizide								
lfd. Nr. und Einbauweisen				1			2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard			0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,11	0,6	0,2	0,15
	Damm			0,1	0,1	0,1	0,9	0,7	1,1	2,1	1,7	1,5
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard			0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
	Einschnitt			0,1	0,1	0,1	0,7	0,6	0,9	1,9	1,4	1,2
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H			0,1	0,1	0,05	0,8	0,3	0,18	1,8	0,4	0,32
				0,1	0,1	0,1	3,7	2,5	3,7	3,8	3,8	3,8
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H			0,1	0,1	0,05	4,4	0,7	0,60	8,1	1,6	1,66
	modifiziert			0,1	0,1	0,1	7,9	7,9	7,9	8,1	8,1	8,1
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,11	0,6	0,2	0,15
	Bahnbauweise Standard Damm			0,1	0,1	0,1	0,9	0,7	1,1	2,1	1,7	1,5
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
	Bahnbauweise Standard Einschnitt			0,1	0,1	0,1	0,7	0,6	0,9	1,9	1,4	1,2
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,1	0,1	0,05	0,8	0,3	0,18	1,8	0,4	0,32
	Bahnbauweise H			0,1	0,1	0,1	3,7	2,5	3,7	3,8	3,8	3,8
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,1	0,1	0,05	4,4	0,7	0,60	8,1	1,6	1,66
	Bahnbauweise H modifiziert			0,1	0,1	0,1	7,9	7,9	7,9	8,1	8,1	8,1
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der			0,1	0,1	0,05	0,8	0,3	0,18	1,8	0,4	0,32
	Bahnbauweise H			0,1	0,1	0,1	3,7	2,5	3,7	3,8	3,8	3,8
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der			0,1	0,1	0,05	4,4	0,7	0,60	8,1	1,6	1,66
	Bahnbauweise H modifiziert			0,1	0,1	0,1	7,9	7,9	7,9	8,1	8,1	8,1
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H			0,1	0,1	0,05	0,8	0,3	0,18	1,8	0,4	0,32
				0,1	0,1	0,1	3,7	2,5	3,7	3,8	3,8	3,8
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm			0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,11	0,6	0,2	0,15
				0,1	0,1	0,1	0,9	0,7	1,1	2,1	1,7	1,5
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt			0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,10	0,5	0,2	0,14
				0,1	0,1	0,1	0,7	0,6	0,9	1,9	1,4	1,2
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H			0,1	0,1	0,05	0,8	0,3	0,18	1,8	0,4	0,32
				0,1	0,1	0,1	3,7	2,5	3,7	3,8	3,8	3,8
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise			0,1	0,1	0,05	4,4	0,7	0,60	8,1	1,6	1,66
	H modifiziert			0,1	0,1	0,1	7,9	7,9	7,9	8,1	8,1	8,1

Tab. 4.17a: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von AMPA in den medianschutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Der Zielwert im Grundwasser für AMPA wurde im Auftrag des BMU ausgesetzt. Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen von AMPA in den günstigen Fällen entsprechen den Anreicherungskriterien (vgl. Tabellen 4.11b und 4.12b)

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten					
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)		
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand	1m Lehm/Schluff/Ton	
						S	L/U/T	
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2	3	
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht							
						1,7		1,7
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht							
						1,7		1,7
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht							
						1,7		1,7
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht							
						1,7		1,7
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen							
						1,4		1,4
16	Deckschicht ohne Bindemittel							
						1,4		1,4
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen							
						1,4		1,4
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster							
						2,6		2,7
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen							
						1,4		1,4
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster							
						2,6		2,7
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen							
						1,4		1,4
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster							
						2,6		2,7
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen							
						1,4		1,4
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster							
						2,6		2,7
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden							
						1,8		1,8
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre							
						1,8		1,8
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden							
						1,8		1,8
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre							
						1,8		1,8
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden							
						2,6		2,7
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre							
						2,6		2,7

Tab. 4.17b: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von AMPA in den medianschutzbasiert bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Der Zielwert im Grundwasser für AMPA wurde im Auftrag des BMU ausgesetzt. Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen von AMPA in den günstigen Fällen entsprechen den Anreicherungskriterien (vgl. Tabellen 4.11b und 4.12b)

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten							
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m	günstig						
				Sand			Lehm/Schluff/Ton			
		AMPA		S			L/UT			
Ild. Nr. und Einbauweisen			1		2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard									
	Damm						2,1			2,1
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard									
	Einschnitt						1,9			1,9
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H									
							3,7			3,8
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H									
	modifiziert						7,9			8,1
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Damm									
							2,1			2,1
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt									
							1,9			1,9
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H									
							3,7			3,8
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H modifiziert									
							7,9			8,1
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H									
							3,7			3,8
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H modifiziert									
							7,9			8,1
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H									
							3,7			3,8
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm									
							2,1			2,1
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt									
							1,9			1,9
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H									
							3,7			3,8
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert									
							7,9			8,1

4.1.3.5 Nachvollziehbarkeit der Transportberechnungen (Anreicherung/Durchbruch) - Vergleichsberechnungen mit ALTEX 1D

Vielfach wurde in den verschiedenen Stellungnahmen (insbesondere der Länderarbeitsgemeinschaften, vgl. Kapitel 1.1.2.1, Teil II, dieser Bericht) eine mangelnde Nachvollziehbarkeit der Berechnungen der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen und der medien-schutzbasierten Einbauwerte nach Susset & Leuchs (2008a) bemängelt (wobei dort bereits sämtliche Gleichungen und Eingangsgrößen genannt sind).

Anreicherungskriterium:

Die nach dem Anreicherungskriterium resultierenden maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen können mit Gleichung 10 und den in Kapitel 4.1.3.2 besprochenen Eingangsgrößen sehr einfach - z. B. mit dem Taschenrechner - nachvollzogen werden.

Durchbruchskriterium:

Für die Berechnungen des Konzentrationsdurchbruchs wurde in der Stellungnahme der LABO für eine bessere Nachvollziehbarkeit der Transportberechnungen eine Vergleichsberechnung mit dem Excel Worksheet ALTEX-1D gefordert. Das EXCEL-Arbeitsblatt ALTEX-1D (Analytische Lösung der 1D-Transportgleichung mit MS-EXCEL) ist Bestandteil der „Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen“ der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) Altlastenausschuss (ALA) (LABO, 2006). Die Umweltministerkonferenz empfiehlt die Anwendung der Arbeitshilfe in den Ländern und hat mit Beschluss Nr. 12/2007 vom 14. Mai 2007 der Veröffentlichung auf der LABO-Homepage zugestimmt. Der LABO-Webseite ist folgendes zu entnehmen: „anschließend wurde eine validierte und im Hinblick auf Anwendungsbreite und Benutzerfreundlichkeit entscheidend verbesserte Version des Arbeitsblattes ALTEX-1D (Stand 12/2008) (XLS | 555 kb) vorgelegt und gemeinsam mit der angepassten Arbeitshilfe von der LABO im März 2009 verabschiedet. Die auf der Webseite des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG) zum Herunterladen bereit gestellte aktuelle Version von ALTEX-1D schließt anschließend durchgeführte Änderungen ein.“

Mit der zuletzt genannten Version wurde exemplarisch für die EBV-Einbauweise unter Pflasterdecken und einige in der EBV regelungsrelevante Schwermetalle sowie für die $\Sigma 15$ EPA PAK Vergleichsberechnungen durchgeführt. In ALTEX-1D können die K_d -Werte der Schwermetalle aus Tabellen 4.11 und 4.12 entweder direkt in das Excel-WS eingegeben werden oder man nutzt die in ALTEX-1D integrierte substratübergreifende Freundlichisotherme nach Utermann et al. (2005) zur Abschätzung von K_d -Werten für die Schwermetalle Cd, Cr, ges, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb und Zn. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass ALTEX-1D abweichend von den hier vorgestellten Berechnungen, für die Parametrisierung der Freundlichisotherme die Bodenkenndaten und Koeffizienten nach Utermann et al. (2005) für das Gesamtprobenkollektiv verwendet (vgl. Tabellen 3.2.-6 und 3.2.-11 im Bericht von Utermann). Im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens wurde für die Ableitung der Sorption in den Unterböden nach EBV abweichend von ALTEX-1D der Datensatz nach Utermann et al. (2005) aus Tabelle 3.2-9 für die Unterböden verwendet (vgl. Kapitel 4.1.2.3.1, Tabelle 4.4).

Für die Berechnungen in ALTEX-1D muss entsprechend der Annahme eines konstanten Quellterms im Fachkonzept für die EBV im ALTEX-1D-Worksheet „Fall A“ (konstante Quelle) eine dauerhafte Quelle eingestellt werden, indem z.B. für den Feststoffgehalt der Quelle ein großer Wert eingesetzt wird. Abbildung 4.3 zeigt einen Screenshot zur Berechnung des Durchbruchs der $\Sigma 15$ EPA PAK im EBV-Szenario „Pflasterbauweisen, Bodenkategorie Sand“ mit dem Modellwerkzeug ALTEX-1D <http://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen.html> und mit den Eingangsgrößen, die diesem Kapitel entnommen werden können.

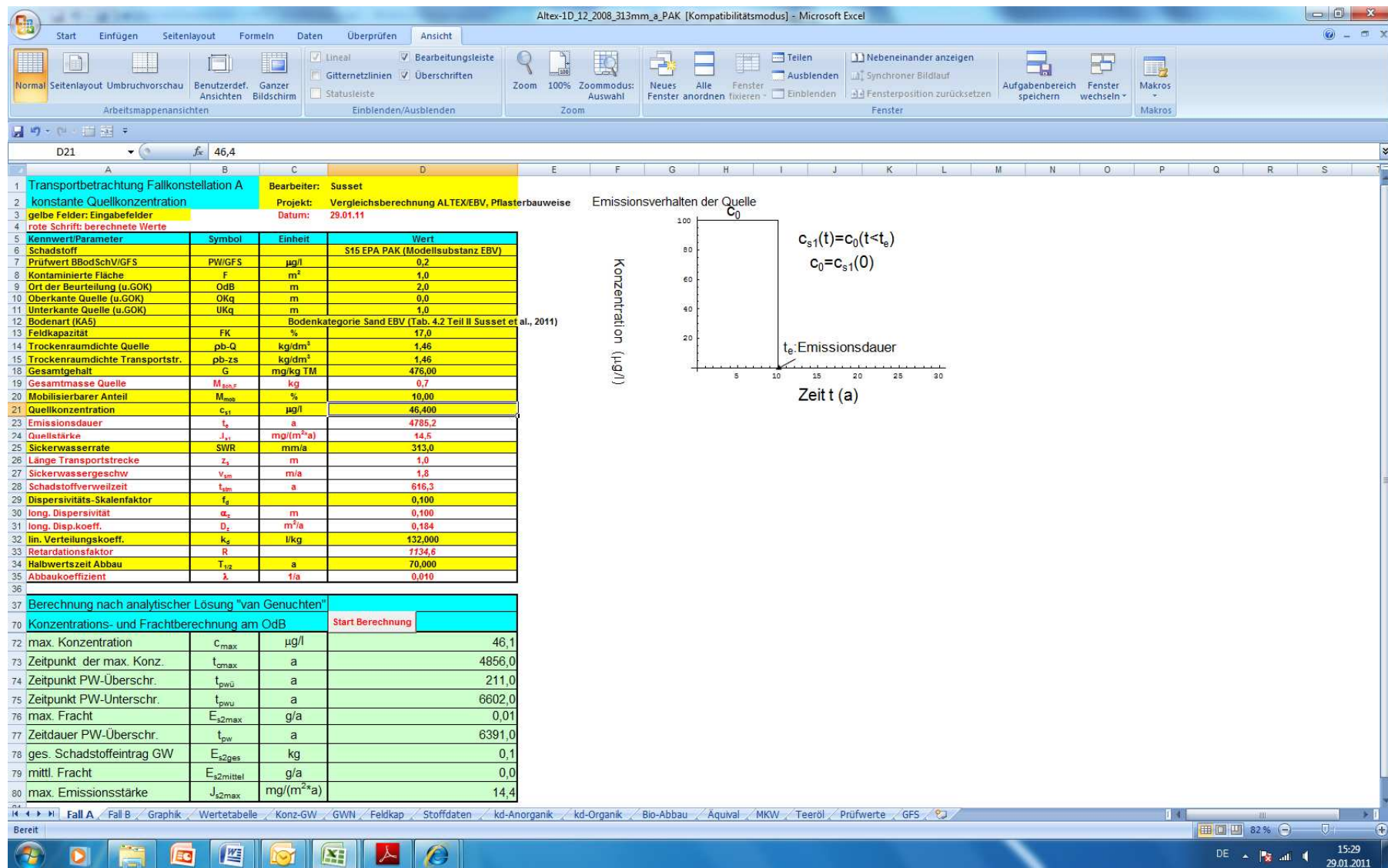


Abb. 4.3: Berechnung des Durchbruchs der Σ15 EPA PAK mit ALTEX-1D für das EBV-Szenario „Pflasterbauweisen“ bei Unterlagerung mit 1 Meter Sand.

Tabelle 4.18 vergleicht die Berechnungsergebnisse für den Zeitraum bis zum Durchbruch der GFS bzw. der Bezugsmaßstäbe für die hier berechneten maximal zulässigen konstanten Quelltermkonzentrationen mit den Ergebnissen von ALTEX-1D. Für Schwermetalle wurden beide oben genannten Varianten geprüft: Variante 1: Direkteingabe der hier nach der in Kapitel 4.1.2.3.1 erläuterten Vorgehensweise bestimmten K_d -Werte. Variante 2: Verwendung der mit ALTEX-1D bestimmten K_d -Werte.

Tab. 4.18: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen nach Susset & Leuchs (2008a), die eine Rückhaltung über 200 Jahre gewährleisten sollen und mit ALTEX-1D berechnete Zeiträume bis zum Durchbruch von Sickerwasserkonz. in der Höhe der GFS bzw. der Bezugsmaßstäbe nach 1 Meter Sickerstrecke in Sand (oben) bzw. Lehm/Schluff/Ton (unten).

Stoffe	max. zulässige Quelltermkonz (DK aus Tab. 4.11a, b) nach EBV-Fachkonzept Bodenkategorie Sand	K_d -Werte [L/kg], berechnet		Zeitraum bis zum Durchbruch von GFS bzw. BM [Jahre]		
		nach Susset & Leuchs (Freundlichparameter für Unterböden)	nach ALTEX 1D (Freundlichparameter für Gesamtprobenkollektiv)	Susset & Leuchs	ALTEX-1D	mit K_d -Werten aus ALTEX-1D (Spalte 4)
Antimon	6	32	30	200	209	200
Arsen	12	31	-	200	211	
Blei	>1000	253	140	>200	>200	> 200
Cadmium	2,34	30	25	200	205	200
Chrom	>1000	178	195	>200	>200	>200
Kupfer	232	87	100	200	222	256
Molybdän	147	66	48	200	220	161
Nickel	20	22	18	200	200	200
Vanadium	86	66	-	200	220	-
Zink	136	37	22	200	221	131
$\Sigma 15$ EPA PAK	46,4	132 (HWZ: 70)		200	211	-

Stoffe	max. zulässige Quelltermkonz (DK aus Tab. 4.12a, b) nach EBV-Fachkonzept Bodenkategorie Lehm/Schluff/Ton	K_d -Werte [L/kg], berechnet		Durchbruchszeitraum von GFS bzw. BM [Jahre]		
		nach Susset & Leuchs (Freundlichparameter für Unterböden)	mit ALTEX 1D (Freundlichparameter für Gesamtprobenkollektiv)			Susset & Leuchs (Freundlichparameter für Unterböden)
Antimon	5	23	-	200	200	-
Arsen	13	33	-	200	211	-
Molybdän	36	21	5	200	200	200
$\Sigma 15$ EPA PAK	72,8	132 (HWZ: 70)		200	198	-

Wie die Ergebnisvergleiche zeigen, können die Ergebnisse der Transportberechnungen sehr gut mit ALTEX-1D nachvollzogen werden. Unterschiede gehen im Wesentlichen auf die unterschiedlichen K_d -Werte zurück. Für alle in Tabelle 4.18 nicht gezeigten Stoffe werden die Durchbruchzeiträume nach 200 Jahren bei nach dem Durchbruchkriterium theoretisch maximal zulässigen Konzentrationen $> 1000 \mu\text{g/L}$ bestätigt. Diese Werte sind allerdings nicht bewertungsrelevant, da - wie Tabellen 4.11 und 4.12 zeigen - hier immer das Anreicherungskriterium limitiert.

Die Berechnungen nach Susset & Leuchs (2008a) führen zu geringfügig konservativeren Ergebnissen als ALTEX-1D - bei gleichen K_d -Werten (Direkteingabe) werden mit ALTEX-1D systematisch etwas höhere Durchbruchzeiträume berechnet. Demnach wären nach ALTEX-1D geringfügig höhere maximale Quelltermkonzentrationen zulässig, die einen Durchbruch von GFS bzw. BM nach 200 Jahren gewährleisten sollen. Dies liegt sehr wahrscheinlich an geringfügig unterschiedlichen Approximationen der inversen Fehlerfunktion oder an unterschiedlichen Näherungen der analytischen Lösung der Advektionsdispersionsgleichung. Zur analytischen Lösung des van Genuchten-Modells in ALTEX-1D liegen uns keine detaillierten Informationen vor.

Die mit ALTEX-1D abgeleiteten K_d -Werte auf der Grundlage der Kenngrößen für das Gesamtprobenkollektiv nach Utermann et al. (2005) führen zum Teil zu etwas niedrigeren K_d -Werten als für das Unterbodenprobenkollektiv, welches hier verwendet wird.

Dieses Ergebnis zeigt, dass mit den in diesem Bericht angegebenen Gleichungen und Eingangsgrößen sämtliche Grenzwertableitungen für den AE 2 EBV mit frei verfügbaren Modellwerkzeugen nachgerechnet werden können.

4.2 Quelltermprognose für leichtlösliche Substanzen

Für AE 2 EBV wurden folgende Anpassungen und Ergänzungen durchgeführt:

- Bewertung des Abklingverhaltens von Sulfat im Eluat von Braunkohleflugaschen im Zuge der Neueinführung von BFA in AE 2EBV
- Bewertung des Abklingverhaltens von Sulfat und Chlorid im Eluat von Edelstahlschlacken im Zuge der Neueinführung von EDS in AE 2 EBV
- Anpassung der medienschutzbasierten Einbauwerte von Salzen aller bisher betrachteten MEB an die neu berechneten Sickerwasserraten der überarbeiteten Straßendammmodelle
- Neuberechnung von medienschutzbasierten Einbauwerten von Salzen für die relevanten mineralischen Ersatzbaustoffe RC-Baustoffe und Hochofenstückschlacken in Bahnbauweisen

Die in Susset & Leuchs (2008a) berechneten medienschutzbasierten Einbauwerte für Salze für die bereits in AE 1 EBV geregelten mineralischen Ersatzbaustoffe in allen anderen Bauweisen wurden unverändert in AE 2 EBV übernommen.

4.2.1 Abklingfunktionen

4.2.1.1 Rückblick Ableitungskonzept Susset & Leuchs

Die Ableitung von medienschutzbasierten Einbauwerten für gut lösliche Salze ist in Susset & Leuchs (2008a) detailliert beschrieben. Ausgangspunkt ist die analytische Lösung der Advektions-Dispersionsgleichung (Gleichung 8) in Kapitel 2.2.3 im Fachbericht von Susset & Leuchs (Fachbericht von Oktober 2008, www.uba.de). Die analytische Lösung wurde zwischenzeitlich durch Grathwohl & Susset (2009) weiterentwickelt und international veröffentlicht (vgl. weiter unten). Die wichtigsten Arbeitsschritte bei der Ableitung von ME für Salze nach Susset & Leuchs (2008a) werden im Folgenden kurz zusammengefasst (detailliert in Susset & Leuchs, 2008a):

- Abtragung der Relativkonzentrationen von C_w/C_0 (mit C_w = aktuelle Konzentration und C_0 = Anfangskonzentration) bei verschiedenen WF von ausführlichen Säulenversuchen nach DIN 19528.
- Prüfung der Konstanz des Abklingverhaltens innerhalb einer Materialklasse (Betrachtung von Mittelwerten und Standardabweichungen bei verschiedenen WF (hierzu sollten mindestens 3 ausführliche Säulenversuch mit verschiedenen Proben eines MEB vorliegen))
- Anpassung der analytischen Lösung zur Bestimmung des Verteilungskoeffizienten K_d für den betrachteten Stoff
- In Susset & Leuchs (2008a) wird der K_d nach Gleichung 11 (im Fachbericht Susset & Leuchs, 2008a) in einen Abklingkoeffizienten κ umgerechnet.
- Vereinfachend wird in Susset & Leuchs (2008a) mit einer Exponentialfunktion (Gleichung 18 in Susset & Leuchs) eine Grenzkonzentration von Salzen eines MEB in bestimmten Einbauweisen nach EBV bei einem Grenz- WF nach 4 Jahren berechnet (kurzfristiges Abklingverhalten nach 4 Jahren, vgl. Gleichungen 17 und 18 in Susset & Leuchs, 2008a). Eingangsgrößen sind: Abklingkoeffizient κ ; Beurteilungszeitraum von 4 Jahren, Sickerwasserraten in den Bauwerken, Mächtigkeiten der Einbauschichten nach EBV und Trockenraumdichten der MEB in den Einbauschichten.
- Die maximal zulässige Quelltermkonzentration wird nach Gleichung 21 (in Susset & Leuchs, 2008a) berechnet.
- Die medienschutzbasierten Einbauwerte von Salzen werden durch Multiplikation der maximal zulässigen Quelltermkonzentration mit den bauwerksspezifischen Verdünnungsfaktoren und dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 berechnet

4.2.1.2 Weiterentwicklungen in Grathwohl & Susset (2009)

Grathwohl & Susset (2009) verglichen eine Vielzahl von Säulenelutions- und Schüttelelutionsdaten von mineralischen Ersatzbaustoffen mit analytischen Modellen zur Prognose der sequentiellen Extraktion, der Schüttelelution und der Perkolation. Säulenversuche stellen demnach die Prozesse bei der Perkolation von mineralischen Ersatzbaustoffen im Feld am realitätsnächsten dar.

Zur Prognose der Stofffreisetzung in Säulenversuchen verwendeten Grathwohl & Susset (2009) die analytische Lösung des Advektions-Dispersionsmodells (Gleichung 11) unter Verwendung der Wasser-Feststoffrate (WF) statt der Zeit und Berücksichtigung des Teilaustauschs des Wassers nach Infiltration des ersten Porenvolumens. Wenn die longitudinale Dispersivität (α) als Funktion der Sickerstrecke (x) betrachtet wird (siehe weiterführende Literatur in Grathwohl & Susset, 2009), dann ist die Relativkonzentration unabhängig von x (weil dann α/x konstant ist, z.B. ≈ 0.1). Literaturrecherchen zum ungesättigten Stofftransport bestätigen Mittelwerte von α/x im Bereich von 0.028 bis 0.2. n/ρ liegt typischerweise unter 0,35 (z.B. $0.45/((1-0.45) \cdot 2.7 \text{ kg L}^{-1}) = 0.3 \text{ kg L}^{-1}$), ist also i.d.R. kleiner als der Verteilungskoeffizient K_d und damit kaum sensitiv.

$$\frac{C}{C_o} = 1 - 0.5 \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{K_d - LS}{2 \sqrt{\frac{\alpha}{x} \left(\frac{n}{\rho} + K_d \right) LS}} \right) + \exp \left(\frac{x \left(1 - \frac{1}{R} \right)}{\alpha} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{K_d + LS}{2 \sqrt{\frac{\alpha}{x} \left(\frac{n}{\rho} + K_d \right) LS}} \right) \right] \quad (11),$$

entspricht Gleichung 7b in Grathwohl & Susset (2009)

Die Relativkonzentration C/C_o hängt damit im wesentlichen nur von K_d und WF ab und deshalb können Säulenversuche und Feldexperimente (z.B. Lysimeterversuche oder In-situ-Messungen) mit verschiedenen Transportstrecken, Fließgeschwindigkeiten, Kontaktzeiten etc. sehr einfach auf der Basis von WF miteinander verglichen werden. Abbildung 4.4 vergleicht verschiedene Elutionsmodelle nach Grathwohl & Susset (2009). Abbildung 4.5 zeigt den kumulativen Austrag und die Massenbilanzierungen der verschiedenen Modelle.

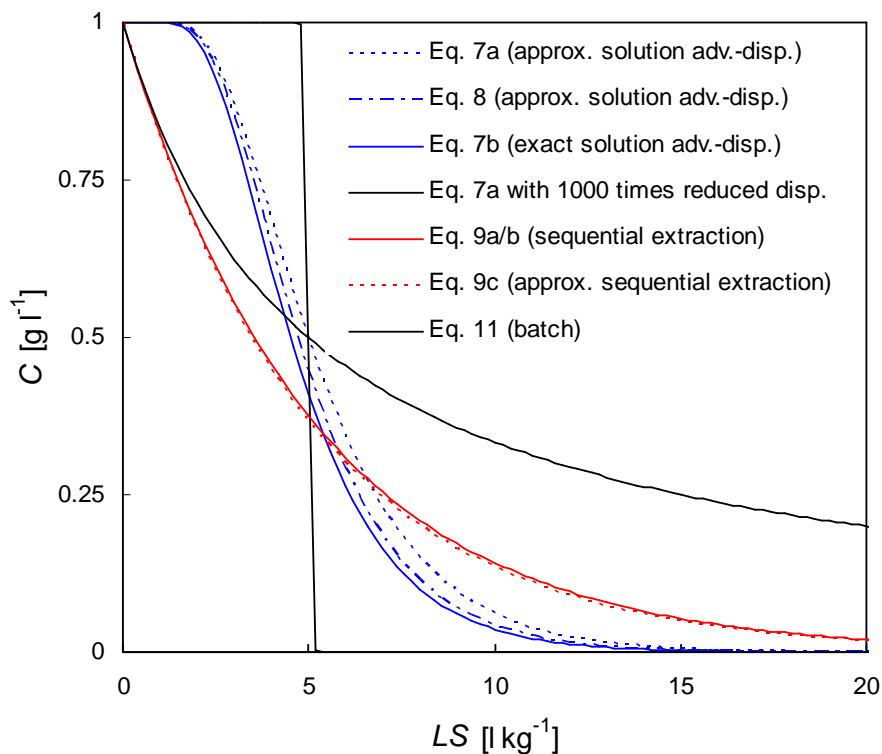


Abb. 4.411: Vergleich von Elutionskurven verschiedener Freisetzungsmodelle vs. WF ; $\alpha/x = 0.1$; Advektion mit 1000 mal reduzierter Dispersion resultiert in einer nahezu vertikalen Linie ($C_{s,ini} = 5 \text{ g kg}^{-1}$; $K_d = 5$, $n = 0.4$; $d_s = 2.7 \text{ kg l}^{-1}$; $\rho = 1.62 \text{ kg l}^{-1}$; $n/\rho = 0.25$; Strecke = 30 cm; $v = 1 \text{ m day}^{-1}$) (aus Susset & Grathwohl, 2009).

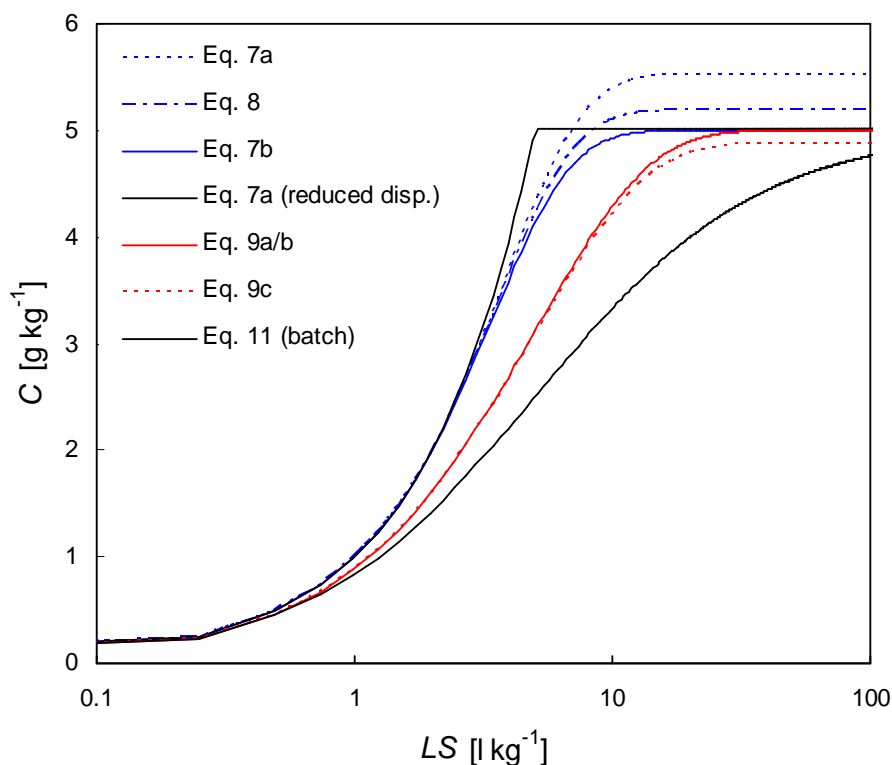


Abb. 4.5: Kumulierter Stoffaustrag – Massenbilanzierungen (Integration von Eq. 7a, 7b, 8, 9a/b, 9c und 11 über WF) für $\alpha/x = 0.1$ (aus Susset & Grathwohl, 2009).

Grathwohl & Susset (2009) zeigen für eine Vielzahl verschiedener mineralischer Ersatzbaustoffe, dass das Freisetzungsverhalten bestimmter Stoffe ähnlich und somit unabhängig von der Säulendimension ist, Säulen- und Feldergebnisse in Lysimetern hinreichend vergleichbar sind und damit das Freisetzungsverhalten alleine vom K_d -Wert und WF abhängt (vgl. Abbildung 4.6).

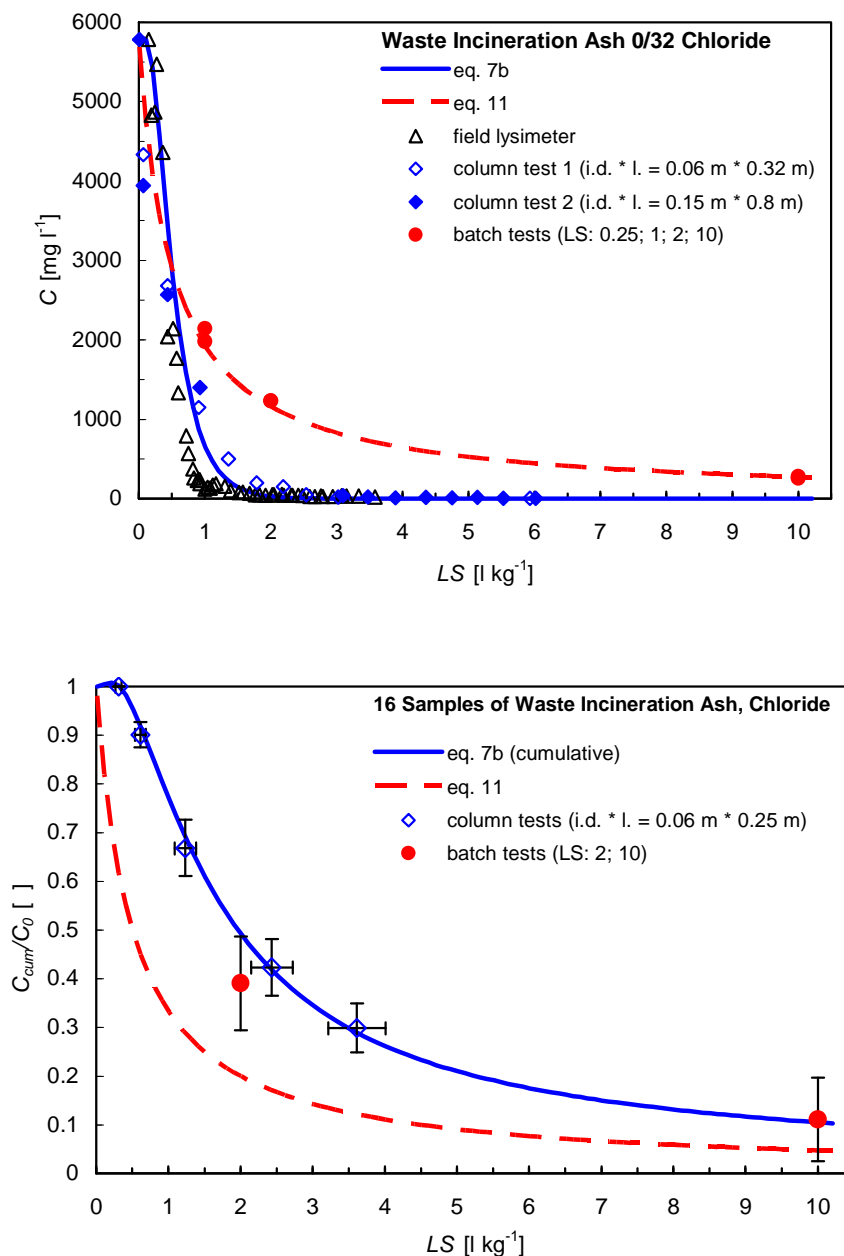


Abb. 4.612: Oben: Vergleich der Eluatkonzentrationen von Feldlysimetern (natürliche Regeninfiltration, 0,5 m mächtige Schicht), Säulenversuche unterschiedlicher Dimension und Fließgeschwindigkeiten (Innendurchmesser (i.d.) und Länge (l)) und Schüttel-eluat als Funktion von WF mit analytischen Lösungen; (detailliert in Grathwohl & Susset, 2009; Daten aus Susset & Leuchs, 2008b). Unten: Mittelwerte (Symbole) und Standardabweichungen (Balken) der Relativkonzentrationen (kumulative Konzentration) von Laborsäulen- und Schüttelversuchen für Chlorid und eine Vielzahl von Proben (Hausmüllverbrennungsaschen); verschiedene Anfangskonzentrationen C_0 abhängig von der Probe; K_d , n/ρ_{bulk} , $\alpha/x = 0.50$, 0.27 , 0.24 L kg^{-1} für Chlorid in Hausmüllverbrennungsaschen (aus Susset & Grathwohl, 2009).

Wenn durch eine Vielzahl von Untersuchungen verschiedener Proben des gleichen Materials der Nachweis erbracht werden kann, dass das Freisetzungsverhalten der Relativkonzentrationen in verschiedenen absoluten Konzentrationsbereichen über WF hinreichend konstant ist, kann basierend auf den oben vorgestellten Modellen und auf der Basis von Labormessergebnissen das Stofffreisetzungsverhalten im Feld näherungsweise abgeschätzt werden, indem die Funktion für die Feldszenarien skaliert wird.

Hierzu wird die dynamische Wasser-/Feststoffrate nach Gleichung 12 in die tatsächliche Zeit konvertiert (aus Grathwohl & Susset, 2009, siehe auch Van der Sloot et al., 2008):

$$WF = \frac{SWN t}{x \rho} \Rightarrow t = LS \frac{x \rho}{SWN} \quad (12)$$

Mit der Zeit t [Jahre], der Sickerwasserrate SWN [m/Jahr], der Trockenraumdichte ρ [kg/m³] und der Schichtmächtigkeit x [m] und der Wasser-/Feststoffrate (WF) [m³/kg] (Wassermenge, die das Material in einem bestimmten Zeitraum durchsickert hat, bezogen auf die Trockenmasse des Materials).

Die Approximationen von Susset & Leuchs (2008a) mit dem „Kappa-Modell“ führen gegenüber Gleichung 11 nach Grathwohl & Susset (2008a) zu i.d.R. geringfügig konservativern maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen (siehe Vergleich in Grathwohl und Susset, 2009).

4.2.1.3 Bewertung des Abklingverhaltens von Sulfat im Eluat von Braunkohleflugaschen

In ausführlichen Säulenversuchen nach DIN 19528 (2009) mit 10 verschiedenen Braunkohleflugaschen (BFA) wurden hohe, regelungsrelevante Sulfatkonzentrationen ermittelt (vgl. Auswertung von Säulenversuchsdaten des Bundesverbands der Energie und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und der VGB Powertec in Kapitel 6.4.5, Teil II, dieser Bericht). Abbildung 4.7 zeigt die Ergebnisse der Modellierung des Freisetzungsverhaltens von Sulfat in Säulenversuchen mit BFA. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte von C/C_o (aktuelle Konzentration versus Anfangskonzentration) bei den gemittelten WF von 10 ausführlichen Säulenversuchen und die Mittelwerte der Konzentrationen in Eluaten von Säulenkurztests bis WF 2. Das Abklingverhalten von Sulfat im Eluat von BFA zeigt hohe Standardabweichung bis 50%. Es wird insgesamt ein sehr langsames Abklingverhalten festgestellt, dass nach Gleichung 11 mit einem K_d -Werten von 5 L/kg angepasst wurde. Die Variabilität des Abklingverhaltens ist für die weitere Bewertung von BFA in der EBV jedoch nicht relevant, da BFA aufgrund anderer hoher Stoffausträge ausschließlich in den teildurchströmten Bauweisen ToB, Bodenverbesserung und Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundenen Deckschichten mit den lfd. Nr. 11-13 zugelassen werden kann. In diesen Bauweisen sind aufgrund der hohen Sickerwasserraten und Verdünnungsfaktoren Sulfatkonzentrationen weit oberhalb der maximal in den Statistiken aller mineralischen Ersatzbaustoffe nachweisbaren Sulfatkonzentrationen in WF 2-Eluaten zulässig und deshalb nicht limitierend (vgl. ME in Kapitel 5). Für BFA wurde als Materialwert von Sulfat der Maximalwert der Statistik von 2500 mg/L festgelegt (vgl. Kapitel 6.4.5).

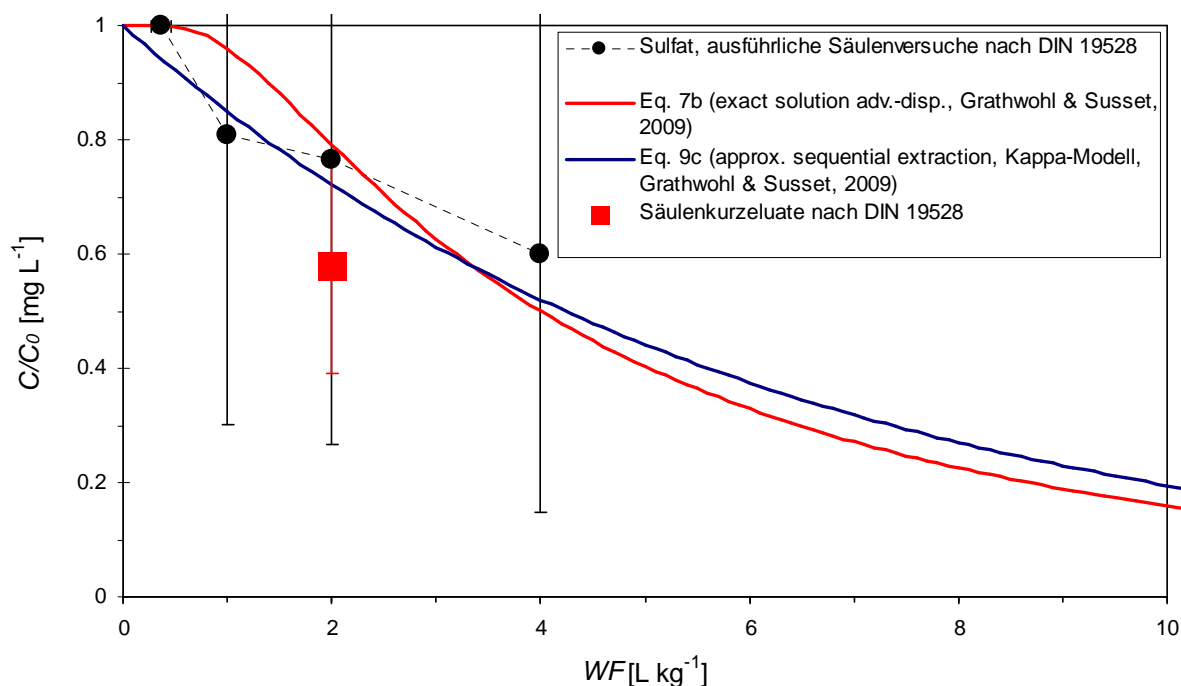


Abb. 4.7: Freisetungsverhalten von Sulfat aus Braunkohleflugaschen (BFA): Vergleich der Mittelwerte (Symbole) und Standardabweichungen (Balken) der aktuellen Relativkonzentrationen in Säuleneluat eines ausführlichen Säulenversuchs nach DIN 19528 (2009) von 10 verschiedenen Proben von Braunkohleflugaschen (BFA) sowie Mittelwerte und Standardabweichungen der Säulenkurzeluate bis WF 2 nach DIN 19528 (2009) mit der analytischen Modellierung nach Grathwohl & Susset (2009, Advektions-Dispersionsgleichung 7b und Kappamodell 9a/b, vgl. Modellierungsparameter in Tabelle 4.18 und 19).

4.2.1.4 Bewertung des Abklingverhaltens von Sulfat und Fluorid im Eluat von Edelstahlschlacken

In ausführlichen Säulenversuchen nach DIN 19528 (2009) mit 12 verschiedenen Proben von Edelstahlschlacken (EDS) wurden regelungsrelevante Konzentrationen von Fluorid und Sulfat ermittelt (vgl. Auswertung von Säulenversuchsdaten des FEhS-Instituts in Kapitel 6.7.2.2 Teil II, dieser Bericht).

Abbildung 4.8 zeigt die Ergebnisse der Modellierung des Freisetungsverhaltens von Sulfat (oben) und Fluorid (unten) in ausführlichen Säulenversuchen mit EDS. Dargestellt sind wiederum jeweils die Mittelwerte der Relativkonzentrationen (aktuelle Konzentration versus Anfangskonzentration) bei den gemittelten WF von 12 ausführlichen Säulenversuchen und die Mittelwerte der Konzentrationen in Eluaten von Säulenkurztests bis WF 2.

Sulfat zeigt ein hinreichend reproduzierbares Abklingverhalten. Der gefittete K_d -Wert von 3,2 L/kg wird für die Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten von Sulfat weiterverwendet.

Susset & Leuchs (2008a) betrachteten das Abklingverhalten von Fluorid anhand von Messdaten aus der Datenbank LeachXS des Energy Centre Netherlands (www.leachxs.org). Die - allerdings lückenhafte - Datenlage ließ bereits vermuten, dass Fluorid kein signifikantes Abklingverhalten aufweist und sich infolge der geringeren Verdünnung auch bei WF 10 noch erhöhte Konzentrationen einstellen können. Die Messdaten und Modellierungsergebnisse für Fluorid bestätigen die bisherigen Erkenntnisse: Die Fluoridkonzentrationen bleiben über weite WF -Bereiche konstant. Der gefittete K_d -Wert ist mit 25 L/kg entsprechend hoch. Nach bisheriger Daten- und Erkenntnislage ist nicht mit einem signifikanten Abklingen von Fluorid innerhalb eines kurzen Zeitraums von 4 Jahren (Beurteilungsmaßstab BMU) zu rechnen. Nach unserem Erkenntnisstand liegen für Fluorid auch keine Erkenntnisse vor, die auf relevante Rückhalte-/Abbauprozesse in natürlichen Böden hinweisen. Da Rückhalteprozesse

nicht angerechnet werden, müssen sowohl im ungünstigen Fall eines GW-Standes von $> 0,1 < 1\text{m}$ als auch bei GW-Abständen > 1 Meter und Sand und/oder Schluff/Lehm/Ton-Unterlagerung die GFS-Werte unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsfaktors von 1,5 oder bei entsprechender Verdünnung in Bauwerken zusätzlich unter Berücksichtigung der Verdünnungsfaktoren im WF 2-Eluat eingehalten werden (vgl. ME in Kapitel 5).

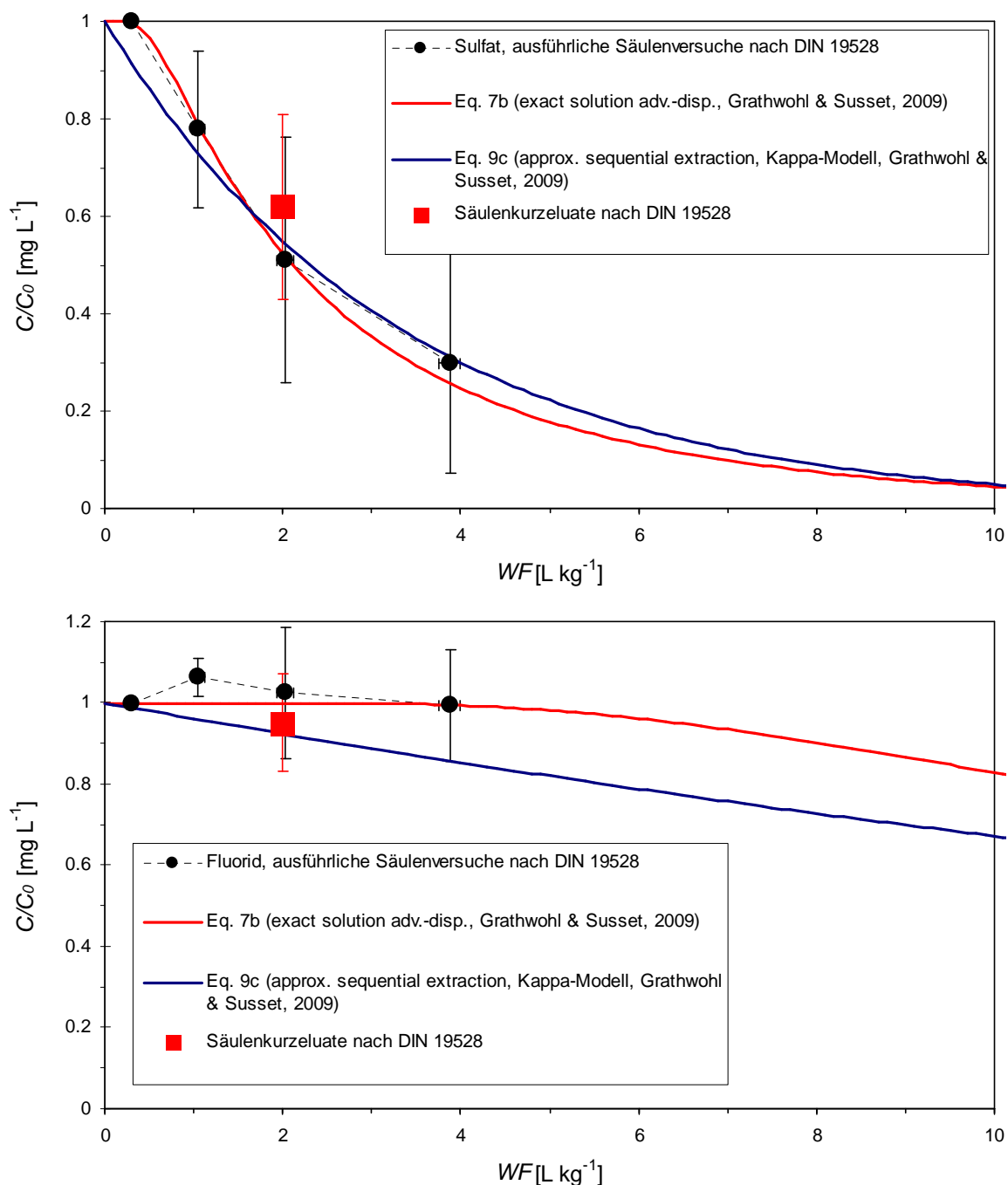


Abb. 4.8: Sulfat und Fluoridfreisetzung bei Edelstahlschlacken (EDS): Vergleich der Mittelwerte (Symbole) und Standardabweichungen (Balken) der aktuellen Relativkonzentrationen in Säuleneluates eines ausführlichen Säulenversuchs nach DIN 19528 (2009) von 4 verschiedenen Edelstahlschlacken (verschiedene Herkünfte) für die Stoffe Sulfat (oben) und Fluorid (unten) sowie Mittelwerte und Standardabweichungen der Säulenkurzeluate bis WF 2 nach DIN 19528 (2009) mit der analytischen Modellierung nach Grathwohl & Susset (2009, Advektions-Dispersionsgleichung 7b und Kappamodell 9a/b, vgl. Modellierungsparmeter in Tabelle 418 und 19).

4.2.2 Zusammenfassung der Eingangsgrößen für die Ableitung von ME von Salzen und Kennzeichnung der Änderungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a)

Tabelle 4.19 fasst die bauwerksspezifischen und materialspezifischen Lagerungsdichten und Porositäten zur Berechnung der Kappawerte aus den materialspezifischen K_{σ} -Werten (Abklingmodelle nach Gleichung 11) für MEB mit regelungsrelevanten Sulfat und / oder Chloridfreisetzungen zusammen.

Tab. 4.19: Bauwerks- und materialspezifische Lagerungsdichten und Porositäten zur Berechnung der zugehörigen Kappawerte aus den materialspezifischen K_{σ} -Werten der Abklingmodelle. Die Daten für RC-Baustoff und HMVA stammen aus Beyer et al. (2007) und Grathwohl et al. (2006), Proctordichten von HOS und HS aus einer frdl. Mitteilung durch die FEhS. Für Bettungs-, Trag- und Deckschichten wird entsprechend den Vorgaben zum Mindestverdichtungsgrad von Verkehrsflächen der Belastungsstufe VI nach ZTV T-StB 95 (2002) ein Verdichtungsgrad von 100 % der Proctordichte eingesetzt (siehe auch Beyer et al., 2007). Für den Lärmschutzwall wird nach ZTVE-StB 94 (1997) ein Verdichtungsgrad von 95 % der Proctordichte und für den Straßendamm und Bahndamm ein Verdichtungsgrad von 100 % der Proctordichte angesetzt (bei Straßendamm und Bahndamm wird zur Vereinfachung die etwas geringere Verdichtung ab 1 m unter Planum bis zur Dammsohle nicht berücksichtigt). Die genannten Werte gelten für grobkörnige Materialien. Der geringere Verdichtungsgrad der feinkörnigen SFA und BFA (Mindestanforderung 97 %) wird nicht berücksichtigt (geringe Verdichtungsunterschiede wirken sich auf die Modellrechnungen nur vernachlässigbar aus, die Unterschiede liegen im Rundungsbereich der Kappawerte). Abkürzungen: T: Bettungs-, Trag- und Deckschichten, L: (Lärm-) Schutzwälle, SD: Straßendämme, BD: Bahndamm; V = Verdichtungsgrad, ρ_p = Proctordichte; ρ_b = Trockenraumdichte (auch Lagerungsdichte), n = Porosität; S_a = Wassersättigung, θ_a = aktueller Wassergehalt. Rot und fett markiert: Ergänzungen für AE2 EBV gegenüber Susset & Leuchs (2008a).

Parameter	RC		HMVA		HOS		HS		SFA/SKA/B FA		EDS		
	T, SD, BD	L	T u. SD	L	T, SD, BD	L	T u. SD	L	T u. SD	L	T	L	SD
V					1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1,03
ρ_p [kg m ⁻³]					1,90	1,90	1,50	1,50	1,70	1,70	2,5	2,5	2,5
ρ_b [kg m ⁻³]	1,94	1,84	1,90	1,81	1,90	1,81	1,50	1,43	1,70	1,62	2,5	2,4	2,6
n []	0,27	0,31	0,33	0,36	0,30	0,33	0,30	0,33	0,30	0,33	0,29	0,32	0,26
S_a [%]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
θ_a []	0,18	0,20	0,22	0,23	0,19	0,22	0,20	0,22	0,19	0,22	0,13	0,14	0,12

Tabelle 4.20 fasst die K_{σ} -Werte aus den Abklingmodellen für alle in AE 2 EBV geregelten MEB mit relevanten Salzfreesetzungen und die nach Susset & Leuchs (2008a) abgeleiteten Kappawerte zusammen. Ergänzungen gegenüber Susset & Leuchs (2008a) sind rot markiert.

Tab. 4.20: Materialspezifische K_d -Werte aus den Abklingmodellen und material- und bauwerksspezifische Kappa-Werte nach Susset & Leuchs (2008a). Rot und fett markiert: Ergänzungen für AE2 EBV gegenüber Susset & Leuchs (2008a).

Parameter	RC		HMVA		HOS		HS		SFA		SKA		BFA		EDS	
	T, SD, BD	L	T u. SD	L	T, S D, B D	L	T u. S D	L	T u. S D	L	T u. SD	L	T u. SD	L	T u. SD	L
K_d Chlorid [L/kg]	-		0,6		-		-		-		-		-		-	
κ Chlorid [kg/L]	-	-	1,40-	1,37			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K_d Sulfat [L/kg]	1,2		3,2		1,8		0,6		0,4		0,9		5		3,2	
κ Sulfat [kg/L]	0,78	0,76	0,30	0,30	0,53	0,52	1,37	1,33	1,95	1,84	0,99	0,97	0,20	0,20	0,31	0,31

4.2.3 Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Salzen

Die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen von Salzen der verschiedenen MEB in den Einbauweisen der EBV werden wie folgt berechnet.

- Berechnung der für jede Einbauweise spezifischen dem Beurteilungszeitraum von 4 Jahren entsprechende Wasser-/zu Feststoffrate WF_{Grenz} nach Gleichung 17 in Susset & Leuchs (2008a). Eingangsgrößen sind die Schichtmächtigkeiten und Sickerwasser-raten aus den Tabellen 3.7 und 3.17 (in Kapitel 3, Teil II dieser Bericht) und die bauwerksspezifischen Trockenraumdichten aus Tabelle 4.18 (siehe oben).
- Berechnung der maximal zulässigen Anfangskonzentration ($C_{o,Grenz}$) an der Unterkan-te des Bauwerks nach Gleichung 18 aus dem Fachbericht von Susset & Leuchs (2008a). Eingangsgrößen sind die Zielkonzentration bei WF_{Grenz} , also die Geringfügigkeits-schwellen von Sulfat und Chlorid und die Kappawerte aus Tabelle 4.19 (siehe oben).
- Berechnung der maximal zulässigen Quelltermkonzentration bei WF 2 nach Gleichung 21 in Susset & Leuchs (2008a)

Tabellen 4.21 und 4.22 zeigen die resultierenden maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für Salze von mineralischen Ersatzbaustoffen mit regelungsrelevanten Freisetzen von Chlorid und / oder Sulfat. Im Einzelnen sind das HOS, HS, EDS, SKA, SFA, BFA, HMVA und RC (vgl. Kapitel 6 zur Ableitung von Materialwerten und zur Identifizierung regelungsrelevanter Parameter). In Bahnbauweisen der DB werden nur HOS und RC mit regelungsrelevanten Sulfatfreisetzungen eingesetzt.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird in den folgenden Tabellen dieselbe Matrix verwendet, wie in den Einbautabellen der EBV in der MantelV (BMU, 2011).

Die maximal zulässigen Quelltermkonzentration von Salzen sind aufgrund des materialspezifischen Abklingverhaltens im Gegensatz zu Schwermetallen und Organika auch abhängig von der Art des mineralischen Ersatzbaustoffes sowie und von den bauwerksspezifischen Parametern (Mächtigkeiten, Einbaudichten). Für die Berechnung des Abklingverhaltens wird die Gesamtinfiltration in das Bauwerk betrachtet (vgl. Kapitel 4.1.3.5, Teil I, dieser Bericht). Da Salze keine bewertungsrelevante Rückhaltung in den beiden Bodenkategorien nach EBV zeigen, sind die maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für Salze unabhängig von den Untergrundkonstellationen der EBV (ungünstig/günstig).

Die medienschutzbasierten Einbauwerte von Salzen erhält man durch Multiplikation dieser Werte mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 und den Verdünnungsfaktoren aus Tabellen

3.7 und 3.17 (vgl. Kapitel 5). In Anhang 1.2 sind Änderungen der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen für den AE 2 EBV gegenüber Susset & Leuchs (2008a) gekennzeichnet.

Erläuterungen zu Tabelle 4.21

Vgl. Tabelle 3.7 in Kapitel 3.2 (Teil II, dieser Bericht):

Gesamtinfiltration im Böschungsbereich der Straßendämme: 1803 mm/a, unterschiedliche Schichtmächtigkeiten, Nr. 11a: 15 cm, 11b: 35 cm, 12: 50 cm, 13: 100 cm.

Infiltration unter Plattenbelägen und unter ungebundenen Deckschichten: 583 mm/a, unterschiedliche Schichtmächtigkeiten, Nr. 15: 3 cm, 16: 6 cm, 12: 50 cm, 17: 50 cm; 19, 21: 100 cm; 23: 300 cm.

Infiltration unter Pflaster und Schutzwälle: 313 mm/a, unterschiedliche Schichtmächtigkeiten, Nr. 18: 50 cm, 20, 22: 100 cm, 24: 300 cm, 27: 400 cm.

Gesamtinfiltration im Böschungsbereich der Bauwerke 25, 26: 1065 mm/a, Schichtmächtigkeiten, Nr. 25, 26: 400 cm.

Tab. 4.21: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Chlorid und Sulfat verschiedener mineralischer Ersatzbaustoffe in Einbauweisen nach AE 2 EBV (MantelIV, 2011). kursiv: Chlorid (nur bei HMVA relevant); Abkürzungen: >MWmax: zulässige Konzentration liegt oberhalb der Maximalkonzentrationen aller Datengrundlagen und oberhalb der maximalen Materialwerte.

Einbauweisen nach Anhang 2.2 EBV (MantelIV 2011)		Maximal zulässige Quelltermkonzentration von Salzen [mg/L] (unabhängig von GW-Abstand und Bodenkategorie)							
		MEB mit regelungsrelevanten Salzfreesetzungen							
lfd. Nr. EBV	Technische Bauwerke (Straßen-Wege-, Erdbau)	HOS	HS	EDS	SKA	SFA	BFA	HMV A	RC
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	1095	>MW max	425	>MW max	>MW max	455	565 ->MW max	2175
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
16	Deckschicht ohne Bindemittel	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	540	>MW max	320	1570	>MW max	395	380 2620	785
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	300	805	245	450	1065	275	270 530	330
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	285	690	240	405	875	270	260 470	310
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	210	260	210	215	255	225	220 210	200
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	285	690	240	405	875	270	260 470	310
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	210	260	210	215	255	225	220 210	200
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	185	165	195	165	150	210	205 150	165
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	165	120	190	135	100	195	190 115	145
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	200	220	205	195	205	225	213 185	185
25 K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	200	220	205	195	205	225	213 185	185
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	200	220	205	195	205	225	213 185	185
26 K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	200	220	205	195	205	225	213 185	185
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	160	110	185	130	90	195	190 110	140
27 M	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	160	110	185	130	90	195	190 110	140

Tab. 4.22: Maximal zulässige Quelltermkonzentrationen von Sulfat für RC und HOS in den medien-schutzbasiert bewerteten, bautechnisch relevanten Einbauweisen des Schienenverkehrs-wegebaus nach AE 2 EBV (MantelV, 2011). Abkürzungen; n. rel: bautechnisch nicht rele-vant)

Einbauweisen nach Artikel 2 (EBV), Anhang 2.3, Entwurf MantelV (2011) spezifische Bahnbauweisen		ungünstig		günstig	
				Sand	Lehm/Schluff /Ton
		HOS	RC		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	n. rel.	n. rel.	Werte unterscheiden sich nicht vom ungünstigen Fall, da bei Salzen keine Rückhaltung angerechnet werden kann	
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	n. rel.	n. rel.		
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	n. rel.	n. rel.		
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	n. rel.		
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	993	1894		
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	993	1894		
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	n. rel.	1894		
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	1894		
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	n. rel.	1894		
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	1894		
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	n. rel.	n. rel.		
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	n. rel.	170		
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	n. rel.	198		
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	n. rel.	170		
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	164		

Vgl. Tabelle 3.17 in Kapitel 3.3 (Teil II, dieser Bericht):

Gesamtinfiltrationsrate: 515 mm/a, Schichtmächtigkeiten PSS und FSS: 30 cm

Gesamtinfiltrationsrate: 515 mm/a, Mächtigkeit Unterbau Standard Damm und Bauweise H: 250 cm

Gesamtinfiltrationsrate: 515 mm/a, Mächtigkeit Unterbau Standard Einschnitt: 170 cm

Gesamtinfiltrationsrate: 515 mm/a, Mächtigkeit Unterbau Bauweise H modifiziert: 280 cm

5 Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten

5.1 Berechnung

Die medianschutzbasierten Einbauwerte ergeben sich durch Multiplikation der maximal zulässigen Quelltermkonzentrationen in den Tabellen 4.13 bis 4.16 (Schwermetalle und Organika, Kapitel 4.1.3.4 Teil II dieser Bericht) und in den Tabellen 4.21 und 4.22 (Chlorid und Sulfat, Kapitel 4.2.3 Teil II dieser Bericht) mit den bauwerksspezifischen Faktoren in den Tabellen 3.7 (Straßen-, Wege- und Erdbau, Kapitel 3.2.4 Teil II dieser Bericht) und 3.17 (Schienenverkehrswegebau, Kapitel 3.3.3 Teil II dieser Bericht) und mit dem Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 (Kapitel 4.1.5 Teil I dieser Bericht).

Die medianschutzbasierten Einbauwerte wurden im Auftrag des BMU auf die in den folgenden Tabellen genannten Werte gerundet.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind in den nachfolgenden Tabellen 5.1 und 5.2 die bauwerksspezifischen Faktoren den einzelnen Einbauweisen entsprechend der Matrix der Einbautabellen der EBV zugeordnet. Die bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} im Straßenbau liegen zwischen 1 (keine in Bauweisen unter ungebundenen Deckschichten, Pflaster und Plattenbelägen und Dämmen unter kulturfähigen Boden ohne Ausbildung von Kapillarsperreneffekten) und maximal 36 (starke Verdünnung in der Schottertragschicht im Straßendamm aufgrund starker Umströmung).

Die bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} im Schienenverkehrswegebau liegen zwischen 1,6 (nur geringe Umströmung des Unterbaus (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt) bis maximal 5,1 (starke Umströmung der Frostschutzschichten der Bahnbauweise H und H modifiziert).

In Anhang 2 sind sämtliche Änderungen der bauwerksspezifischen Faktoren und der abschließenden Tabellen mit den medianschutzbasierten Einbauwerten gegenüber Susset & Leuchs (2008a) gekennzeichnet.

Tab. 5.1: Zuordnung der bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} aus Tabelle 3.7 (Kapitel 3.2.4 Teil II) zu den einzelnen unmittelbar nach Fachkonzept medienenschutzbasiert beurteilten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus nach AE2 EBV (MantelV, 2011).

			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
						S			L/U/T		
Stoff 1			Stoff 2			Stoff 3			Stoff 4		
Stoff 5			Stoff 6								
Ifd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
			36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
			7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht		7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
			7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht		7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
			7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	Deckschicht ohne Bindemittel		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
			4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
			4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
			1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7

Tab. 5.2: Zuordnung der bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} aus Tabelle 3.17 (Kapitel 3.3.3 Teil II) zu den einzelnen unmittelbar nach Fachkonzept medienenschutzbasiert beurteilten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebaus nach AE2 EBV (MantelV, 2011).

			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht											
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)								
						höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Stoff 1	Stoff 2	Stoff 3				S			L/U/T					
Stoff 4	Stoff 5	Stoff 6												
Ifd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3					
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3			
	Damm		2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3			
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			
	Einschnitt		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6			
			2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6			
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6			
	modifiziert		2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6			
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			
	Bahnbauweise Standard Damm		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7			
	Bahnbauweise Standard Einschnitt		1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7			
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2			
	Bahnbauweise H		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2			
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2			
	Bahnbauweise H modifiziert		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2			
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1			
	Bahnbauweise H		5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1			
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1			
	Bahnbauweise H modifiziert		5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1			
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H		8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1			
			8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1			
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8			
	Damm		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8			
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6			
	Einschnitt		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6			
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H		3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1			
			3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1			
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise		6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7			
	H modifiziert		6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7			

5.2 Abschließende medienschutzbasierte Einbauwerte für die Bewertung der Zulässigkeit von MEB in technischen Bauwerken nach AE 2 EBV (MantelIV, 2011)

Tab. 5.3: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Sb, As, Pb, Cd, Cr, ges., Cu in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. Cadmium 0,1 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten											
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)								
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton						
Sb	As	Pb												
Cd			Cr			Cu			S			L/U/T		
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3					
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		270	540	1242	270	540	3942	270	540	10854			
			108,0	540	1080	108,0	5940	5130	324,0	12906	8046			
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		58	116	266	58	116	843	58	116	2322			
			23,1	116	231	23,1	1271	1097	69,3	2760	1721			
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht		58	116	266	58	116	843	58	116	2322			
			23,1	116	231	23,1	1271	1097	69,3	2760	1721			
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht		57	114	262	57	114	832	57	114	2291			
			22,8	114	228	22,8	1254	1083	68,4	2725	1699			
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen		8	15	35	8	15	92	8	15	252			
			3,0	15	30	3,0	137	111	7,5	299	186			
16	Deckschicht ohne Bindemittel		8	15	35	8	15	92	8	15	252			
			3,0	15	30	3,0	137	111	7,5	299	186			
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	15	35	8	15	92	8	15	252			
			3,0	15	30	3,0	137	111	7,5	299	186			
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster		8	15	35	9	18	170	8	20	470			
			3,0	15	30	3,0	255	221	13,5	557	348			
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	15	35	8	15	92	8	15	252			
			3,0	15	30	3,0	137	111	7,5	299	186			
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster		8	15	35	9	18	170	8	20	470			
			3,0	15	30	3,0	255	221	13,5	557	348			
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	15	35	8	15	92	8	15	252			
			3,0	15	30	3,0	137	111	7,5	299	186			
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster		8	15	35	9	18	170	8	20	470			
			3,0	15	30	3,0	255	221	13,5	557	348			
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		8	15	35	8	15	92	8	15	252			
			3,0	15	30	3,0	137	111	7,5	299	186			
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster		8	15	35	9	18	170	8	20	470			
			3,0	15	30	3,0	255	221	13,5	557	348			
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		8	15	35	8	15	117	8	15	324			
			3,0	15	30	3,0	177	153	9,0	384	240			
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		32	63	145	32	63	491	32	63	1361			
			12,6	63	126	12,6	743	643	37,8	1613	1008			
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		8	15	35	8	15	117	8	15	324			
			3,0	15	30	3,0	177	153	9,0	384	240			
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		32	63	145	32	63	491	32	63	1361			
			12,6	63	126	12,6	743	643	37,8	1613	1008			
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden		8	15	35	9	18	170	8	20	470			
			3,0	15	30	3,0	255	221	13,5	557	348			
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		13	26	59	15	31	288	13	33	798			
			5,1	26	51	5,1	434	375	23,0	946	592			

Tab. 5.4: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Mo, Ni, V, Zn, $\Sigma 15$ EPA PAK, MKW in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. $\Sigma 15$ EPA PAK auf 0,1 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Mo	Ni	V				S			L/U/T		
Zn	$\Sigma 15$ EPA PAK	MKW									
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		1890	1080	1080	1890	1080	2808	1890	8046	22950
			5400	10,8	5400	5832	199,8	6372	36666	286,2	6480
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht		404	231	231	404	231	601	404	1721	4909
			1155	2,3	1155	1247	42,7	1363	7842	61,2	1386
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht		404	231	231	404	231	601	404	1721	4909
			1155	2,3	1155	1247	42,7	1363	7842	61,2	1386
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht		399	228	228	399	228	593	399	1699	4845
			1140	2,3	1140	1231	42,2	1345	7741	60,4	1368
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen		53	30	30	53	30	65	53	186	531
			150	0,3	150	156	4,5	162	849	6,8	164
16	Deckschicht ohne Bindemittel		53	30	30	53	30	65	53	186	531
			150	0,3	150	156	4,5	162	849	6,8	164
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		53	30	30	53	30	65	53	186	531
			150	0,3	150	156	4,5	162	849	6,8	164
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster		53	30	30	53	30	129	53	348	990
			150	0,3	150	204	45,9	297	1581	47,0	308
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		53	30	30	53	30	65	53	186	531
			150	0,3	150	156	4,5	162	849	6,8	164
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster		53	30	30	53	30	129	53	348	990
			150	0,3	150	204	45,9	297	1581	47,0	308
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		53	30	30	53	30	65	53	186	531
			150	0,3	150	156	4,5	162	849	6,8	164
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster		53	30	30	53	30	129	53	348	990
			150	0,3	150	204	45,9	297	1581	47,0	308
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		53	30	30	53	30	65	53	186	531
			150	0,3	150	156	4,5	162	849	6,8	164
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster		53	30	30	53	30	129	53	348	990
			150	0,3	150	204	45,9	297	1581	47,0	308
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		53	30	30	53	30	84	53	240	684
			150	0,3	150	167	7,7	186	1092	11,1	189
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		221	126	126	221	126	353	221	1008	2873
			630	1,3	630	699	32,1	781	4586	46,6	794
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		53	30	30	53	30	84	53	240	684
			150	0,3	150	167	7,7	186	1092	11,1	189
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		221	126	126	221	126	353	221	1008	2873
			630	1,3	630	699	32,1	781	4586	46,6	794
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden		53	30	30	53	30	129	53	348	990
			150	0,3	150	204	45,9	297	1581	47,0	308
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		89	51	51	89	51	219	89	592	1683
			255	0,5	255	347	78,0	505	2688	79,8	523

Tab. 5.5: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Phenol, PCB, ges., BTX, Chlorphenole, ges., Chlorbenzole, ges. und Hexachlorbenzol in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. PCB und HCB auf 0,01 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Phenol	PCB, ges.	BTX									
Chlorphenole, ges.			Chlorbenzole, ges.			Hexachlorbenzol					
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	432	0,54	1080	108000	0,54	1210	108000	0,54	1285	
		54	54	0,54	2246	61	0,54	2322	65	0,54	
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	92	0,12	231	23100	0,12	259	23100	0,12	275	
		12	12	0,12	480	13	0,12	497	14	0,12	
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	92	0,12	231	23100	0,12	259	23100	0,12	275	
		12	12	0,12	480	13	0,12	497	14	0,12	
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	91	0,11	228	22800	0,11	255	22800	0,11	271	
		11	11	0,11	474	13	0,11	490	14	0,11	
16	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	12	0,02	30	3000	0,02	33	3000	0,02	35	
		2	2	0,02	52	2	0,02	53	2	0,02	
16	Deckschicht ohne Bindemittel	12	0,02	30	3000	0,02	33	3000	0,02	35	
		2	2	0,02	52	2	0,02	53	2	0,02	
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	12	0,02	30	3000	0,02	33	3000	0,02	35	
		2	2	0,02	52	2	0,02	53	2	0,02	
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	12	0,02	30	3000	0,02	36	3000	0,02	39	
		2	2	0,02	97	2	0,05	99	2	0,05	
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	12	0,02	30	3000	0,02	33	3000	0,02	35	
		2	2	0,02	52	2	0,02	53	2	0,02	
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	12	0,02	30	3000	0,02	36	3000	0,02	39	
		2	2	0,02	97	2	0,05	99	2	0,05	
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	12	0,02	30	3000	0,02	33	3000	0,02	35	
		2	2	0,02	52	2	0,02	53	2	0,02	
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	12	0,02	30	3000	0,02	36	3000	0,02	39	
		2	2	0,02	97	2	0,05	99	2	0,05	
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	12	0,02	30	3000	0,02	33	3000	0,02	35	
		2	2	0,02	52	2	0,02	53	2	0,02	
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	12	0,02	30	3000	0,02	36	3000	0,02	39	
		2	2	0,02	97	2	0,05	99	2	0,05	
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	12	0,02	30	3000	0,02	34	3000	0,02	36	
		2	2	0,02	67	2	0,02	69	2	0,02	
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	50	0,06	126	12600	0,06	142	12600	0,06	151	
		6	6	0,06	282	7	0,06	290	8	0,06	
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	12	0,02	30	3000	0,02	34	3000	0,02	36	
		2	2	0,02	67	2	0,02	69	2	0,02	
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	50	0,06	126	12600	0,06	142	12600	0,06	151	
		6	6	0,06	282	7	0,06	290	8	0,06	
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	12	0,02	30	3000	0,02	36	3000	0,02	39	
		2	2	0,02	97	2	0,05	99	2	0,05	
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	20	0,03	51	5100	0,03	61	5100	0,03	66	
		3	3	0,03	165	3	0,08	168	3	0,08	

Tab. 5.6: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Atrazin, Bromacil, Diuron, Glyphosat, Simazin, und sonstigen Herbiziden (Dimetufuron, Flazasulfuron, Flumioxazin, sowie neu zugelassene Wirkstoffe) in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
						s			L/U/T		
Ifd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	Atrazin	5,4	5,4	2,70	14,6	8,6	4,86	23,8	10,8	7,02
		Bromacil	5,4	5,4	5,4	29,2	28,1	35,1	92,9	58,3	49,7
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	Diuron	1,2	1,2	0,58	3,1	1,8	1,04	5,1	2,3	1,50
		Glyphosat	1,2	1,2	1,2	6,2	6,0	7,5	19,9	12,5	10,6
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	Simazin	1,2	1,2	0,58	3,1	1,8	1,04	5,1	2,3	1,50
		Sonstige Herbizide	1,2	1,2	1,2	6,2	6,0	7,5	19,9	12,5	10,6
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht		1,1	1,1	0,57	3,1	1,8	1,03	5,0	2,3	1,48
			1,1	1,1	1,1	6,2	5,9	7,4	19,6	12,3	10,5
16	Deckschicht ohne Bindemittel		0,2	0,2	0,08	0,3	0,2	0,12	0,5	0,3	0,17
			0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	2,1	1,2	1,0
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		0,2	0,2	0,08	0,3	0,2	0,12	0,5	0,3	0,17
			0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	2,1	1,2	1,0
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster		0,2	0,2	0,08	0,7	0,3	0,20	1,3	0,4	0,30
			0,2	0,2	0,2	3,1	1,7	3,9	4,0	4,0	4,0
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		0,2	0,2	0,08	0,3	0,2	0,12	0,5	0,3	0,17
			0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	2,1	1,2	1,0
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster		0,2	0,2	0,08	0,7	0,3	0,20	1,3	0,4	0,30
			0,2	0,2	0,2	3,1	1,7	3,9	4,0	4,0	4,0
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		0,2	0,2	0,08	0,3	0,2	0,12	0,5	0,3	0,17
			0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	2,1	1,2	1,0
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster		0,2	0,2	0,08	0,7	0,3	0,20	1,3	0,4	0,30
			0,2	0,2	0,2	3,1	1,7	3,9	4,0	4,0	4,0
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen		0,2	0,2	0,08	0,3	0,2	0,12	0,5	0,3	0,17
			0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	2,1	1,2	1,0
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster		0,2	0,2	0,08	0,7	0,3	0,20	1,3	0,4	0,30
			0,2	0,2	0,2	3,1	1,7	3,9	4,0	4,0	4,0
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		0,2	0,2	0,08	0,4	0,3	0,15	0,7	0,3	0,21
			0,2	0,2	0,2	1,0	0,9	1,2	2,8	1,9	1,7
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		0,6	0,6	0,32	1,8	1,1	0,63	3,0	1,3	0,88
			0,6	0,6	0,6	4,0	3,7	4,9	11,6	7,9	7,1
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden		0,2	0,2	0,08	0,4	0,3	0,15	0,7	0,3	0,21
			0,2	0,2	0,2	1,0	0,9	1,2	2,8	1,9	1,7
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		0,6	0,6	0,32	1,8	1,1	0,63	3,0	1,3	0,88
			0,6	0,6	0,6	4,0	3,7	4,9	11,6	7,9	7,1
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden		0,2	0,2	0,08	0,7	0,3	0,20	1,3	0,4	0,30
			0,2	0,2	0,2	3,1	1,7	3,9	4,0	4,0	4,0
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre		0,3	0,3	0,13	1,1	0,5	0,33	2,2	0,7	0,51
			0,3	0,3	0,3	5,3	2,9	6,6	6,8	6,8	6,8

Tab. 5.7: Medienschutzbasierte Einbauwerte AMPA (Durchbruchskriterium ausgesetzt) in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten					
		ungünstig höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m		günstig (GW-Abstand > 1 m)			
				1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton	
				S	L/U/T		
AMPA					AK		AK
Ifd. Nr. und Einbauweisen					AK		AK
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht				90,7		92,9
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht				19,4		19,9
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht				19,4		19,9
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht				19,2		19,6
16	Deckschicht ohne Bindemittel				2,1		2,1
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen				2,1		2,1
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster				3,9		4,0
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen				2,1		2,1
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster				3,9		4,0
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen				2,1		2,1
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster				3,9		4,0
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen				2,1		2,1
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster				3,9		4,0
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden				2,7		2,8
25K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre				11,3		11,6
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden				2,7		2,8
26K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre				11,3		11,6
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden				3,9		4,0
27K	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre				6,7		6,8

Tab. 5.8: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Chlorid (nur HMVA) und Sulfat für relevante MEB in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Die ME sind unabhängig von der Untergrundkonstellation günstig/ungünstig. MWmax: Maximalkonzentration der Statistiken bzw. max. Materialwert.

Einbauweisen nach Anhang 2.2 EBV (MantelV 2011)		ME von Salzen [mg/L] auf 5 mg/L gerundet (unabhängig von GW-Abstand und Bodenkategorie)							
		MEB mit regelungsrelevanten Salzfreisetzen							
lfd. Nr. EBV	Technische Bauwerke (Straßen-Wege-, Erdbau)	HOS	HS	EDS	SKA	SFA	BFA	HMV A	RC
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
16	Deckschicht ohne Bindemittel	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max	>MW max
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	810	>MW max	480	2355	>MW max	595	570 >MW max	1180
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	450	1210	370	675	1600	415	405 795	495
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	430	1035	360	610	1315	405	390 705	465
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	315	390	315	325	385	340	330 315	300
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	430	1035	360	610	1315	405	390 705	465
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	315	390	315	325	385	340	330 315	300
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	280	250	295	250	225	315	310 225	250
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	250	180	285	205	150	295	285 175	220
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	300	330	310	295	310	340	325 280	280
25 K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	1260	1385	1300	1240	1300	1430	1355 1165	1165
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	300	330	310	295	310	340	325 280	280
26 K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	1260	1385	1300	1240	1300	1430	1355 1165	1165
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	240	165	280	195	135	295	285 165	210
27 M	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	410	280	475	330	230	500	485 280	355

Tab. 5.9: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Fluorid in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus des AE 2 EBV (MantelV, 2011). Die ME sind unabhängig von der Untergrundkonstellation günstig/ungünstig und unabhängig von den Materialeigenschaften, da kein materialspezifisches Abklingverhalten nachgewiesen werden konnte. Die ME von Fluorid entsprechen dem GFS_Wert (0,75 mg/L) multipliziert mit Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 und bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} aus Tabelle 3.7.

Einbauweisen nach Anhang 2.2 EBV (MantelV 2011)		ME von Fluorid [mg/L] auf 0,1 mg/L gerundet (unabhängig von GW-Abstand und Bodenkategorie) unabhängig von MEB	
lfd. Nr. EBV	Technische Bauwerke (Straßen-Wege-, Erdbau)		
11a	Schottertragschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	41,5	
11b	Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht	8,7	
12	Bodenverbesserung unter gebundener Deckschicht	8,7	
13	Unterbau bis 1 m ab Planum unter gebundener Deckschicht	8,6	
15	Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen	1,1	
16	Deckschicht ohne Bindemittel	1,1	
17	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	1,1	
18	ToB und Bodenverbesserung sowie Bodenverfestigung unter Pflaster	1,1	
19	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	1,1	
20	Unterbau bis 1 m Dicke ab Planum unter Pflaster	1,1	
21	Verfüllung von Leitungsgräben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	1,1	
22	Verfüllung von Leitungsgräben unter Pflaster	1,1	
23	Verfüllung von Baugruben unter Deckschicht ohne Bindemittel oder unter Plattenbelägen	1,1	
24	Verfüllung von Baugruben unter Pflaster	1,1	
25	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	1,1	
25 K	Hinterfüllung von Bauwerken im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	4,6	
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden	1,1	
26 K	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	4,6	
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden	1,1	
27 M	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden mit Kapillarsperre	1,9	

Tab. 5.10: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Sb, As, Pb, Cd, Cr, ges., Cu in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. Cadmium 0,1 µg/L gerundet)				Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
				ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
Sb		As	Pb	höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Cd		Cr	Cu				S			L/U/T		
lfd. Nr. und Einbauweisen				1			2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm			17	35	79	17	35	311	17	38	856
				6,9	35	69	6,9	466	404	24,2	1014	635
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt			15	30	69	15	30	246	15	33	678
				6,0	30	60	6,0	369	318	21,0	801	501
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H			20	39	90	31	66	628	23	78	1728
				7,8	39	78	10,1	940	815	50,7	2048	1279
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert			20	39	90	129	683	1346	62	1065	3705
				7,8	39	78	21,5	2016	1747	109,2	4391	2746
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Damm			15	30	69	15	30	270	15	33	744
				6,0	30	60	6,0	405	351	21,0	882	552
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt			13	26	59	13	26	209	13	28	576
				5,1	26	51	5,1	314	270	17,9	681	426
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H			17	33	76	26	56	531	20	66	1462
				6,6	33	66	8,6	795	690	42,9	1733	1082
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H modifiziert			17	33	76	109	578	1139	53	901	3135
				6,6	33	66	18,2	1706	1478	92,4	3716	2323
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H			38	77	176	61	130	1232	46	153	3389
				15,3	77	153	19,9	1844	1599	99,5	4016	2509
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H modifiziert			38	77	176	252	1339	2639	122	2088	7268
				15,3	77	153	42,1	3955	3427	214,2	8614	5386
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H			61	122	279	97	207	1956	73	243	5382
				24,3	122	243	31,6	2928	2539	158,0	6379	3985
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm			14	27	62	14	27	243	14	30	670
				5,4	27	54	5,4	365	316	18,9	794	497
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt			12	24	55	12	24	197	12	26	542
				4,8	24	48	4,8	295	254	16,8	641	401
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H			23	47	107	37	79	749	28	93	2060
				9,3	47	93	12,1	1121	972	60,5	2441	1525
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert			50	101	231	332	1759	3467	161	2744	9548
				20,1	101	201	55,3	5196	4502	281,4	11316	7075

Tab. 5.11: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Mo, Ni, V, Zn, $\Sigma 15$ EPA PAK, MKW in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegbaus für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. Σ15 EPA PAK auf 0,1 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton			
Mo	Ni	V									
Zn	Σ15 EPA PAK	MKW									
lfd. Nr. und Einbauweisen			1			2		3			
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		121	69	69	121	69	228	121	635	1804
	Damm		345	0,7	345	407	35,9	486	2881	53,1	500
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		105	60	60	105	60	177	105	501	1428
	Einschnitt		300	0,6	300	339	18,9	387	2280	27,6	393
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		137	78	78	137	90	519	137	1279	3647
			390	0,8	390	718	169,3	1802	5823	172,8	1938
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		137	78	78	148	199	1435	164	2746	7823
	modifiziert		390	0,8	390	1798	363,1	12098	12492	370,5	12355
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		105	60	60	105	60	198	105	552	1569
	Bahnbauweise Standard Damm		300	0,6	300	354	31,2	423	2505	46,2	435
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		89	51	51	89	51	150	89	426	1214
	Bahnbauweise Standard Einschnitt		255	0,5	255	288	16,1	329	1938	23,5	334
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		116	66	66	116	76	439	116	1082	3086
	Bahnbauweise H		330	0,7	330	607	143,2	1525	4927	146,2	1640
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		116	66	66	125	168	1214	139	2323	6620
	Bahnbauweise H modifiziert		330	0,7	330	1521	307,2	10237	10570	313,5	10454
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		268	153	153	268	176	1017	268	2509	7153
	Bahnbauweise H		765	1,5	765	1408	332,0	3534	11421	338,9	3802
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		268	153	153	291	390	2815	321	5386	15346
	Bahnbauweise H modifiziert		765	1,5	765	3527	712,2	23730	24503	726,8	24235
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H		425	243	243	425	279	1616	425	3985	11360
			1215	2,4	1215	2236	527,3	5613	18140	538,2	6039
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm		95	54	54	95	54	178	95	497	1412
			270	0,5	270	319	28,1	381	2255	41,6	392
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt		84	48	48	84	48	142	84	401	1142
			240	0,5	240	271	15,1	310	1824	22,1	314
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H		163	93	93	163	107	618	163	1525	4348
			465	0,9	465	856	201,8	2148	6942	206,0	2311
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise		352	201	201	382	513	3698	422	7075	20160
	H modifiziert		1005	2,0	1005	4633	935,7	31175	32190	954,8	31838

Tab. 5.12: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Phenol, PCB, ges., BTX, Chlorphenole, ges., Chlorbenzole, ges. und Hexachlorbenzol in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegbaus für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 1 µg/L bzw. PCB und HCB auf 0,01 µg/L gerundet)			Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten								
			ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)					
			höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand			1m Lehm/Schluff/Ton		
Phenol	PCB, ges.	BTX				s			L/U/T		
Chlorphenole, ges.			Chlorbenzole, ges			Hexachlorbenzol					
Ifd. Nr. und Einbauweisen			1			2			3		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		28	0,03	69	6900	0,03	79	6900	0,03	85
	Damm		3	3	0,03	177	4	0,07	179	4	0,07
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard		24	0,03	60	6000	0,03	68	6000	0,03	73
	Einschnitt		3	3	0,03	140	3	0,06	144	4	0,06
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		31	0,04	78	7800	0,04	99	7800	0,04	113
			4	4	0,04	357	5	0,31	367	6	0,35
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H		31	0,04	78	7800	0,35	130	7800	0,39	168
	modifiziert		4	4	0,04	766	7	45,24	784	9	56,16
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		24	0,03	60	6000	0,03	69	6000	0,03	74
	Bahnbauweise Standard Damm		3	3	0,03	154	4	0,06	156	4	0,06
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		20	0,03	51	5100	0,03	58	5100	0,03	62
	Bahnbauweise Standard Einschnitt		3	3	0,03	119	3	0,05	122	3	0,05
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		26	0,03	66	6600	0,03	84	6600	0,03	96
	Bahnbauweise H		3	3	0,03	302	4	0,26	310	5	0,30
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der		26	0,03	66	6600	0,30	110	6600	0,33	142
	Bahnbauweise H modifiziert		3	3	0,03	648	6	38,28	663	8	47,52
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		61	0,08	153	15300	0,08	195	15300	0,08	222
	Bahnbauweise H		8	8	0,08	701	10	0,61	719	11	0,69
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der		61	0,08	153	15300	0,69	256	15300	0,77	329
	Bahnbauweise H modifiziert		8	8	0,08	1503	13	88,74	1538	17	110,16
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H		97	0,12	243	24300	0,12	310	24300	0,12	352
			12	12	0,12	1113	16	0,97	1142	18	1,09
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm		22	0,03	54	5400	0,03	62	5400	0,03	67
			3	3	0,03	138	3	0,05	140	3	0,05
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt		19	0,02	48	4800	0,02	54	4800	0,02	58
			2	2	0,02	112	3	0,05	115	3	0,05
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H		37	0,05	93	9300	0,05	119	9300	0,05	135
			5	5	0,05	426	6	0,37	437	7	0,42
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise		80	0,10	201	20100	0,90	336	20100	1,01	432
	H modifiziert		10	10	0,10	1975	17	116,58	2020	23	144,72

Tab. 5.13: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Atrazin, Bromacil, Diuron, Glyphosat, Simazin, und sonstigen Herbiziden (Dimefuron, Flazasulfuron, Flumioxazin, sowie neu zugelassenen Wirkstoffen) in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegbaus für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)				Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten						
				ungünstig			günstig (GW-Abstand > 1 m)			
				höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1 m			1m Sand		1m Lehm/Schluff/Ton	
							S		L/U/T	
Ild. Nr. und Einbauweisen				1			2		3	
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard			0,3	0,3	0,17	1,2	0,6	0,38	2,0
	Damm			0,3	0,3	0,3	3,2	2,5	3,9	7,3
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard			0,3	0,3	0,15	0,9	0,5	0,30	1,5
	Einschnitt			0,3	0,3	0,3	2,1	1,9	2,6	5,8
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H			0,4	0,4	0,20	3,0	1,1	0,70	7,0
				0,4	0,4	0,4	14,4	9,7	14,4	14,7
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H			0,4	0,4	0,20	17,2	2,7	2,34	31,6
	modifiziert			0,4	0,4	0,4	30,9	30,9	30,9	31,6
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,3	0,3	0,15	1,0	0,5	0,33	1,8
	Bahnbauweise Standard Damm			0,3	0,3	0,3	2,8	2,2	3,4	6,3
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,3	0,3	0,13	0,8	0,4	0,26	1,3
	Bahnbauweise Standard Einschnitt			0,3	0,3	0,3	1,8	1,6	2,2	4,9
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,3	0,3	0,17	2,5	0,9	0,59	5,9
	Bahnbauweise H			0,3	0,3	0,3	12,2	8,2	12,2	12,4
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der			0,3	0,3	0,17	14,6	2,3	1,98	26,7
	Bahnbauweise H modifiziert			0,3	0,3	0,3	26,2	26,2	26,2	26,7
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der			0,8	0,8	0,38	5,8	2,1	1,38	13,8
	Bahnbauweise H			0,8	0,8	0,8	28,3	19,0	28,3	28,8
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der			0,8	0,8	0,38	33,8	5,4	4,59	62,0
	Bahnbauweise H modifiziert			0,8	0,8	0,8	60,7	60,7	60,7	62,0
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H			1,2	1,2	0,61	9,2	3,3	2,19	21,9
				1,2	1,2	1,2	45,0	30,1	45,0	45,8
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm			0,3	0,3	0,14	0,9	0,5	0,30	1,6
				0,3	0,3	0,3	2,5	1,9	3,1	5,7
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt			0,2	0,2	0,12	0,7	0,4	0,24	1,2
				0,2	0,2	0,2	1,7	1,5	2,1	4,6
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H			0,5	0,5	0,23	3,5	1,3	0,84	8,4
				0,5	0,5	0,5	17,2	11,5	17,2	17,5
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise			1,0	1,0	0,50	44,4	7,0	6,03	81,4
	H modifiziert			1,0	1,0	1,0	79,7	79,7	79,7	81,4

Tab. 5.14: Medienschutzbasierte Einbauwerte von AMPA (Durchbruchskriterium im Auftrag des BMU ausgesetzt) in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelIV, 2011).

Einbauwerte für die Stoffe (auf 0,1 µg/L, Diuron auf auf 0,01 µg/L gerundet)		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht außerhalb von Wasserschutzgebieten					
		ungünstig		günstig (GW-Abstand > 1 m)			
		höchster zu erwartender GW-Abstand > 0,1 < 1		1m Sand	m Lehm/Schluff/To		
AMPA				S	L/U/T		
lfd. Nr. und Einbauweisen				AK		AK	
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm			7,2		7,3	
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt			5,6		5,8	
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H			14,4		14,7	
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert			30,9		31,6	
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Damm			6,2		6,3	
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt			4,8		4,9	
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H			12,2		12,4	
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG1) der Bahnbauweise H modifiziert			26,2		26,7	
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H			28,3		28,8	
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG2) der Bahnbauweise H modifiziert			60,7		62,0	
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H			45,0		45,8	
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm			5,6		5,7	
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt			4,5		4,6	
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H			17,2		17,5	
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert			79,7		81,4	

Tab. 5.15: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Sulfat für die relevanten MEB (HOS und RC) in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau für die Bewertung der Zulässigkeit von mineralischen Ersatzbaustoffen in AE 2 EBV (MantelV, 2011). Die ME sind unabhängig von der Untergrundkonstellation günstig/ungünstig. MWmax: Maximalkonzentration der Statistiken bzw. max. Materialwert.

Einbauweisen nach Artikel 2 (EBV), Anhang 2.3, Entwurf MantelV (2011) spezifische Bahnbauweisen		ungünstig		günstig	
				Sand	Lehm/Schluff /Ton
		HOS	RC		
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	n. rel.	n. rel.	Werte unterscheiden sich nicht vom ungünstigen Fall, da bei Salzen keine Rückhaltung angerechnet werden kann	
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	n. rel.	n. rel.		
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	n. rel.	n. rel.		
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	n. rel.		
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	2980	>MWmax		
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	2530	>MWmax		
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	n. rel.	>MWmax		
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	>MWmax		
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	n. rel.	>MWmax		
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	>MWmax		
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	n. rel.	n. rel.		
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	n. rel.	460		
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	n. rel.	475		
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	n. rel.	790		
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	n. rel.	1645		

Tab. 5.16: Medienschutzbasierte Einbauwerte von Fluorid in den unmittelbar nach Fachkonzept bewerteten Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau für AE 2 EBV (MantelV, 2011). Die ME sind unabhängig von der Untergrundkonstellation günstig/ungünstig und unabhängig von den Materialeigenschaften, da kein materialspezifisches Abklingverhalten nachgewiesen werden konnte. Die ME von Fluorid entsprechen dem GFS-Wert (0,75 mg/L) multipliziert mit Verhältnismäßigkeitsfaktor 1,5 und bauwerksspezifischen Faktoren F_{QT} aus Tabelle 3.17.

ME von Fluorid auf 0,1 mg/L gerundet				
Einbauweisen nach Artikel 2 (EBV), Anhang 2.3, Entwurf MantelV (2011) spezifische Bahnbauweisen		ungünstig		günstig Sand Lehm/Schluff /Ton
B1	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Damm	2,6		Werte unterscheiden sich nicht vom ungünstigen Fall, da bei Salzen keine Rückhaltung angerechnet werden kann
B2	Schotteroberbau der Bahnbauweise Standard Einschnitt	2,3		
B3	Schotteroberbau der Bahnbauweise H	2,9		
B4	Schotteroberbau der Bahnbauweise H modifiziert	2,9		
B5	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Damm	2,3		
B6	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	1,9		
B7	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H	2,5		
B8	Planumsschutzschicht (PSS, KG 1) der Bahnbauweise H modifiziert	2,5		
B9	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H	5,7		
B10	Frostschutzschicht (FSS, KG 2) der Bahnbauweise H modifiziert	5,7		
B11	Spezielle Bodenschicht der Bahnbauweise H	9,1		
B12	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Damm	2,0		
B13	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise Standard Einschnitt	1,8		
B14	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H	3,5		
B15	Unterbau (Damm) der Bahnbauweise H modifiziert	7,5		

6 Ableitung von Materialwerten im Eluat für mineralische Ersatzbaustoffe

6.1 Erläuterungen zu den Datengrundlagen und Auswertungen im Anhang

Anhang 6 zu Kapitel 6 zeigt umfangreiche Auswertungen von Datensätzen zur Ableitung von Materialwerten. Für den AE 2 EBV haben dankenswerterweise viele Verbände, das FEhS - Institut für Baustoff-Forschung (FEhS-Institut) und die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) für die Mehrzahl der MEB neue Datengrundlagen in *WF 2*-Säulenkurzeluaten und ausführlichen Säulentests nach DIN 19528 und zum Teil parallel in *WF 2*-Schütteleluaten nach DIN 19529 erhoben und dem BMU/Projektnehmer zur Verfügung gestellt. Sofern für einen MEB Vergleichsuntersuchungen mit verschiedenen Untersuchungsmethoden (Säulenkurzeluate bis *WF 2* nach DIN 19528 und Schütteluate bei *WF 2* nach DIN 19529) vorliegen, wurden diese im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens für eine Bewertung der Vergleichbarkeit von Säulenkurzeluaten bis *WF 2* und Schüttel-eluaten bei *WF 2* herangezogen (vgl. Kapitel 8).

Insbesondere für die Branchengespräche und die so genannten Branchenpapiere wurden industrie-eigene Daten ausgewertet, die speziell für diesen Zweck zur Verfügung gestellt wurden. 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 nach Materialtypen, wie z.B. harz- und toungebundener Gießereirestsand oder LD- und EO-Schlacken oder nach Ländern z.B. RC aus Fremdüberwachungen in den Ländern Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg etc. unterschieden.

An dieser Stelle wird nochmals betont, dass die aus Sicht des Bodenschutzes oder der Abfallwirtschaft ggf. bestehende Notwendigkeit zusätzlicher Untersuchungen im Feststoff von z.B. Bodenmaterialien und die Ableitung entsprechender Materialwerte sowie die Festlegung eines TOC-Grenzwertes wie im Projekt von Susset & Leuchs (2008a) nicht Gegenstand dieses Ergänzungsvorhabens sind. Aufgabe war die Begrenzung der Boden- und Grundwassergefahrenpotenziale durch die mit dem Sickerwasser aus den mineralischen Ersatzbaustoffen freigesetzten Stoffe. Wie in Kapitel 4.1.3.1 Teil I dieses Berichts erläutert, ist hierfür die Begrenzung von Feststoffgehalten nicht Stand der Technik, da Grenzwerte für Feststoffgehalte nicht dazu geeignet sind, Grundwasser- und Bodengefahrenpotenziale zu begrenzen. Deshalb muss eine Grundwasser- und Bodengefahrenbeurteilung auf Eluatuntersuchungen im Wasser und nicht auf Feststoffgehalten basieren (siehe exemplarische Vergleichsuntersuchungen von PAK in Böden und Schwermetallen in verschiedenen Materialien in Kapitel 4.1.3.1 sowie internationaler Wissensstand und Stand der Normungsarbeiten).

Die Systematik der Ableitung von Materialwerten in *WF 2*- Säulenkurzeluaten ist in Kapitel 4.1.6 Teil I dieser Bericht und die Änderungen gegenüber AE 1 EBV in Kapitel 5.2.2 Teil I dieser Bericht detailliert beschrieben (vgl. auch Ablaufschema in Kapitel 1, Abb.1.2 in Teil I dieser Bericht). Neben der Festlegung von Materialwerten für die Hauptklassen (z.B. GS-0 bis GS-3) können mit Fußnotenregelungen Zulässigkeiten von Materialklassen in weiteren speziellen Einbauschichten geregelt werden. Eine Fußnotenregelung bietet sich nur dann an, wenn die Materialwerte der Hauptklasse nur knapp oberhalb der medienschutzbasierten Einbauwerte der betreffenden Bauweisen liegen. In die Fußnotenregelung müssen nur Stoffe zusätzlich aufgenommen und deren Materialwerte auf die ME begrenzt werden, wenn die Materialwerte der Hauptklasse diese ME überschreiten.

Durch Rückrechnung der den Materialwerten verschiedener Qualitäten von mineralischen Ersatzbaustoffen (Materialqualität, siehe Definition in Kapitel 1 Tab. 1 Teil I dieser Bericht) entsprechenden Perzentilwerten aus den verfügbaren Datengrundlagen können die limitierenden Stoffparameter und deren Konzentrationsschwankungen innerhalb verschiedener Datensätze bestimmt werden. Damit wird die Fragestellung untersucht, wie viel Prozent der Proben der verfügbaren Datengrundlage den Materialwert bezüglich eines bestimmten Parameters einhalten können. Dabei muss beachtet werden, dass die Datengrundlagen für die einzelnen Herkünfte und Arten von mineralischen Ersatzbaustoffen auf unterschiedlichen Anzahlen von Einzelproben basieren und damit unterschiedlich repräsentativ für die in der Praxis zu erwartenden Materialqualitäten sind. Weiter ist zu beachten, dass bei manchen Industrie-Datensätzen nicht immer alle bewertungsrelevanten Konzentrationen bestimmt wurden. Die Repräsentativität der verfügbaren Datengrundlagen für die in der Praxis zukünftig zu erwartenden Qualitäten kann deshalb hier nicht abschließend beurteilt werden.

Die in der Güteüberwachungspraxis für einen bestimmten Datensatz erreichbaren Verwertungsquoten in den verschiedenen Materialklassen (siehe Definition in Kapitel 1 Tab. 1 Teil I dieser Bericht) können nicht alleine aus den im Folgenden gezeigten einhaltbaren Perzentilen der Einzelparameter abgeleitet werden, sondern werden zusätzlich durch die Stoffkombinationen limitiert, da jeder MEB alle Materialwerte einer Materialklasse einhalten muss, um dieser und den damit verbundenen Einsatzmöglichkeiten zugeordnet werden zu können. Die Ergebnisse dieser Auswertungen von Verwertungsquoten zeigt Kapitel 9.

Die im Folgenden identifizierten regelungsrelevanten Parameter wurden in den AE 2 EBV in Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011) als Prüfparameter für die regelmäßige Güteüberwachung aufgenommen und unterliegen einer Dokumentationspflicht (vgl. Materialwerte im *WF* 2-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 in Anhang 1 zu § 4 Absatz 1 des AE 2 EBV (BMU, 2011)).

Nachvollziehbarkeit der Materialwerteableitungen:

In Anhang 6 wird für jeden einzelnen Materialwert eines MEB der Ableitungsweg beschrieben. Dieser kann im Detail nachvollzogen werden, indem die Tabellen mit den ME-Werten aus Kapitel 5.2, die Materialwertetabellen aus Anhang 1 und die Einbautabellen aus den Anhängen 2.2 und 2.3 des AE 2 EBV in Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011) miteinander verglichen werden.

I.d.R. wurden die Materialwerte an die limitierenden medienschutzbasierten Einbauwerte orientiert. Wenn die Statistiken zeigen, dass deutlich niedrigere Werte eingehalten werden können als die ME, wurden auch niedrigere Materialwerte festgelegt, obwohl nach medienschutzbasierten Fachkonzept höhere Werte zulässig wären. In ungünstigen Materialklassen, für die ausschließlich geschlossene Bauweisen zulässig sind, gibt es theoretisch keine medienschutzbasierte Begrenzung im Eluat. In diesen Fällen wurden die Maximalwerte der Statistiken festgelegt.

Hinweis der Autoren: Ein Vergleich der Materialwerte aus AE 1 EBV für eine bestimmte Materialklasse eines mineralischen Ersatzbaustoffes (z. B. HMVA-1) mit den hier neu abgeleiteten Materialwerten für AE 2 EBV zur Einschätzung der Änderungen zwischen AE 1 und AE 2 EBV macht keinen Sinn, da die Materialwerte für AE 2 EBV an neue Einbaukonstellationen (z.B. Streichung von Einbauweisen mit hohen in der Praxis nicht erreichbaren Anforderungen und folglich Erhöhung der Materialwerte), neue Modellierungsergebnisse (geänderte ME) und verbesserte Datengrundlagen (geänderte und repräsentativere statistische Grundlagen) angepasst wurden. Die Änderungen müssen deshalb sehr differenziert betrachtet werden und können nicht durch eine Faktorenbildung zwischen Materialwerten der beiden Arbeitsentwürfe der EBV beurteilt werden.

6.2 Abschließende Materialwertetabelle

Tabelle 6.1-4 zeigen die im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens für die Untersuchung von mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterial abgeleiteten Materialwerte in *WF 2* - Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009).

Tab. 6.1: Einzuhaltende Materialwerte in *WF 2* - Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) für die Regeluntersuchung von mineralischen Ersatzbaustoffen

Ersatzbaustoff		HOS-1	HOS-2	HS	SWS-1	SWS-2	SWS-3	EDS-1	EDS-2	EDS-3	CUM-1	CUM-2	CUM-3
Parameter	Dim.												
pH-Wert ①		9-12	9-12	9-12	9-13	9-13	9-13	11-13	11-13	11-13	6-10	6-10	6-10
el. Leitfähigk. ②	µS/cm	5.000	7.000	4.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	250	250	250
Chlorid	mg/L												
Sulfat	mg/L	1.250③	3.750③	250				280	850	1.000			
Fluorid	mg/L				1,1	2	4	1,1	5	9			
DOC	mg/L												
Σ15 EPA PAK	µg/L												
Antimon	µg/L										10	15	55
Arsen	µg/L										15	30	115
Blei	µg/L												
Cadmium	µg/L												
Chrom, ges.	µg/L				115	175	250	115	115	250			
Kupfer	µg/L										55	75	230
Molybdän	µg/L				55	220	1.000	55	220	2.000	55	90	400
Nickel	µg/L												
Vanadium	µg/L			65	130	355	1.000						
Zink	µg/L												

Fortsetzung Tabelle 6.1:

Ersatzbaustoff		GKOS	GRS-1	GRS-2	SKG	SKA	SFA	BFA	HMVA-1	HMVA-2	RC-1	RC-2	RC-3
Parameter	Dimension												
pH-Wert ①		7-12	>9	>6	6-10	7-12	8-13	11-13	7-13	7-13	6-13	6-13	6-13
el. Leitfähigk. ②	µS/cm	1.500	2.700	4.200	10-60	2.100	10.000	15.000	10.000	10.000	2.500	3.200	10.000
Chlorid	mg/L								3.000	3.000			
Sulfat	mg/L					600	4.500	2.500	2.000	2.000	220	300	3.500
Fluorid	mg/L		9	80									
DOC	mg/L		30	200									
Σ15 EPA PAK	µg/L										6	12	20
Antimon	µg/L								55	150			
Arsen	µg/L		65	100									
Blei	µg/L	90	90	600									
Cadmium	µg/L												
Chrom, ges.	µg/L	135	115	120			1.000	150	460	600	135	555	1.000
Kupfer	µg/L		110	150					850	2.000	110	185	300
Molybdän	µg/L		55	350		350	7.000	400	400	1.000			
Nickel	µg/L	30	30	230									
Vanadium	µg/L	65	230	250		230	300		150	200	130	990	1.500
Zink	µg/L		155	650									

Erläuterungen zu Anhang 1.1 in AE2 EBV :

① nur bei GRS Grenzwert, ansonsten stoffspezifischer Orientierungswert, bei Abweichung vom stofftypischen Orientierungswert ist die Ursache zu prüfen.

② stoffspezifischer Orientierungswert, bei Abweichungen ist die Ursache zu prüfen

③ Summe aus Sulfat- und Thiosulfatschwefel; bestimmt als Gesamtschwefel, umgerechnet in Sulfat.

Tab. 6.2: Materialwerte in *WF 2* - Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) für die Regeluntersuchung von Bodenmaterial

Parameter	Dim.	BM-0	BM-1	BM-2	BM-3
pH-Wert		6,5–9,5	6,5–9,5	6,5–9,5	5,5-12,0
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	350	350	350	2.000
Blei	µg/L	35	90	250	470
Chrom, gesamt	µg/L	15	135	300	450
Kupfer	µg/L	30	110	185	350
Nickel	µg/L	30	30	185	350
Zink	µg/L	150	155	850	1.580
Σ15 EPA PAK	µg/L	0,3	4,5	7,0	20

6.3: Materialwerte in *WF 2* - Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) für die Untersuchung spezifischer Belastungsparameter von Bodenmaterial

Parameter	Dimension	BM-0	BM-1	BM-2	BM-3
Anorganische Stoffe					
Antimon	µg/L	10	10	10	15
Arsen	µg/L	15	15	15	30
Cadmium	µg/L	3,0	3,0	7,5	15
Molybdän	µg/L	55	55	55	110
Vanadium	µg/L	30	65	530	990
Organische Stoffe					
BTEX	µg/L	30	33	35	70
MKW	µg/L	150	160	165	330
Phenole	µg/L	12	2000	2000	2000
PCB, gesamt	µg/L	0,02	0,02	0,02	0,04
Chlorphenole, ges.	µg/L	2	50	55	100
Chlorbenzole, ges.	µg/L	2	2	2	4
Hexachlorbenzol	µg/L	0,02	0,02	0,02	0,04

6.4: Materialwerte in *WF 2* - Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) für die Untersuchung von Gleisschotter

Parameter	Dimension	GS-0	GS-1	GS-2	GS-3
pH		6,5 – 10	6,5 – 10	6,5 – 10	5 – 12
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	500	500	500	1000
Atrazin	µg/L	0,15	0,7	3,1	14,5
Bromacil	µg/L	0,15	0,4	1,3	5,3
Diuron	µg/L	0,08	0,24	1,0	4,85
Glyphosat	µg/L	0,15	1,7	6,2	26,7
AMPA	µg/L	2,5	4,5	17,2	50,0
Simazin	µg/L	0,15	1,5	6,0	26,7
sonst. Herbizide¹	µg/L	0,15	2,1	7,5	26,7
MKW	µg/L	150	160	310	500
PAK₁₅	µg/L	0,3	2,5	42,7	50

7 Ableitung der zulässigen Einbauweisen (Einbautabellen) für AE 2 EBV (Anhänge 2.2 und 2.3 des Artikel 2 der MantelV (BMU, 2011))

7.1 Änderungen bei den Einbautabellen gegenüber Susset & Leuchs (2008a) bzw. AE 1 EBV

Die Einbautabellen zum Straßen-, Wege- und Erdbau wurden durch eine laufende Nummerierung (1-27), die zusätzliche Zeile Nr.: 10 für die geschlossene Bauweise „Bettung unter Pflaster oder Platten jeweils mit wasserundurchlässiger Fugenabdichtung“ und die zusätzliche Zeile 11b „Frostschuttschicht (ToB) unter gebundener Deckschicht“ ergänzt (vgl. Anhang 2.2 des Artikel 2 der MantelV, BMU, 2011). Die Zeilen mit den Bauweisen A-F nach FGSV (2007) in AE 1 EBV wurden in der Zeile 14 (Bauweisen nach MTSE) zusammengefasst.

Die Zeilen 11a und 11b stellen eine Unterteilung der bisher in AE1 EBV geregelten „Tragschicht ohne Bindemittel (ToB) unter gebundener Deckschicht“ in die Schottertragschicht (11a) und die Frostschuttschicht (11b) dar. Diese Tragschichten wurden im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens separat nach dem medienschutzbasierten Konzept neu bewertet (vgl. Kapitel 3 und 4). Die Schottertragschicht ist aufgrund der hohen ME (starke Verdünnung, siehe Kapitel 3 und 5) für alle MEB im günstigen Fall zulässig und mit wenigen Ausnahmen auch für den ungünstigen Fall.

Die Bezeichnungen der Bauweisen wurden in Anlehnung an RuA-StB (E 2004) und in Abstimmung mit der UVAG der BaSt redaktionell (geringfügig) überarbeitet.

Im Rahmen der Branchenspapiere wurden durch den Projektnehmer Vorschläge für eine Aggregation der Einbautabellen mittels Zusammenfassung von Einbauweisen erarbeitet. Bei der Zusammenfassung von Bauweisen mit unterschiedlichen (positiven) Bewertungen müsste jeweils die negativere Bewertung übernommen werden um den Medienschutz für alle zusammengefassten Bauweisen nach Fachkonzept zu gewährleisten. Damit gehen positive Bewertungen allerdings verloren. Nach Abfragen des BMU (Branchengespräche) bei Vertretern der Mehrzahl der in der ErsatzbaustoffV geregelten mineralischen Ersatzbaustoffe (MEB) wurde kein Vorteil in einer Aggregation der Zeilen in den Einbautabellen gesehen. Es wurde vorgeschlagen, die separate Bewertung der Einbauweisen in Anlehnung an RuA-StB (E 2004) wie bisher beizubehalten, da dies eindeutiger und kundenfreundlicher sei. Auch wurde kein Bedarf für eine Änderung der Reihenfolge der Zeilen gesehen, da angesichts des langen Ordnungsverfahrens mit Vorentwürfen ein gewisser Gewöhnungseffekt festgestellt wurde.

Für die Regelung der Zulässigkeiten von MEB in Bahnbauweisen der DB wurden in Anhang 2.3 des Artikel 2 AE 2 EBV (BMU, 2011) separate Einbautabellen für den Schienenverkehrswegebau eingeführt und im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens medienschutzbasiert bewertet.

7.2 Bewertung der Zulässigkeiten von MEB in den Einbautabellen

7.2.1 Wasserdurchlässige Bauweisen außerhalb von Wasserschutzgebieten

Wie bei Susset & Leuchs (2008a) wurden die in den Einbautabellen (vgl. Tabelle 7.1 und 7.2) hellblau markierten wasserdurchlässigen Bauweisen für die drei Fälle „ungünstig“, „günstig Sand“ und „günstig Schluff/Lehm/Ton“ unmittelbar nach dem hier vorgestellten Fachkonzept bewertet, indem die in Kapitel 6 abgeleiteten Materialwerte verschiedener MEB mit den in Kapitel 5 gelisteten medienschutzbasierten Einbauwerten verglichen werden. Werden alle medienschutzbasierten Einbauwerte durch alle Materialwerte des MEB bzw. einer Materialklasse eines MEB eingehalten ist der Einbau zulässig und es resultiert ein „+“ Zeichen. Das Gleiche wird für die Fußnotenregelungen geprüft. Ist der Einbau nach Fußnotenregelung zulässig resultiert ein „+“ mit Einschränkung durch die hochgestellte Fußnote.

Eine Ausnahme bilden, wie in Kapitel 4.1.3.6 (Teil I dieser Bericht) erläutert, die dünn-schichtige Bauweisen Nr. 15 „Bettungssand unter Pflaster oder unter Plattenbelägen“ mit typischen Mächtigkeiten von 3 cm und Nr. 16 „Deckschicht ohne Bindemittel“ mit typischen Mächtigkei-

ten von 6 cm. Susset & Leuchs (2008a) haben diese dünnsschichtigen Bauweisen aufgrund des geringeren Schadstoffvorrates relativ zur Zuordnung der Materialien zu den wasserdurchlässigen Bauweisen und abgestuft in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials. (vgl. Kapitel 3.6, 7. Absatz in Susset & Leuchs, 2008a) bewertet. Diese Bewertungen wurden in den AE 2 EBV übernommen.

7.2.2 Wasserdurchlässige Bauweisen innerhalb von Wasserschutzgebieten

Die Bauweisen innerhalb von Wasserschutzgebieten sind nur im günstigen Fall (mindestens Sand) zulässig und wurden in Relation zu den fachlichen Bewertungen in den Spalten 1-3 entsprechend folgender Abstufung nach Susset & Leuchs (2008a) bzw. nach AE1 EBV (BMU, 2007) bewertet. Einschränkungen in Fußnotenregelungen oder bestimmte Anforderungen, wie z.B. die Ausbildung von Kapillarsperren („K“, „M“), müssen selbstverständlich entsprechend der folgenden Abstufungen auch in den Wasserschutzgebieten festgelegt werden:

alle Bauweisen:

wenn der ungünstige Fall (Spalte 1) unmittelbar nach Fachkonzept positiv beurteilt wird, sind alle Bauweisen innerhalb von Wasserschutzgebieten zulässig (in WSG und gilt immer die Mindestanforderung günstig „Sand“)

alle Bauweisen außer Verfüllung von Leitungsgräben (lfd. Nr.: 21 und 22):

wenn der ungünstige Fall (Spalte 1) nach Fachkonzept negativ beurteilt wird, sind Bauweisen in WSG III A bzw. HSG III zulässig mit der Einschränkung BU (B: zugelassen im Abstand von mindestens 1 Kilometer von der Fassungsanlage und U: zugelassen ausschließlich für den günstigen Fall bei Unterlagerung mit Lehm/Schluff/Ton) und WSG III B bzw. HSG IV mit der Einschränkung U. Wasservorranggebiete sind zugelassen ohne weitere Einschränkung (es gilt die Mindestanforderung günstig „Sand“).

wenn der günstige Fall „Sand“ (Spalte 2) nach Fachkonzept negativ beurteilt wird, sind Bauweisen in WSG III A bzw. HSG III und WSG III B bzw. HSG IV nicht zugelassen. Wasservorranggebiete sind zugelassen mit der zusätzlichen Einschränkung günstig „Lehm/Schluff/Ton“.

Verfüllung von Leitungsgräben (lfd. Nr.: 21 und 22):

wenn der ungünstige Fall (Spalte 1) nach Fachkonzept negativ beurteilt wird, sind Bauweisen in WSG III A bzw. HSG III nicht zulässig und WSG III B bzw. HSG IV mit der Einschränkung U zulässig. Wasservorranggebiete sind zugelassen ohne weitere Einschränkung (es gilt die Mindestanforderung günstig „Sand“)

wenn der günstige Fall „Sand“ (Spalte 2) nach Fachkonzept negativ beurteilt wird, sind Bauweisen in WSG III A bzw. HSG III und WSG III B bzw. HSG IV nicht zugelassen. Wasservorranggebiete sind zugelassen mit der Einschränkung (günstig „Lehm/Schluff/Ton“).

Ausnahmen:

Bei Gießereirestsand-1 wurde WSG III A bzw. HSG III aufgrund der Säure- und Schwermetallpotentiale in keinem Fall zugelassen.

7.2.3 Geschlossene Bauweisen

Die Bewertung der geschlossenen Bauweisen (vgl. dunkelgrau markierte Felder in Tabellen 7.1 und 7.2) war nicht Gegenstand dieses Ergänzungsvorhabens. Wie in Susset & Leuchs (2008a) erläutert, können diese nicht medianschutzbasiert beurteilt werden. Die Bewertung nach Susset & Leuchs (2008a) für AE 1 EBV basiert auf einer relativen Zuordnung der MEB zu den geschlossenen Bauweisen im Vergleich zu den nach Fachkonzept bewerteten wasserdurchlässigen Bauweisen und abgestuft in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials.

Für den AE2 EBV wurden die nicht oder gering wasserdurchlässigen Bauweisen (1-10 und 14) analog zu den Beurteilungen nach LAGA Eckpunktepapier (2004) und nach RuA-StB (E 2004) bewertet. Entsprechende Gegenüberstellungen und Analogieschlüssen wurden für die Branchenzustandspapiere zu jedem einzelnen MEB vorgestellt (können beim BMU angefragt wer-

den). Durch die Übernahme der Bewertungen nach LAGA Eckpunktepapier (2004) und/oder RuA-StB (E 2004) in den AE 2 EBV (BMU, 2011) haben sich geringfügige Abweichungen zu den Bewertungen in AE 1 EBV nach Susset & Leuchs (2008a) ergeben (vgl. Branchenpapiere des BMU).

Abb. 7.1: Bewertung der Zulässigkeiten von MEB in Einbauweisen des Straßen-, Wege- und Erdbaus. Hellblau markierte Felder: Medienschutzbasierte Beurteilung durch Vergleich der ME aus Tabellen 5.3 bis 5.9 (Kapitel 5, Teil II) mit den Materialwerten in Tabellen 6.1 – 6.4 in Kapitel 6 Teil II); Dunkelblau: Abgestufte Beurteilung nach Susset & Leuchs (2008a), Erläuterung in Kapitel 7.2.2; Dunkelgrau: Bewertungen durch BMU in Analogie zu den Bewertungen geschlossener Bauweisen im LAGA Eckpunktepapier (2004) und RuA-StB (E2004).

Mineralischer Ersatzbaustoff:							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von Wasserschutzgebieten			innerhalb von Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	Sand	günstig Lehm/Schluff/ Ton	WSG III A HSG III	günstig WSG III B HSG IV	Wasser- vorranggeb.
		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 u. geb. Deckschicht						
7	Verfüllung von Baugruben u. geb. Deckschicht						
8	Asphalttragschicht (teilwasserdurchlässig) unter Pflasterdecken und Plattenbelägen						
9	Tragschicht hydraulisch gebunden (Dränbeton) u. 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 u. Deckschicht ohne Bindemittel o. u. Plattenbel.						
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						
26	Dämme im Böschungsbereich unter kulturfähigem Boden						
27	Schutzwälle unter kulturfähigem Boden						

Abb. 7.2: Bewertung der Zulässigkeiten von MEB in Einbauweisen des Schienenverkehrswegebau. Hellblau markierte Felder: Medienschutzbasierte Beurteilung durch Vergleich der ME aus Tabellen 5.10 bis 5.16 (Kapitel 5 Teil II) mit den Materialwerten in Tabellen 6.1 – 6.4 in Kapitel 6 Teil II); Dunkelblau: Abgestufte Beurteilung nach Susset & Leuchs (2008a), Erläuterung in Kapitel 7.2.2.

Mineralischer Ersatzbaustoff:							
Einbauweise		Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht					
		außerhalb von			innerhalb von		
		Wasserschutzgebieten			Wasserschutzgebieten		
		un- günstig	günstig		günstig		
			Sand	Lehm/Schluff /Ton	WSG III A HSG III	WSG III B HSG IV	Wasser- vor- rang.
		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						
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						

7.3 Abschließende Einbautabellen

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

Anhang X zeigt Einbautabellen mit rot markierten (geringfügigen) Änderungen gegenüber der MantelIV vom 06.12.2011 (nur geänderte Einbautabellen, restliche Einbautabellen siehe MantelIV). Diese müssen im Laufe des Verordnungsverfahrens in der MantelIV berücksichtigt werden.

8 Vergleichsuntersuchungen Säulenversuch versus Schüttelversuch

8.1 Geplante Güteüberwachung mit Säulenversuchen

Durch den „Beraterkreis – Güteüberwachung“ des BMU mit Vertretern aus Verwaltung, Wissenschaft, Industrie und Praxis wurde eine Güteüberwachungsverfahren für AE 2 EBV (BMU, 2011) entwickelt (vgl. Kapitel 5.5 Teil I dieser Bericht und Kapitel 1.1.2.1 Teil II dieser Bericht).

Der Säulenversuch nach DIN 19528 (2009) wird im AE2 EBV (BMU, 2011) als Referenzverfahren für die Güteüberwachung (Überprüfung der Materialwerte in *WF 2*-Eluaten) von mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) eingeführt

Eignungsnachweis/Erstzulassung (EN)

Nach Tabelle 8.1 (aus AE 2 EBV, Anhang 3, Tabelle 1 zu Art und Turnus der Untersuchungen) wird im Rahmen des Eignungsnachweises einmalig ein ausführlicher Säulenversuch nach DIN 19528 (2009) mit der jeweiligen Lieferkörnung durchgeführt und auf einen erweiterten Parameterkatalog in Tabelle 2 Anhang 5 des AE 2 EBV untersucht. Die Messergebnisse des erweiterten Parameterkatalogs müssen dokumentiert werden. Aus den Ergebnissen des ausführlichen Säulenversuchs wird nach der in DIN 19528 (2009) beschriebenen Vorgehensweise für die regelungsrelevanten Materialwerte (reduzierter Parameterkatalog) die *WF 2*-Konzentration im Säulenkurztest berechnet (Summe der bei verschiedenen Fraktionen bis *WF 2* aus den Messergebnissen bestimmten Stoffmassen geteilt durch die Gesamteluatmenge bis *WF 2*). Diese Untersuchung ersetzt die erste Fremdüberwachung und dient zur Einordnung des mineralischen Ersatzbaustoffes in eine Materialklasse indem die berechnete Konzentration bei *WF 2* mit den jeweiligen Materialwerten nach Anhang 1 des AE 2 EBV verglichen wird. Auf diese Weise erfolgt die Erstzulassung einer Lieferkörnung eines MEB.

Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle sind nach AE 2 EBV (BMU, 2011) für jede Lieferkörnung eines MEB alle 4 (HMVA, RC, BM) oder alle 8 Produktionswochen (restliche in der EBV geregelte MEB) und mindestens alle angefangene 5.000 Tonnen (HMVA, RC, BM) bzw. 10.0000 Tonnen (restliche in der EBV geregelte MEB) die Materialwerte in *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) zu überprüfen (für Mitglieder einer Güteüberwachungsgemeinschaft gelten die genannten reduzierten Prüfzeiträume bzw. Tonnagengrenzen).

Fremdüberwachung (FÜ)

Im Rahmen der regelmäßigen Fremdüberwachung werden für jede Lieferkörnung alle 13 (HMVA, RC, BM) bzw. alle 26 Wochen (restliche in der EBV geregelte MEB) und mindestens alle angefangenen 15.000 (HMVA, RC, BM) bzw. 30.000 Tonnen (restliche in der EBV geregelte MEB) die Materialwerte in *WF 2*-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 (2009) überprüft.

Erweiterte Fremdüberwachung (eFÜ):

Alle 2 Jahre erfolgt eine erweiterte Fremdüberwachung anhand eines ausführlichen Säulenversuchs nach DIN 19528 (2009). Hier wird wiederum der erweiterte Parameterkatalog in Tabelle 2 Anhang 5 des AE 2 EBV (BMU, 2011) untersucht und dokumentiert. Aus dem Ergebnis des ausführlichen Säulenversuchs werden wiederum für die regelungsrelevanten Parameter die Konzentrationen im *WF 2*-Säulenkurztest berechnet und mit den Materialwerten verglichen. Diese Untersuchung ersetzt wiederum eine regelmäßige Fremdüberwachung.

Da der ausführliche Säulenversuch für den Eignungsnachweis und die erweiterte Fremdüberwachung jeweils eine Fremdüberwachung ersetzt (indem nach DIN 19528 die Referenzkonzentration bei *WF 2* für den Materialwertvergleich berechnet wird), ist kein erheblicher zusätzlicher Aufwand durch den ausführlichen Säulenversuch bzw. die erweiterte Fremdüberwachung zu erwarten. Diese Aussage bezieht sich auf den Aufwand durch die Implementierung des ausführlichen Säulenversuchs nach DIN 19528 in das Güteüberwachungsverfahren nach AE 2 EBV nicht aber auf möglicherweise zusätzlichen Aufwand durch den in

der EBV festgelegten Turnus der Untersuchungen und der Anzahl der zu untersuchenden Lieferkörnungen. Letzterer steht nicht im Zusammenhang mit der Prüfmethode.

Ziel des ausführlichen Säulenversuchs mit erweitertem Parameterkatalog (vgl. Tabelle 2 Anhang 5 des AE 2 EBV) ist die Überprüfung der Grundkonzeption der EBV, nach der aufgrund der Ergebnisse von ausführlichen Säulenversuchen die Freisetzungsdynamik von Salzen bewertet und in den Ableitungen von ME berücksichtigt wurde. Weiterhin wurde durch die grundlegende Charakterisierung einer Vielzahl von Proben der MEB mit Säulenversuchen (vgl. Kapitel 6) gegenüber der früheren Güteüberwachungspraxis (i.d.R. nach LAGA M 20, 1997) für viele MEB eine deutliche Reduktion des regelmäßig zu prüfenden Parameterkatalog erreicht (Streichung einiger Parameter gegenüber LAGA M20, Ländererlassen und gegenüber AE 1 EBV). Die Parameterkataloge sollen anhand der Güteüberwachungssystematik regelmäßig überprüft werden. Durch eine rechtsverbindliche Güteüberwachung mit geeigneten, aussagekräftigen Methoden können mittelfristig MEB noch besser charakterisiert und stoffliche Veränderungen von Materialströmen erkannt werden (siehe auch Methodenentwicklungen von Säulenversuchen in den relevanten CEN – Gremien, EU-Datenbank www.leachXS.org, van der Sloot 2008a und weiterführende Literatur in Grathwohl & Susset, 2011 zur Basischarakterisierung von mineralischen Stoffströmen). Bei erfolgreicher Schematisierung können mittelfristig Prüfparameterkataloge in der Güteüberwachung noch weiter reduziert werden.

Tab. 8.1: Art und Turnus der Untersuchungen im Rahmen der Güteüberwachung nach AE 2 EBV MantelV (BMU, 2011 Tabelle 1 aus Anhang 3 „Eignungsnachweis und Güteüberwachung“)

Teilschritt	Untersuchungsverfahren (DIN 19528)	Turnus	
Eignungsnachweis ^{1,2}	ausführlicher Säulenversuch	einmalig (ersetzt eine Fremdüberwachung)	
werkseigene Produktionskontrolle (WPK) ³	Säulenkurztest	alle 4 Produktionswochen, mindestens alle angefangenen 5.000 Tonnen	alle 8 Produktionswochen, mindestens alle angefangenen 10.000 Tonnen für: CUM, GKOS, GRS, HOS, HS, SFA, BFA, SWS, SKG, SKA
Fremdüberwachung (FÜ)	Säulenkurztest	alle 13 Produktionswochen, mindestens alle angefangenen 15.000 Tonnen	alle 26 Produktionswochen, mindestens alle angefangenen 30.000 Tonnen für: CUM, GKOS, GRS, HOS, HS, SFA, BFA, SWS, SKG, SKA
erweiterte Fremdüberwachung (eFÜ)	ausführlicher Säulenversuch	alle 2 Jahre (ersetzt eine Fremdüberwachung)	

1) entfällt bei einer Aufbereitung von insgesamt nicht mehr als 500 Tonnen Ersatzbaustoff je Standort

2) bei mobilen Anlagen einmalig je Aufstellung (ersetzt eine Fremdüberwachung)

3) für Mitglieder einer Güteüberwachungsgemeinschaft gilt der reduzierte Turnus von WPK und FÜ nach Spalte 4

8.2 Fragestellung und Vorgehensweise

Aufgrund der Befürchtung, dass *WF* 2-Säulenkurztests nach DIN 19528 (2009) wesentlich zeit- und kostenaufwendiger und damit weniger praktikabler sind als *WF* 2-Schüttel eluate nach DIN 19529 (2009) sollte im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens die Gleichwertigkeit beider Verfahren überprüft werden. Fachvorträge und Veröffentlichungen und ein Anwenderseminar der Bundesanstalt für Materialprüfung und der GIU Teningen GmbH zeigen, dass ein Säulenkurztest nur unwesentlich oder nicht aufwendiger ist als ein *WF* 2-Schüttel eluat nach DIN 19529 (2009, siehe auch Kalbe et al., 2009). In der Diskussion wird oftmals nicht berücksichtigt, dass beim Schütteltest nach DIN 19529 (2009) für grobkörniges Material relativ große Probenmengen im Überkopfschüttler untersucht werden müssen, so dass die Probenansätze i.d.R. auf mehrere Elutionsgefäße verteilt werden müssen und sich dadurch der „Labordurchsatz“ deutlich reduziert. Weiterhin macht es angesichts der in Kapitel 8.1 erläuterten Systematik wenig Sinn im Rahmen des Eignungsnachweises, der Fremdüberwachung oder der erweiterten Fremdüberwachung ein *WF* 2-Schüttel eluat nach DIN 19529 durchzuführen, da für Eignungsnachweis und erweiterte Fremdüberwachung nach AE 2 EBV ohnehin ein ausführlicher Säulenversuch nach DIN 19528 notwendig wird und dieser die Fremdüberwachungen ersetzt.

Unabhängig von der Diskussion um die Praktikabilität dieser beiden Verfahren soll im weiteren Ordnungsverfahren entschieden werden, ob bei den werkseigenen Produktionskontrollen und den regelmäßigen Fremdüberwachungen (nicht bei den Eignungsuntersuchungen oder bei den erweiterten Fremdüberwachungen) auch der *WF* 2-Schütteltest nach DIN 19529 (2009) gleichwertig verwendet werden kann. Dies ist nur dann möglich, wenn die Materialwertetabelle nach Anhang 1 im AE 2 EBV (BMU, 2011) einheitlich für beide Methoden gelten kann. Die Einführung unterschiedlicher Materialwertetabellen wird durch die Fachgremien und das BMU als nicht praktikabel gesehen.

Wie in Kapitel 5.4.2 beschrieben wurde hierzu in 2 Schritten vorgegangen:

1. Prozessbasierte Analyse der Vergleichbarkeit von Schüttel- und Perkolationsverfahren
2. Analyse von Paralleldatensätzen auf Vergleichbarkeit der Ergebnisse

8.3 Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Säulen- und Schüttelverfahren: Theorie

Zur Untersuchung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Elutionsmethoden hat der Projektnehmer eine Literaturrecherche, analytische Berechnungen und Vergleiche mit Messwerten in Säulenversuchen, Feldlysometern und Batchversuchen (Schütteltest bei verschiedenen *WF*) durchgeführt. Die Ergebnisse sind international veröffentlicht worden (Grathwohl & Susset, 2009). Im Folgenden sollen die wesentlichen Ergebnisse dieser theoretischen Untersuchungen dargestellt werden.

Grundsätzlich sind Ergebnisse aus verschiedenen Tests (z.B. Säulen-, Schütteltests) miteinander vergleichbar. Dies setzt jedoch voraus, dass die Verteilungskoeffizienten (K_d) bekannt sind (d.h. es müssen die Konzentrationen im Wasser und im Feststoff unter Gleichgewichtsbedingungen bekannt sein) und dass die K_d -Werte nicht durch andere Wasserinhaltsstoffe beeinflusst werden, deren Konzentration stark vom *WF*-Verhältnis abhängt (z.B. DOC, Redoxverhältnisse, pH). Zudem ist zu berücksichtigen, dass bei Sauerstoffzutritt je nach Test Bioabbau unterschiedlich rasch und in unterschiedlicher Intensität einsetzen kann. Abbildung 8.1 zeigt, wie sich aktuelle und kumulative Konzentrationen zwischen Säulenversuchen und Schütteltest unterscheiden. In Abhängigkeit des K_d werden demnach die kumulierten Konzentrationen im Säuleneluat (z.B. Säulenkurzeluat bis *WF* 2, Referenzkonzentration für AE 2 EBV) durch ein Batcheluat bei gleichem *WF* (z.B. Schütteltest bei *WF* 2) aus prozessbasierten Gründen tendenziell unterschätzt (maximale Unterschätzung um ca. 70 % bei $WFK_d = 1$). Dieser theoretische Zusammenhang kann jedoch durch Artefakte und methodische Probleme stark überprägt sein. Stärkere Abweichungen sind z. B. zu erwarten wenn

leicht mobilisierbarer DOC auftritt. DOC würde sich rasch aus der Säule auswaschen, während der DOC sich im Schütteltest zwar verdünnt aber weiterhin lösungsvermittelnd wirkt.

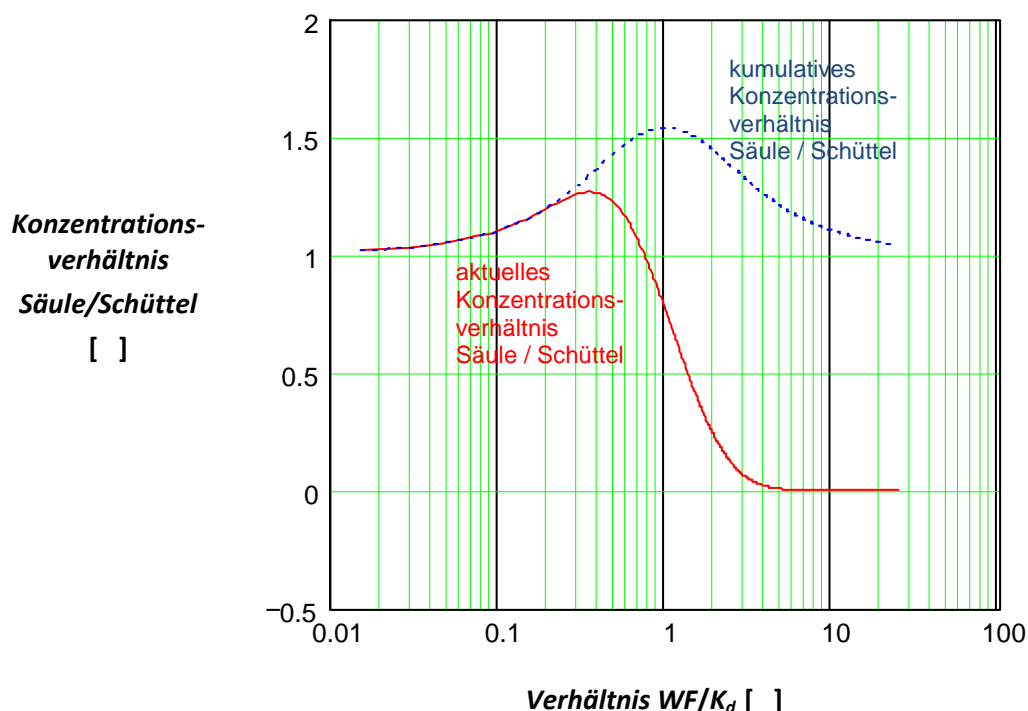


Abb. 8.1: Relative Abweichung (Verhältnis) zwischen Säulenversuch und Schütteltest; aktuelle Konzentrationsverhältnisse: durchgezogene Linie; kumulative Konzentrationsverhältnisse: gepunktete Linie ($K_d=2$; $n/\rho=0.2$; $\alpha=0.2$ x).

Übertragen auf die Fragestellung der Vergleichbarkeit von Ergebnissen im *WF 2*-Schütteltest nach DIN 19529 und im *WF 2*-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 im Rahmen der Güteüberwachung von MEB nach AE 2 EBV bedeutet dies, dass bei K_d -Werten im Bereich von 0,4 L/kg bis 4 L/kg (also WF/K_d – Bereich von 0,5 bis 5) die größten Abweichungen (Unterschätzung der Konzentrationen im Schütteltest) zu erwarten sind.

Da die K_d -Werte von Salzen, Schwermetallen und Organika in MEB je nach Bindungsform, Art des organisch gebundenen Kohlenstoffes, etc. sehr unterschiedlich sind, kann kein systematischer, reproduzierbarer Umrechnungsfaktor oder eine Gleichwertigkeit der Ergebnisse von Schüttel- und Säuleneluat bei gleichem WF (hier $WF = 2$ nach DIN 19528 und DIN 19529) erwartet werden.

Diese theoretischen Zusammenhänge in der Praxis der Laborelution direkt zu belegen ist schwierig, da die Unsicherheiten bei der Probenahme, Probenaufbereitung und Versuchsansatz insgesamt höher sein können als die zu erwartenden Abweichungen. Für die weitere Untersuchung der Fragestellung wurden deshalb alle verfügbaren Datensätze in Säulen- und Schütteltest der MEB verglichen und statistisch untersucht (vgl. nachfolgendes Kapitel).

8.4 Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Säulen- und Schüttelverfahren: Praxis

Im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens wurden alle verfügbaren Wertepaare aus Paralleluntersuchungen von MEB-Proben in einem *WF 2*-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 und einem *WF 2*-Schütteluat nach DIN 19529 ausgewertet. Abbildung 8.2 zeigt den Gesamtdatensatz aller mit Säulenversuchen untersuchter MEB der für die Bewertungen im AE 2 EBV zur Verfügung steht, und zum Vergleich die Probenzahlen von MEB für die Wertepaare Schüttel/Säule vorliegen (vgl. Abbildung 8.1).

Im Einzelnen wurde untersucht, ob das Schütteleluat im Rahmen der geplanten Güteüberwachung für die werkseigene Produktionskontrolle und die regelmäßige Fremdüberwachung, innerhalb der zulässigen Überschreitungen nach AE 2 EBV zur gleichen Zuordnung eines MEB zu einer Materialklasse führen würde, wie die Referenzmethode nach AE 2 EBV (Säulenkurzeluat bis *WF 2* nach DIN 19528). Hierbei geht es nicht um eine Gleichwertigkeitsprüfung (Grathwohl & Susset, 2009 zeigen, dass die beiden Methoden bei gleichem *WF* nicht zu gleichen Konzentrationswerten führen können, siehe oben). Für den Bundesverordnungsgeber ist lediglich relevant, ob der Schütteltest gegenüber dem Referenzverfahren der EBV (Säule) zu einer Unterschätzung des Umweltgefahrenpotentials führt, also zu einer zu günstigen Klassifizierung eines MEB (günstigere Materialklasse). Dagegen sind Abweichungen innerhalb der Klassengrenzen und Überschätzungen durch Schütteltests im Sinne eines „Worst-case - Ansatzes“ für den Verordnungsgeber akzeptabel.

In den folgenden Kapiteln werden für jeden MEB die Konzentrationen in Säulenkurzeluaten und Schütteleluaten für die jeweils regelungsrelevanten Stoffe sowie die pH-Werte und Leitfähigkeiten graphisch gegenübergestellt (beschränkt auf Stoffe und Parameter für die Materialwerte in AE 2 EBV festgelegt wurden – es liegen z. T. noch weitere Stoffanalysen vor) und die Abweichungen ausgewertet. Kapitel 9 stellt Verwertungsquoten von MEB in bestimmten Materialklassen unter Berücksichtigung der beiden Verfahren gegenüber.

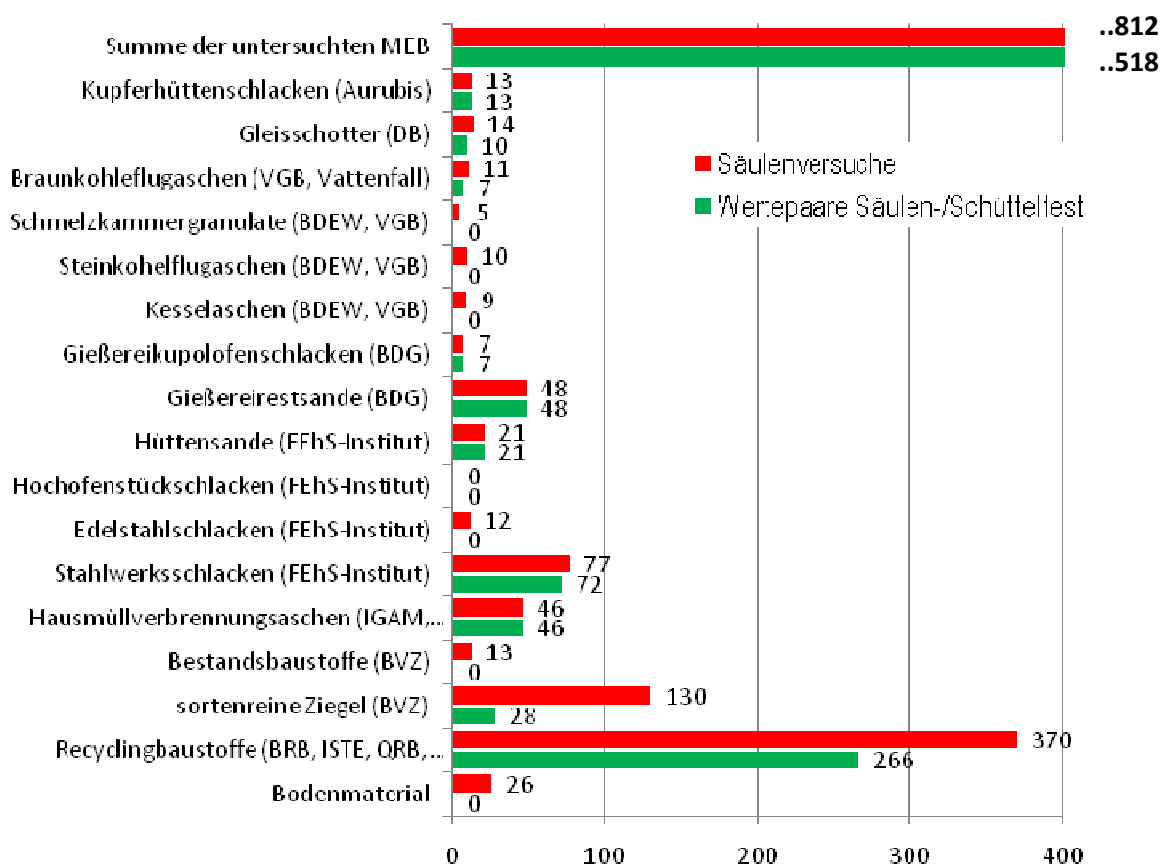


Abb. 8.2: Gegenüberstellung der Anzahl von MEB-Proben, die im *WF 2*-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 (2009) untersucht wurden (Grundlage für die Bewertungen im AE 2 EBV, BMU, 2011) sowie der Anzahl der Proben für die Wertepaare (Paralleluntersuchungen) im *WF 2*-Säulenkurz- und *WF 2*-Schütteleluat nach DIN 19529 (2009) vorliegen.

8.4.1 Gleisschotter (GS)

In Arbeit

8.4.2 RC-Baustoffe (RC)

Abbildung 8.3 zeigt eine Gegenüberstellung der pH-Werte und der Leitfähigkeiten in Schütteleluaten versus Säuleneluaten. Für verschiedene Probenarten und -herkunft zeigen sich tendenziell um bis zu eine Größenordnung erhöhte pH-Werte in Schütteleluaten gegenüber Säuleneluaten. Bei der Leitfähigkeit ergibt sich kein eindeutiger Trend. Da die Orientierungswerte von pH und Leitfähigkeit für RC nach EBV zum Beispiel für RC 1 mit 10-13 bzw. maximal 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ weit gefasst sind, spielen diese Abweichungen zwischen den beiden Methoden für die Materialklassifizierung (RC-1 bis 3) bezüglich pH und Leitfähigkeit keine bedeutende Rolle. Aufgrund der alkalischeren Schütteleluate (dies wird i.d.R. auf mechanische Abriebeffekte zurückgeführt) können allerdings Auswirkungen auf die Freisetzungsdynamik von Schadstoffen erwartet werden.

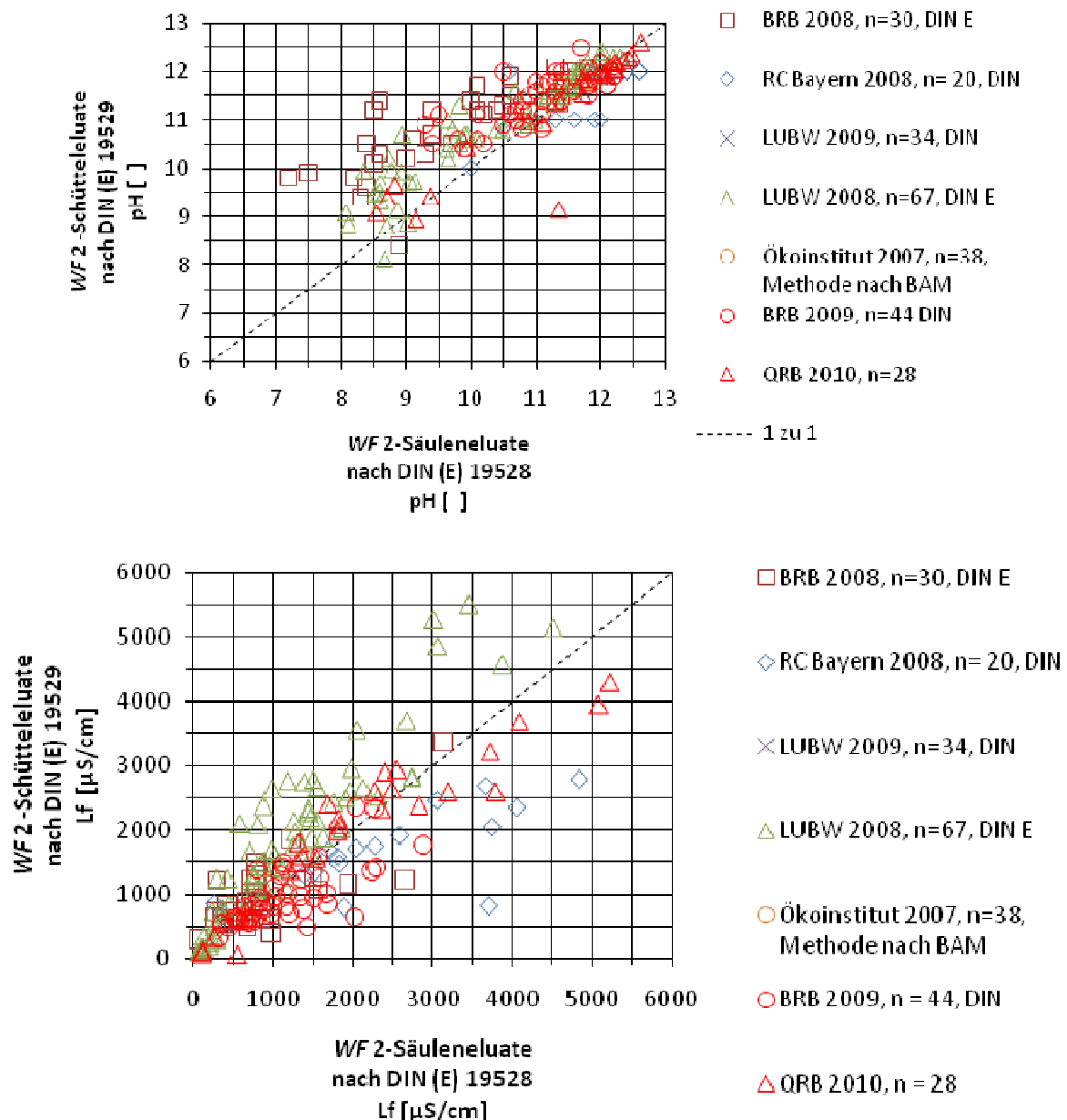


Abb. 8.3: Gegenüberstellung der pH-Werte (oben) und der el. Leitfähigkeit (Lf, unten) in WF 2-Schütteleluaten nach DIN 19529 und WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 von RC-Parallelproben (Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung.

Für Sulfat werden z. T. bewertungsrelevante Abweichungen der beiden Verfahren gefunden. Es zeichnet sich aber kein eindeutiger Trend einer Unter- oder Überschätzung der Konzentrationen von Sulfat durch eines der beiden Verfahren ab (Abb. 8.4). Teilweise führen die Abweichungen zu einer Verschiebung zwischen RC-1 und RC-2 (da die Klassengrenzen überschritten werden).

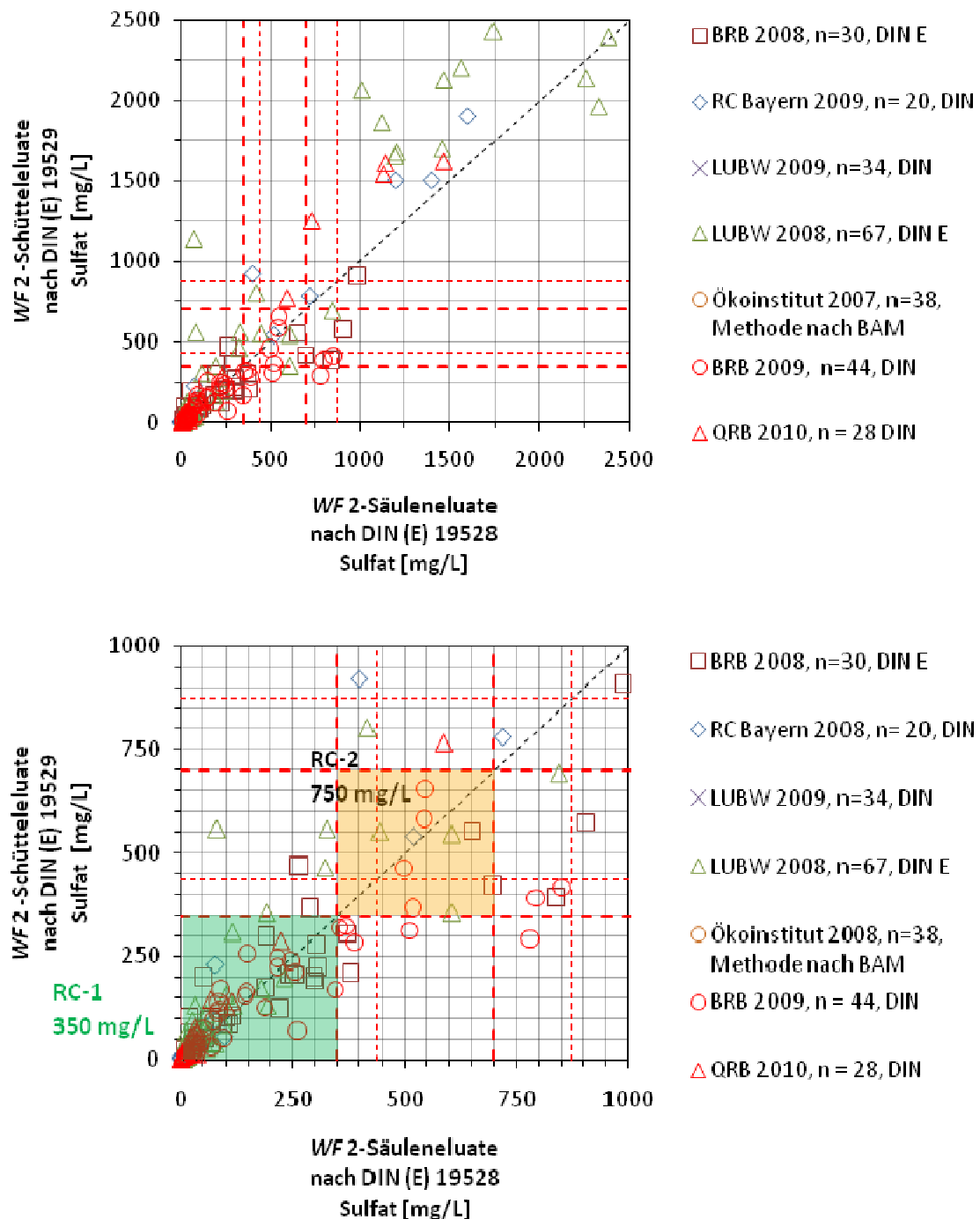


Abb. 8.4: Gegenüberstellung der Konzentrationen von Sulfat in WF 2-Schüttteleluaten nach DIN 19529 und WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 von RC-Parallelproben (oben: für den gesamten relevanten Konzentrationsbereich, unten: eingeeengt auf RC1 und RC 2, Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung; farbige Strichlinien und Felder: Verschiedene Materialklassen, feine Strichlinien: zulässige geringfügige Überschreitungen nach AE 2 EBV.

Auch für Vanadium ergibt sich kein eindeutiger Trend einer Über- oder Unterschätzung. Die Abweichungen liegen i.d.R. innerhalb der Konzentrationsgrenzen von RC 1 und RC1, Fußnote 1). Für wenige Proben der Datensätze aus NRW führt eine Unterschätzung durch das Schüttteleluat gegenüber der Referenzmethode Säule zu einer Verschiebung von RC-1 nach RC-1, Fußnote 1. Die Konzentrationen von Chrom, ges. und Kupfer in Säulen- bzw. Schüttteleluaten liegen abgesehen von sehr wenigen Ausreißern innerhalb der „Klassengrenze“ von RC-1, Fußnote 1. Die geringen Abweichungen sind für diese beiden Stoffe demnach nicht bewertungs- und regelungsrelevant.

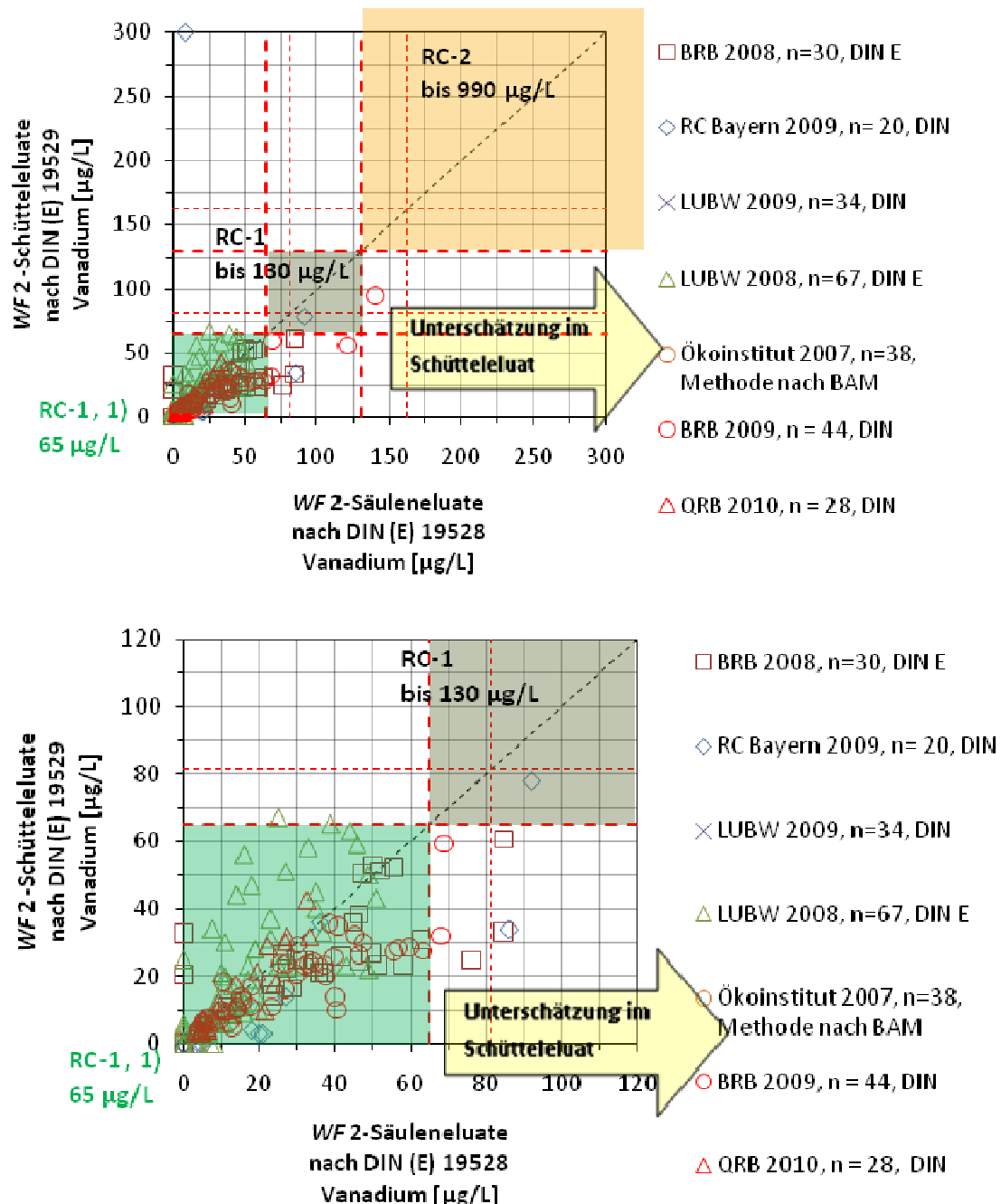


Abb. 8.5: Gegenüberstellung der Konzentrationen von Vanadium in WF 2-Schüttteleluaten nach DIN 19529 und WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 von RC-Parallelproben (oben: für den relevanten Konzentrationsbereich bis RC 2, unten: eingengt auf RC1 (zulässig in Bauweisen unter Pflaster auf Sand) und RC 1, Fußnote 1) (zulässig in allen offenen Bauweisen auf Sand), Symbole: verschiedene anonymisierte Herkunft). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung; farbige Strichlinien und Felder: verschiedene Materialklassen, feine Strichlinien: zulässige geringfügige Überschreitungen nach AE 2 EBV.

Für die $\Sigma 15$ EPAPAK werden die erwarteten und an verschiedenen Stellen in der internationalen Literatur bestätigten Abweichungen (vgl. weiterführenden Literatur in Grathwohl & Susset, 2009 und Messergebnisse in Susset & Leuchs, 2008b) zwischen Schüttelverfahren und Säulenverfahren gefunden. Nachfolgendem Datensatz des QRB Baden-Württemberg kommt hier besondere Bedeutung zu, da hier durch die GIU GmbH bereits der Entwurf der derzeit im DIN NAW UA 5 entwickelten Norm zur Untersuchung von Materialien im Schüttelverfahren auf organische Stoffe (DIN 19527, E 2010) eingesetzt wurde. In der DIN 19527 wird ein Flüssig-Trennungsschritt normiert. Mit diesem sollen sowohl Überschätzungen als auch Unterschätzungen vermieden werden. Letztere treten zum Beispiel dann auf, wenn der gängige Schütteltest (z.B. DEV DS 4, DIN 19529) entgegen dem Bestimmungszweck der Norm für die PAK – Bestimmung verwendet wird, weil mit dem Filter und dem entstehenden Filterkuchen die sorptiven Organika schlicht aus dem Eluat herausgefiltert werden.

Wie Abbildung 8.6 verdeutlicht wären mit dem Referenzverfahren der EBV (Säule nach DIN 19528) bei alleiniger Betrachtung der PAK-Konzentrationen von den 28 Proben des QRB 26 Proben der Materialklasse RC-1 und davon 24 der Materialklasse RC-1, Fußnote 1 mit Zulässigkeiten in allen offenen Bauweisen über Sand zuzuordnen. Mit dem Schütteltest nach DIN E 19527 (2010) wären aufgrund der Überschätzungen 13 % der Proben RC-2 zuzuordnen. Weitere 10 % wären RC-1 statt RC-1 Fußnote 1) zuzuordnen.

Insgesamt zeichnet sich aufgrund der Überschätzung im Schütteltest eine Verschiebung in ungünstigere Materialklassen ab, da die Klassengrenzen überschritten werden. Leider liegen dem Projektnehmer bisher keine weiteren Datensätze mit der neuen Schüttelmethode DIN E 19527 vor um diesen Trend statistisch besser abzusichern. Die Überschätzung wäre aus Sicht des Verordnungsgebers akzeptabel, da der Schütteltest hier den „Worst-case“ darstellt, also bezogen auf den Medienschutz auf der „sicheren Seite“ liegt. Aus Sicht der betroffenen Branche wäre dieses Ergebnisse jedoch unbefriedigend, weil zahlreiche Proben, die nach Säulenversuch als RC-1 bzw. RC-1 Fußnote 1) nach RC-2 Qualität eingestuft würden müssten, also durch das Schütteltestat zu ungünstig eingestuft würden. Diese Verschiebungen können sich auch negativ auf die Verwertungsquoten auswirken (vgl. Kapitel 9). In den Abbildungen sind zusätzlich die zulässigen geringfügigen Überschreitungen in der Güteüberwachung nach AE2 EBV (BMU, 2011) eingezeichnet. Da davon auszugehen ist, dass die Überschreitungen systematisch sind, also immer wieder beim Parameter PAK auftreten, greift die Überschreitungsregel in der Praxis der Güteüberwachung voraussichtlich nicht (zulässig sind zwar geringfügige Überschreitungen, sie dürfen aber nicht systematisch sein, vgl. AE 2 EBV).

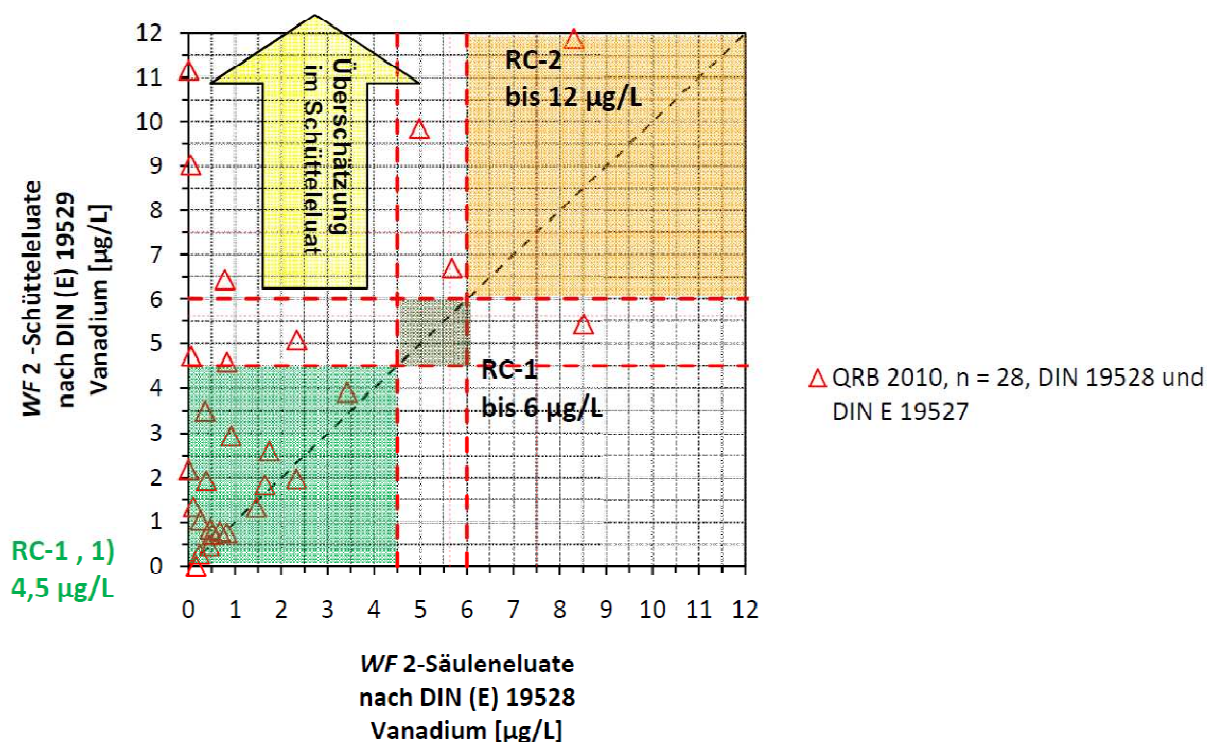


Abb. 8.6: Gegenüberstellung der Konzentrationen der $\Sigma 15\text{EPAPAK}$ in WF 2-Schüttteleluaten nach **DIN E 19527 (2010)** und WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 von RC-Parallelproben. RC1: zulässig in Bauweisen unter Pflaster auf Sand, RC 1, Fußnote 1): zulässig in allen offenen Bauweisen auf Sand (Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung; farbige Strichlinien und Felder: verschiedene Materialklassen, feine Strichlinien: zulässige geringfügige Überschreitungen nach AE 2 EBV.

8.4.3 Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA)

In Arbeit

8.4.4 Braunkohleflugaschen (BFA)

In Arbeit

8.4.5 Gießereirestsande (GRS)

In Arbeit

8.4.6 Gießereikupolofenschlacken (GKOS)

In Arbeit

8.4.7 Stahlwerksschlacken (SWS)

Abbildung 8.7 zeigt eine Gegenüberstellung der pH-Werte und der Leitfähigkeiten in Schütteleluaten versus Säuleneluaten. Für verschiedene Probenarten und -herkunft zeigen sich i.d.R. um eine Größenordnung erhöhte pH-Werte in Schütteleluaten gegenüber Säuleneluaten. Die Leitfähigkeiten werden mit Schütteleluaten i.d.R. um den Faktor 2 überschätzt. Da die Orientierungswerte von pH und Leitfähigkeit für SWS nach EBV mit 10-13 bzw. maximal 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sehr weit gefasst sind, spielen diese Abweichungen zwischen den beiden Methoden für die Materialklassifizierung (SWS-1 bis 3) bezüglich pH und Leitfähigkeit keine Rolle. Allerdings ist davon auszugehen, dass die stark unterschiedlichen hydrogeochemischen Randbedingungen (Ionenstärke) in Schütteleluaten versus Säuleneluaten die Freisetzungsdynamik von Schadstoffen beeinflussen.

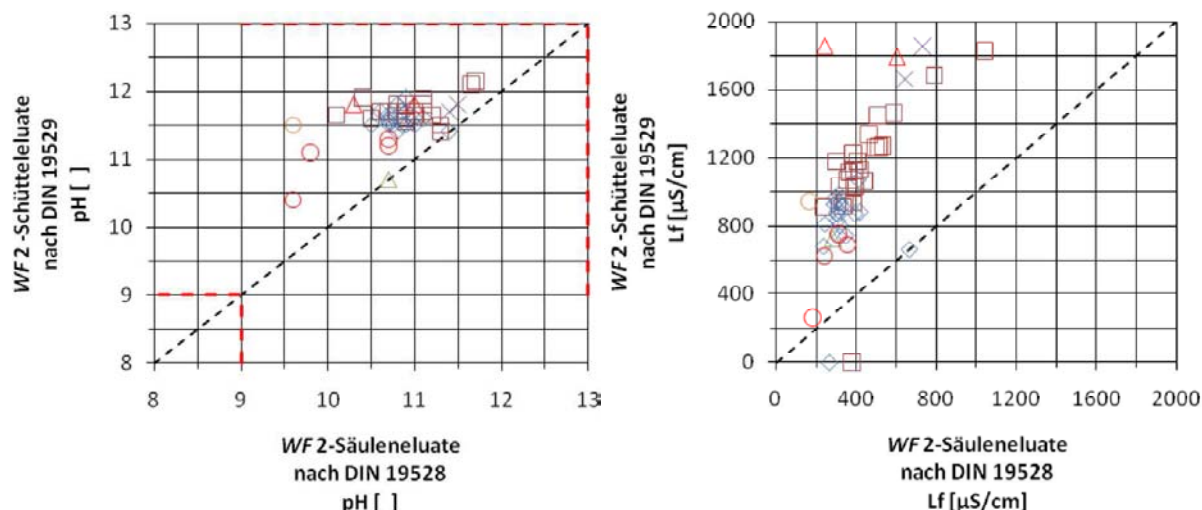


Abb. 8.7: Gegenüberstellung der pH-Werte (links) und der el. Leitfähigkeit (Lf, rechts) in WF 2-Schütteleluaten nach DIN 19529 und WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 von EOS-Parallelproben (Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung; rot gestrichelt: pH-Grenzen (Orientierungswerte) für SWS nach AE 2 EBV (BMU, 2007).

Die insgesamt relativ niedrigen Konzentrationen von Chrom, ges. (Abb. 8.8) in den Eluaten der beiden Verfahren weichen zwar voneinander ab, zeigen aber keinen signifikanten Trend einer Über- oder Unterschätzung. Die Abweichungen sind für die Klasseneinteilung der SWS nicht bewertungsrelevant, da alle Konzentrationen unterhalb des Materialwertes für Chrom, ges. der günstigsten Materialklasse SWS-1 von 115 $\mu\text{g}/\text{L}$ liegen.

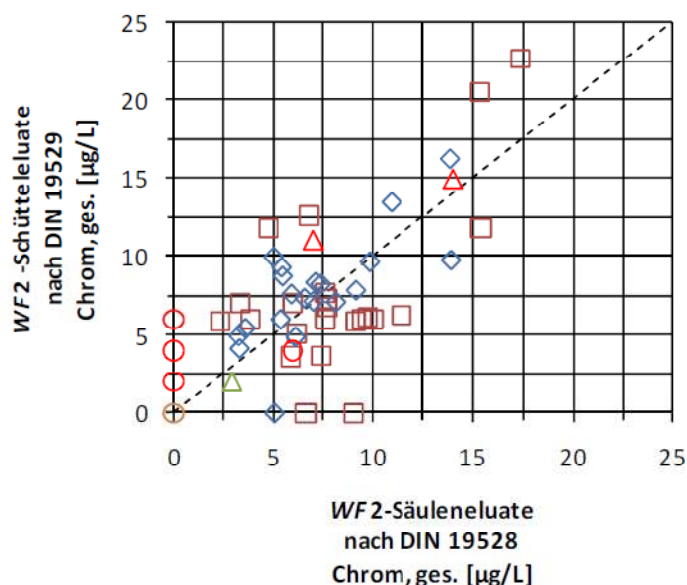


Abb. 8.8: Gegenüberstellung der Konzentrationen von Chrom, ges. in *WF2*-Schüttel eluaten nach DIN 19529 und *WF2*-Säulen eluaten nach DIN 19528 von EOS-Parallelproben (Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung.

Für Molybdän werden bewertungsrelevante Abweichungen der beiden Verfahren gefunden. Die Molybdänkonzentrationen werden durch Schüttel eluate über den gesamten Konzentrationsbereich z. T. stark überschätzt (Abb. 8.9). Je nach Probenherkunft führt diese Überschätzung zu einer Verschiebung von SWS-1 nach SWS-2 (da die Klassengrenzen überschritten werden). Dies wäre aus Sicht des Verordnungsgebers akzeptabel, da der Schütteltest hier den „Worst-case“ darstellt, also bezogen auf den Medienschutz auf der „sicheren Seite“ liegt. Aus Sicht der betroffenen Branche wäre dieses Ergebnis jedoch unbefriedigend, weil zahlreiche Proben, die nach Säulenversuch als SWS-1 oder SWS-2 Qualität eingestuft würden, durch das Schütteltestat zu ungünstig eingestuft würden (Verschiebung von SWS-1 zu SWS-2 bzw. SWS – 2 zu SWS-3; alle Datenpunkte in den Abbildungen, die außerhalb der farbig hinterlegten Felder liegen). Diese Verschiebungen wirken sich auch negativ auf die Verwertungsquoten aus (vgl. Kapitel 9). In den Abbildungen sind zusätzlich die zulässigen geringfügigen Überschreitungen in der Güteüberwachung nach AE2 EBV (BMU, 2011) eingezeichnet. Da davon auszugehen ist, dass die Überschreitungen systematisch sind, also immer wieder beim Parameter Molybdän auftreten, greift die Überschreitungsregel in der Praxis der Güteüberwachung voraussichtlich nicht (zulässig sind zwar geringfügige Überschreitungen, sie dürfen aber nicht systematisch sein, vgl. AE 2 EBV). Zudem sind die Überschätzungen durch den Schütteltest bei einigen Proben so hoch, dass die gefunden Konzentrationen oberhalb der geringfügigen Überschreitungen liegen. Für den Probensatz des FEhS-Instituts kann eine EOS identifiziert werden, die aufgrund einer Überschätzung im Schüttel eluat nicht mehr der Klasse SWS-3 zuzuordnen wäre, sondern deponiert werden müsste.

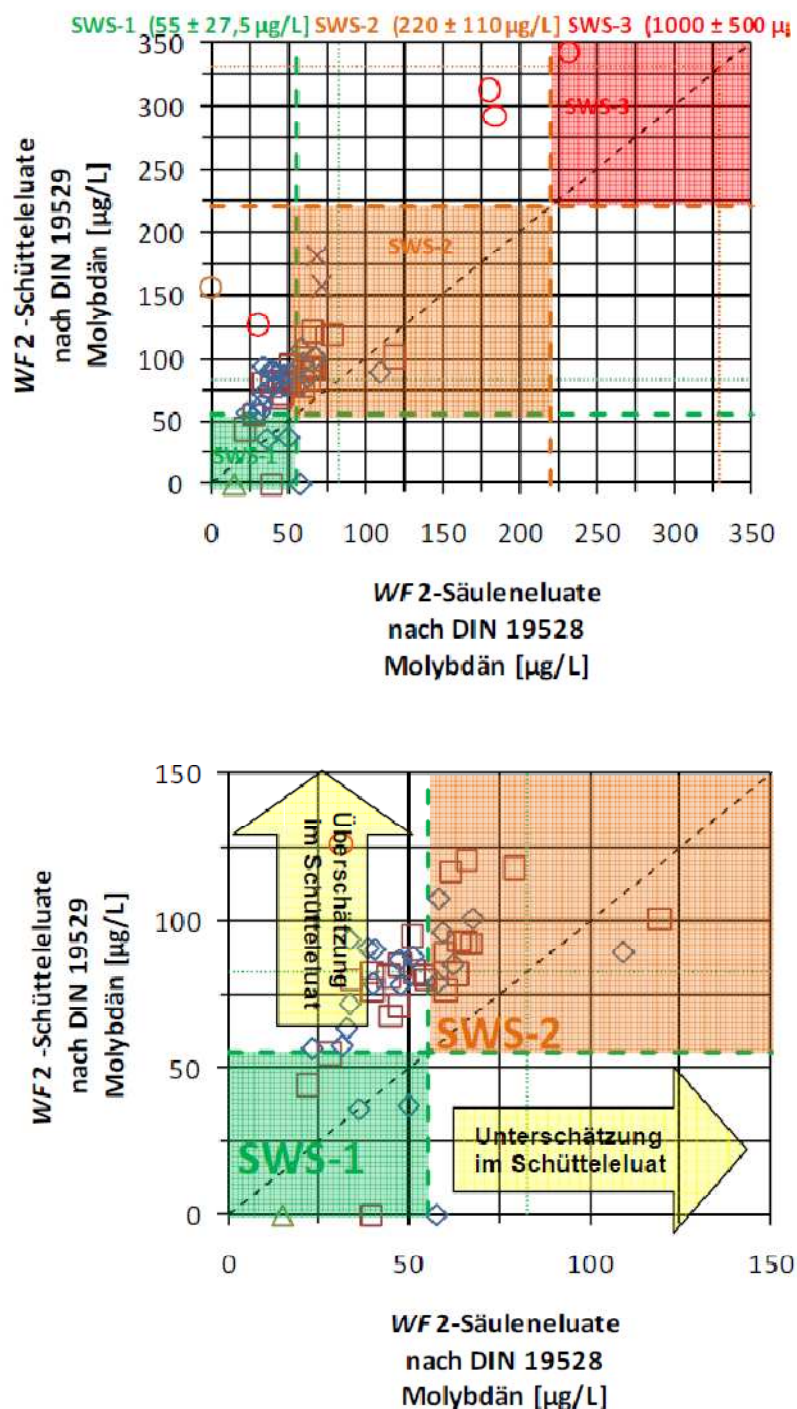


Abb. 8.9: Gegenüberstellung der Konzentrationen von Molybdän in WF 2-Schüttelleuaten nach DIN 19529 und WF 2-Säuleneluaten nach DIN 19528 von EOS-Parallelproben (Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung; farbige Strichlinien und Felder: Verschiedene Materialklassen, feine Strichlinien: zulässige geringfügige Überschreitungen nach AE 2 EBV.

Die Konzentrationen von Vanadium werden mit dem Schütteltest vor allem im höheren Konzentrationsbereich überschätzt, im unteren Konzentrationsbereich eher unterschätzt. Eine systematische Unterschätzung durch den Schütteltest wäre aus Sicht des Verordnungsgebers nicht akzeptabel, da der Schütteltest hier gegenüber dem Referenzverfahren der EBV (Säulenversuch nach DIN 19528) zu einer Fehleinschätzung des Umweltgefahrenpotentials führt.

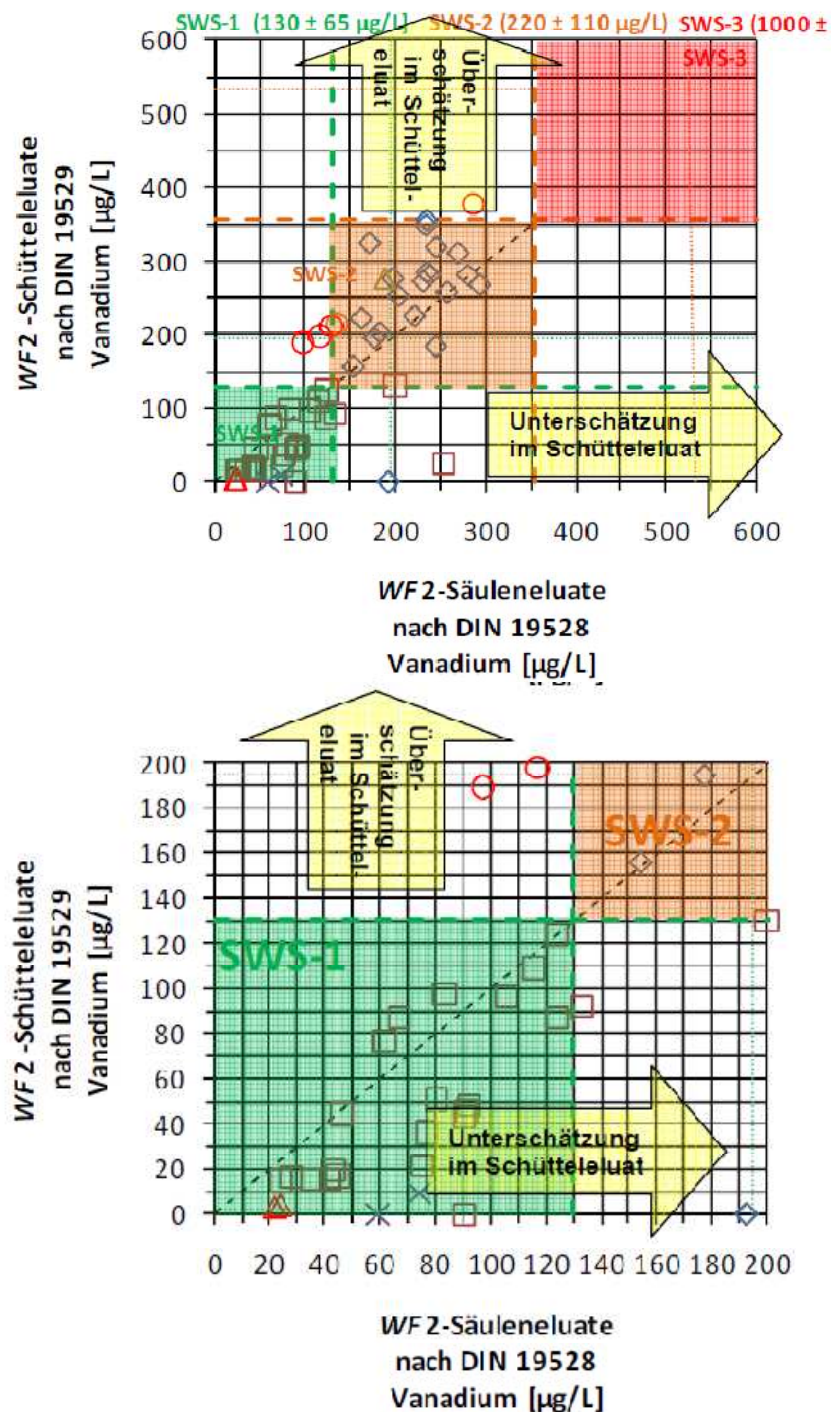


Abb. 8.10: Gegenüberstellung der Konzentrationen von Vanadium in WF 2-Schüttel- und -Säuleneluates nach DIN 19529 und WF 2-Säulenkurzeluates nach DIN 19528 von EOS-Parallelproben (Symbole: verschiedene anonymisierte Herkünfte). Schwarz gestrichelt: 1:1 Übereinstimmung; farbige Strichlinien und Felder: Verschiedene Materialklassen, feine Strichlinien: zulässige geringfügige Überschreitungen nach AE 2 EBV.

Fazit:

- Für den Datensatz Stahlwerksschlacken wurden bewertungsrelevante Abweichungen des Schüttelverfahrens nach DIN 19528 (2009) von der Referenzmethode nach AE 2 EBV - Säulenversuch nach DIN 19528 bei Molybdän und Vanadium festgestellt.

- Molybdänkonzentrationen wurden durch den Schütteltest über den gesamten betrachteten Konzentrationsbereich gegenüber der Referenzmethode teilweise stark überschätzt. Die Abweichung ist bewertungsrelevant, da durch die Überschätzung eine Verschiebung in ungünstigere Materialklassen verursacht wird.
- Bezüglich Vanadium wurden Überschätzungen durch den Schütteltest im oberen Konzentrationsbereich und Unterschätzungen im unteren Konzentrationsbereich festgestellt. Die Abweichungen sind für die hier betrachteten Proben mit der Ausnahme von 2 aus 71 Proben nicht bewertungsrelevant, da die Konzentrationen innerhalb der Materialgrenzwerte einer Materialklasse liegen. Für die 2 Ausnahmen würde bezogen auf Vanadium eine zu günstige Klassifizierung nach SWS-1 statt SWS-2 resultieren.
- Für eine abschließende Beurteilung der Regelrelevanz der Abweichungen müssen alle Güteüberwachungsparameter- und Stoffe in der Kombination betrachtet werden. Nur wenn die Abweichungen für alle Stoffe in der Kombination zu einer abweichenden Zuordnung zu Materialklassen gegenüber dem Referenzverfahren führen, resultiert eine Regelungsrelevanz für den AE 2 EBV.

8.4.8 Hüttensande (HS)

In Arbeit

9 Verwertungsquoten unter alleiniger Berücksichtigung umweltrelevanter Merkmale (Materialwerte nach AE 2 EBV, BMU, 2011)

Die in der Güteüberwachungspraxis für einen bestimmten Probensatz im Hinblick auf die Einhaltung von Materialwerten theoretisch erreichbare Verwertungsquote in den verschiedenen Materialklassen wird durch die Stoffkombinationen limitiert, da jeder MEB alle Materialwerte einer Materialklasse einhalten muss, um dieser zugeordnet werden zu können. Für die vorliegenden Datensätze wurde entsprechend einer Güteüberwachung eine Zuordnung der Proben zu den Materialklassen und ggf. zu speziellen Bauweisen (Fußnotenregelungen) unter Berücksichtigung aller relevanten Stoffe bzw. Materialwerte aufgrund der Ergebnisse von Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 durchgeführt. Zu Vergleichszwecken sind – sofern Messdaten vorliegen – die Verwertungsquoten aufgrund der Ergebnisse von Schüttelueluaten nach DIN 19529 mit aufgeführt. Für Bodenmaterial, Gleisschotter und Hochofenstückschlacken liegen uns keine geeigneten Datensätze für die Ableitung von Verwertungsquoten vor.

Bei den Berechnungen der erreichbaren Verwertungsquoten wurden keine Überschreitungsregelungen entsprechend dem Güteüberwachungsverfahren nach AE 2 EBV berücksichtigt, da nicht abgeschätzt werden kann, ob diese systematisch sind (vgl. Überschreitungsregelungen „geringfügig/systematisch“ in AE 2 EBV, BMU, 2011). In der Praxis können deshalb auch höhere Verwertungsquoten im Hinblick auf die Umweltmerkmale erreicht werden.

An dieser Stelle wird betont, dass bei der Abschätzung der Verwertungsquoten die verfügbare Datengrundlage als repräsentativ für den jeweiligen Stoffstrom betrachtet werden muss. Nähere Informationen zur Repräsentativität der zur Verfügung gestellten Datengrundlagen liegen uns aber nicht vor. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Zahlen für einzelne Datensätze ist die Repräsentativität wahrscheinlich unterschiedlich zu bewerten (vgl. Beschreibung der verfügbaren Datensätze in Kapitel 6).

Weiter ist zu betonen, dass mit dieser Analyse die Folgen der Festsetzung von Umweltanforderungen (Materialwerte) in der EBV abgeschätzt werden kann. Die Abschätzung der Auswirkungen der technischen Machbarkeit und von Marktpotentialen für die Verwertung bestimmter mineralischer Ersatzbaustoffe in bestimmten Einbauweisen ist nicht Gegenstand dieses Ergänzungsvorhabens (es wird für jede technische Bauweisen die Einhaltung der Materialwerte geprüft, nicht aber die Frage, ob zum Beispiel eine HMVA für eine bitumengebundene Decke oder eine Tragschicht technisch geeignet ist). Letztere Aspekte können die in der Praxis zu erwartenden Verwertungsquoten beeinflussen.

9.1.1 RC-Baustoffe (RC)

Für RC-Baustoffe wurde (unabhängig von diesem Ergänzungsvorhaben) in der Mantelverordnung ein Materialwert für die $\Sigma 15$ EPA PAK im Feststoff und für den Phenolindex im *WF 2*-Säulenkurzeluat nach DIN 19528 eingeführt. Diese beiden Festlegungen dienen nicht zur Begrenzung von Boden- und Grundwassergefahren durch die Auswaschung und Verlagerung von Schadstoffen mit dem Sickerwasser, sondern alleine zur Vermeidung von Teeranteilen in RC-Baustoffen im Regelungsbereich der EBV. Wie in Kapitel 4.1.3 (Teil I dieser Bericht) erläutert, stellen Feststoffgrenzwerte zur Begrenzung von Grundwasser- und Bodengefahren bezogen auf den Wasserpfad nicht das geeignete Mittel dar (vgl. Stand der Technik, Teil I). Die genannten Umweltgefahrenpotentiale wurden deshalb im Rahmen dieses Ergänzungsvorhabens durch die berechneten medienschutzbasierten Einbauwerte und die daran orientierten Materialwerte von PAK in Säulenkurzeluaten bis *WF 2* begrenzt. Teerhaltiges Material kann sehr hohe Feststoffkonzentrationen von PAK aufweisen, aber zugleich aufgrund der hohen Kohlenstoffgehalte und thermischer Überprägung etc. (vgl. z.B. Grathwohl, 2004) sehr geringe Eluatwerte einstellen. Deshalb besteht das Risiko, dass teerhaltige RC-Baustoffe „unerkannt“ in den Regelungsbereich der EBV gelangen, wenn kein geeigneter Feststoffgrenzwert in der EBV festgelegt wird.

Das BMU orientiert sich mit der Neueinführung der PAK-Feststoffgrenzwerte und dem Grenzwert für den Phenolindex an der Vorgehensweise nach TL-AG-StB (2009), wonach zur

Abgrenzung teer-/und pechtypischer Bestandteile eine Grenze für die Σ EPA PAK von 25 mg/kg für den Gesamtgehalt und von 100 μ g/L im *WF* 10-Eluat nach DEV S4 von 100 μ g/L festgelegt wurde.

Vor dem Hintergrund der zulässigen Mischungsanteile bis 30 M.-% in RC-Baustoffen hat der Verordnungsgeber für die MantelV den Grenzwert von 25 mg/kg durch 3 geteilt und auf einen Wert von 10 mg/kg aufgerundet. Zur Abgrenzung in der EBV wurde darauf basierend ein „Teerriegel“ festgelegt, indem für alle RC-Materialklassen der gleiche Feststoffgrenzwert von 10 mg/kg eingeführt wurde. RC-Baustoffe, die diesen Grenzwert überschreiten fallen per Regelung in § 1, Absatz 9 in AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) in den Geltungsbereich der „Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau - RuVA-StB 01 –, Ausgabe 2001, Fassung 2005“ und die „Technischen Lieferbedingungen für Asphaltgranulat - TL AG-StB 09“.

Die Festlegung eines konstanten Feststoffgrenzwertes für alle RC-Klassen ist vor diesem Hintergrund fachlich korrekt, da man hier - wie oben erläutert – nicht auf die Begrenzung von Grundwasser- und Bodengefahren durch die Auswaschung und Verlagerung von Schadstoffen mit dem Sickerwasser abzielt. Allerdings muss für Folgeabschätzung der EBV genau analysiert werden, inwieweit durch einen Grenzwert von 10 mg/kg für die Σ EPA PAK auch RC-Baustoffe erfasst werden, die nach EBV und Fachkonzept aufgrund der Eluatwerte keine Umweltgefährdungspotentiale für das Grundwasser und den Boden aufweisen und im Feststoff aber erhöhte Konzentrationen zeigen. Letztere können auch auf andere PAK-Quellen zurückgeführt werden. Abbildung 4.3 in Kapitel 4.1.3.1 (Teil I dieser Bericht) zeigt die Verteilung von Feststoffkonzentrationen versus Konzentrationen in *WF* 2-Säuelnkurzeluaten für 316 RC-Baustoffproben. Die Auswertung verdeutlicht, dass ein relevanter Anteil der RC-Baustoffproben oberhalb der 10 mg/kg-Grenze liegen aber nur sehr wenige oberhalb der 25 mg/kg-Grenze. Zugleich liegen die Eluatwerte i.d.R. im Bereich von RC-1 und hängen nicht von den Feststoffgehalten ab.

Zur Beurteilung der Auswirkungen des PAK-Feststoffgrenzwertes von 10 mg/kg auf die Verwertungsquoten von RC-Baustoffen werden in den nachfolgenden Tabellen 9.2 und 9.3 für Datensätze mit Wertepaaren PAK im Eluat/PAK im Feststoff, Verwertungsquoten unter Berücksichtigung eines Wertes von 10 mg/kg (Tab. 9.2) bzw. eines Wertes von 25 mg/kg (Tab. 9.3) analysiert.

An dieser Stelle wird betont, dass dem Projektnehmer keine Erfahrungswerte zu den Konzentrationen des Phenolindex in *WF* 2-Säuelnkurzeluaten oder *WF* 2-Schütteluaten von RC-Baustoffen vorliegen. Die Datensätze zum Phenolindex aus der bisherigen Güteüberwachung von RC-Baustoffen in *WF* 10-Schütteluaten nach DEV S4 liegen uns bisher nicht vor und können auch nur bedingt für eine Abschätzung des Phenolindex in *WF* 2-Eluaten herangezogen werden, da das Freisetzungsverhalten von Phenolen bisher nicht bekannt ist. Ein Abklingen der Phenole würde zu bedeutend höheren Werten in *WF* 2 –Eluaten gegenüber *WF* 10-Eluaten führen, was bei der Grenzwertfestlegung in der EBV unbedingt berücksichtigt werden müsste. Anderenfalls würde eine auch aus Sicht des Medienschutzes nicht erforderliche zusätzliche Einschränkung der Verwertungsquoten von RC-Baustoffen resultieren.

Tab. 9.1: Verwertungsquoten von RC-Baustoffen nach AE2 EBV (BMU, 2011) **ohne Berücksichtigung der neuen Materialwerte für PAK im Feststoff mit 10 mg/kg und für den Phenolindex mit 100 µg/L im WF 2- Säulenkurzeluat:** Prozentuale Zuordnung von RC-Baustoff-Proben zu Materialqualitäten von RC aufgrund der im Säulenkurzeluat bis WF 2 ermittelten Konzentrationen für verschiedene Herkünfte der Proben. Werte in Klammern: resultierende Quoten bei Zugrundelegung des niedrigeren Materialwertes von Sulfat ab 2020 nach AE 2 EBV). RC-1: alle Bauweisen auf Sand außer unter Plattenbelägen/ungeb. Deckschichten zulässig; RC-1, Fußnote 3): auch Bauweisen unter Plattenbelägen/ungebundener Deckschicht im günstigen Fall Sand zulässig. RC-1, Fußnote 2): alle Bauweisen auch im ungünstigen Fall zulässig.

Datensätze (vgl. Kap. 6.3.1, Tab. 6.11, Anh. 6)	Bemerkungen	Anzahl n []	RC 1, 2) [%]	RC 1, 3) [%]	RC 1 [%]	RC 2 [%]	RC 3 [%]
Ökoinstitut 2007	F&E-Säulentest (Vorläufer für DIN E 19528)	50	0	58 (46)	64 (52)	82 (64)	100
LUBW 2008	DIN E 19528, alle Qualitäten auch außerhalb QRB	97	3	68 (62)	74 (68)	83 (71)	100
RC Bayern 2008	DIN E 19528	20	0	60 (60)	65 (65)	75 (65)	100
BRB I 2008	DIN E 19528, i.d.R. Z 1.1. Mate- rialien nach LAGA M 20, PAK nicht gemessen	30	7	70 (43)	77 (47)	90 (70)	100
LUBW 2009	DIN 19528, un- günstigste Quali- täten aus 2007/2008	34	15	50 (47)	59 (53)	68 (59)	100
BGRB 2009	DIN 19528	5	0	80 (80)	100 (100)	100 (100)	100
BRB II 2009	DIN 19528 i.d.R. Z 1.1. Mate- rialien	44	7	61 (57)	71 (61)	93 (73)	100
FÜ Nordeutschland + Hessen 2009	DIN 19528 nur Vanadium und z. T PAK ge- messen	11	40	80 (80)	90 (90)	90 (90)	100
QRB 2010	DIN 19528 alle Qualitäten auch > Z 1.1	28	18	64 (61)	72 (68)	86 (82)	100
Summe auswertba- rer Proben		319	9	64 (56)	71 (62)	84 (71)	100

Tab. 9.2: Verwertungsquoten von RC-Baustoffen nach AE 2 EBV (BMU, 2011) **unter Berücksichtigung der neuen Materialwerte für PAK im Feststoff von 10 mg/kg (sofern Wertepaare vorliegen) aber ohne Berücksichtigung des Phenolindex mit 100 µg/L im WF 2- Säulenkurzeluat** (es liegen keine Messdaten/Erfahrungen zur Höhe des Phenolindex in WF 2 –Eluat von RC-Baustoffen vor): Prozentuale Zuordnung von RC-Baustoff-Proben zu Materialqualitäten von RC nach AE 2 EBV (BMU, 2011) aufgrund der im Säulenkurzeluat bis WF 2 ermittelten Konzentrationen für verschiedene Herkünfte der Proben. Werte in Klammern: resultierende Quoten bei Zugrundelegung des niedrigeren Materialwerts von Sulfat ab 2020 nach AE 2 EBV). RC-1: alle Bauweisen auf Sand außer unter Plattenbelägen/ungeb. Deckschichten zulässig; RC-1, Fußnote 3): auch Bauweisen unter Plattenbelägen/ungebundenen Deckschicht im günstigen Fall Sand zulässig. RC-1, Fußnote 2): alle Bauweisen auch im ungünstigen Fall zulässig.

Datensätze (vgl. Kap. 6.3.1, Tab. 6.11, Anh. 6)	Bemerkungen	Anzahl n []	RC 1, 2) [%]	RC 1, 3) [%]	RC 1 [%]	RC 2 [%]	RC 3 [%]
Ökoinstitut 2007	F&E-Säulentest (Vorläufer für DIN E 19528)	50	0	28 (22)	38 (30)	50 (30)	52
LUBW 2008	DIN E 19528, alle Qualitäten auch außerhalb QRB	97	2	56 (50)	60 (55)	67 (58)	93
RC Bayern 2008	keine Wertepaare						
BRB I 2008	keine Wertepaare						
LUBW 2009	DIN 19528, un- günstigste Quali- täten aus 2007/2008	34	12	47 (44)	50 (50)	65 (56)	91
BGRB 2009	keine Wertepaare						
BRB II 2009	DIN 19528 i.d.R. Z 1.1. Ma- terialien	44	5	55 (50)	66 (55)	73 (61)	77
FÜ Nordeutschland+ Hessen 2009	keine Wertepaare						
QRB 2010	DIN 19528 alle Qualitäten auch > Z 1.1	28	7	50 (46)	57 (54)	72 (68)	79
Summe auswert- barer Proben		253	4	48 (43)	55 (49)	65 (54)	80

Tab. 9.3: Verwertungsquoten von RC-Baustoffen **mit Berücksichtigung eines Materialwertes für PAK im Feststoff von 25 mg/kg (sofern Wertepaare vorliegen), aber ohne Berücksichtigung des Phenolindex mit 100 µg/L im WF 2-** Säulenkurzeluat (es liegen keine Messdaten/Erfahrungen zur Höhe des Phenolindex in WF 2 –Eluaten von RC-Baustoffen vor): Prozentuale Zuordnung von RC-Baustoff-Proben zu Materialqualitäten von RC nach AE 2 EBV (BMU, 2011) aufgrund der im Säulenkurzeluat bis WF 2 ermittelten Konzentrationen für verschiedene Herkünfte der Proben. Werte in Klammern: resultierende Quoten bei Zugrundelegung des niedrigeren Materialwertes von Sulfat ab 2020 nach AE 2 EBV. RC-1: alle Bauweisen auf Sand außer unter Plattenbelägen/ungeb. Deckschichten zulässig; RC-1, Fußnote 3): auch Bauweisen unter Plattenbelägen/ungebundenen Deckschichten im günstigen Fall Sand zulässig. RC-1, Fußnote 2): alle Bauweisen auch im ungünstigen Fall zulässig.

Datensätze (vgl. Kap. 6.3.1, Tab. 6.11, Anh. 6)	Bemerkungen	Anzahl n []	RC 1, 2) [%]	RC 1, 3) [%]	RC 1 [%]	RC 2 [%]	RC 3 [%]
Ökoinstitut 2007	F&E-Säulentest (Vorläufer für DIN E 19528)	50	0	44 (36)	52 (38)	66 (46)	80
LUBW 2008	DIN E 19528, alle Qualitäten auch außerhalb QRB	97	4	62 (56)	66 (61)	74 (63)	100
RC Bayern 2008	keine Wertepaare						
BRB I 2008	keine Wertepaare						
LUBW 2009	DIN 19528, un- günstigste Quali- täten aus 2007/2008	34	12	47 (44)	56 (50)	65 (56)	94
BGRB 2009	keine Wertepaare						
BRB II 2009	DIN 19528 i.d.R. Z 1.1. Ma- terialien	44	7	64 (57)	71 (59)	93 (73)	98
FÜ Nordeutschland+ Hessen 2009	keine Wertepaare						
QRB 2010	DIN 19528 alle Qualitäten auch > Z 1.1	28	18	61 (61)	71 (64)	86 (82)	97
Summe auswert- barer Proben		253	6	57 (51)	63 (55)	76 (63)	96

Wie der Vergleich der Verwertungsquoten verdeutlicht, führt eine PAK-Grenze von 10 mg/kg im Feststoff zu einer deutlichen Reduktion der Verwertungsquoten (z.B. für RC-1, bei Berücksichtigung aller Datensätze von 71 % auf 55 %), obwohl diese Proben aus Sicht des Boden- und Grundwasserschutzes nach Fachkonzept in günstigen Materialklassen verwendet werden könnten. Die PAK-Grenze von 25 mg/kg führt für den vorliegenden Datensatz

dagegen i.d.R. zu einer vergleichsweise geringen Reduktion der Verwertungsquoten (z. B. RC-1, alle Daten: 63 % versus 71% und RC-2, alle Daten: 76% versus 84%), wobei auch hier zu bedenken ist, dass Proben aus dem Regelungsbereich der EBV „herausfallen“, obwohl diese aus der Sicht des Medienschutzes nach Fachkonzept in günstigen Materialklassen verwendet werden könnten.

Die nachfolgende Tabelle 9.4 zeigt die resultierenden Verwertungsquoten unter Berücksichtigung von Parallelproben im *WF 2*-Schütteleluat nach DIN 19529. Die Verwertungsquoten können mit den Quoten in Tabelle 9.1 für den Säulenversuch verglichen werden. Insgesamt ergeben sich bei den meisten Datensätzen nur geringe Bewertungsunterschiede, bzw. in der Gesamtbilanz keine Unterschiede. Die höheren Verwertungsquoten mit dem Schütteleluat für den Datensatz BRB II von 82 % gegenüber 71 % ergeben sich insbesondere dadurch, dass die Konzentrationen von Vanadium durch das Schütteleluat in diesem Datensatz gegenüber dem Säuleneluat (Referenzmethode EBV) zum Teil deutlich unterschätzt werden. Da Vanadium aufgrund der erhöhten Werte für diesen Datensatz besonders relevant bzw. verwertungslimitierend ist, wirkt sich die Unterschätzung im Schütteleluat hier besonders markant aus. Deutlich niedrigere Verwertungsquoten im Datensatz des QRB bei Zugrundelegung des Schütteltestats sind darauf zurückzuführen, dass in diesem Datensatz nicht Vanadium sondern Sulfat und PAK (im Eluat) besonders verwertungslimitierend wirken. Beide Stoffe werden in den Schütteleluaten gegenüber der Referenzmethode des AE 2 EBV (Säulenversuch nach DIN 19528) z. T. deutlich überschätzt.

Tabelle 9.5 zeigt eine Auswertung der prozentualen Anteile der Limitierungen der Verwertungsquote in der RC-Klasse RC-1, Fußnote 3), also eine RC-Qualität, die im günstigen Fall Sand in allen umweltoffenen Bauweisen zulässig ist. Mit dieser Analyse wird verdeutlicht, dass insbesondere in den Datensätzen aus Süddeutschland Sulfat der hauptsächlich verwertungslimitierende Stoff ist, während Vanadium nur eine untergeordnete Rolle (eher PAK im Eluat) spielt. Bei einer Gesamtverwertungsquote von 60 – 70 % in dieser Klasse mit hohen Umwelanforderungen limitiert alleine Sulfat in 50 % der Fälle. Insbesondere bei den Datensätzen aus NRW (BRB I und II) wirkt neben Sulfat auch Vanadium besonders verwertungslimitierend.

An dieser Stelle muss betont werden, dass für diese Analyse die höheren Sulfatwerte gemäß Übergangsregelung bis 2020 zugrundegelegt wurden. Die Herabsetzung des Sulfatwertes ab 2020 würde hier zusätzlich limitieren. Vor diesem Hintergrund sind die in Tabelle 6.19 in Kapitel 6 (Anhang 6 dieser Bericht) gelisteten Perzentilverteilungen in *WF 2*-Eluaten von Bestandsbaustoffen. Diese zeigen hohe Sulfatpotentiale an. Basierend auf dieser fachlichen Grundlage kann abgeschätzt werden, dass die Zielwerte ab 2020 für Sulfat nach AE 2 EBV in der MantelV (BMU, 2011) die Verwertung von RC-Baustoffen auch zukünftig limitieren können, wenn eine technische Trennung sulfathaltiger Stoffanteile aus dem Materialstrom nicht verwirklicht werden kann.

Tab. 9.4: Verwertungsquoten von RC-Baustoffen nach AE2 EBV (BMU, 2011) in **Paralleldatensätzen mit dem Schütteleluat nach DIN 19529 (2009) ohne Berücksichtigung der neuen Materialwerte für PAK im Feststoff mit 10 mg/kg und Phenolindex im WF 2- Säulenkurzeluat mit 100 µg/L**: Prozentuale Zuordnung von RC-Baustoff-Proben zu Materialqualitäten von RC aufgrund der im Schütteleluat bei WF 2 ermittelten Konzentrationen für verschiedene Herkunftse der Proben. Werte in Klammern: resultierende Quoten bei Zugrundelegung des niedrigeren Materialwerts von Sulfat ab 2020 nach AE 2 EBV. RC-1: alle Bauweisen auf Sand außer unter Plattenbelägen/ungeb. Deckschichten zulässig; RC-1, Fußnote 3): auch Bauweisen unter Plattenbelägen/ungebundenen Deckschichten im günstigen Fall Sand zulässig. RC-1, Fußnote 2): alle Bauweisen auch im ungünstigen Fall zulässig.

Datensätze (vgl. Kap. 6.3.1, Tab. 6.11, Anh. 6)	Bemerkungen	Anzahl n []	RC-1, 2) [%]	RC-1, 3) [%]	RC-1 [%]	RC-2 [%]	RC-3 [%]
Ökoinstitut 2007	F&E-Säulentest (Vorläufer für DIN E 19528)	44	0	77(64)	77 (66)	100 (60)	100
LUBW 2008	DIN E 19528, alle Qualitäten auch außerhalb QRB	67	2	66 (66)	66 (66)	78 (67)	100
RC Bayern 2008	DIN E 19528	20	0	65 (65)	65 (65)	70 (65)	100
BRB I 2008	DIN E 19528, i.d.R. Z 1.1. Ma- terialien nach LAGA M 20, PAK nicht gemessen	30	13	77 (63)	77 (70)	97 (63)	100
LUBW 2009	DIN 19528, un- günstigste Quali- täten aus 2007/2008	34	20	56 (53)	59 (53)	65 (59)	100
BGRB 2009	keine Wertepaare						
BRB II 2009	DIN 19528 i.d.R. Z 1.1. Ma- terialien	44	9	82 (64)	82 (64)	96 (73)	100
FÜ Nordeutschland +Hessen 2009	keine Wertepaare						
QRB 2010	DIN 19528 alle Qualitäten auch > Z 1.1	28	0	57 (54)	61 (57)	82 (82)	100
Summe aus- wertbarer Pro- ben		319	7	71(63)	71 (65)	87 (70)	100

Tab. 9.5: Limitierende Stoffe und Stoffkombinationen in *WF* 2-Säulenkurzeluaten von RC-Baustoffen für die Verwertung in der Materialklasse RC-1, Fußnote 3) nach AE2 EBV (BMU, 2011) (alle umweltoffen Bauweisen auf Sand zulässig): Prozentuale Anteile der Limitierungen für verschiedene Datensätze

Datensätze (vgl. Kapitel 6, Tab. 6.11)	An- zahl []	Anzahl Limitier- ungen []	Sulfat [%]	Sulfat + Van- adium [%]	Van- adium [%]	PAK [%]	Sulfat + PAK [%]	Kupfer [%]
Ökoinstitut 2007	50	24	46	13	21	21	0	0
LUBW 2008	97	31	81	0	0	19	0	0
RC Bayern 2008	20	8	15	5	5	5	10	0
BRB I 2008	30	12	33	25	42	0	0	0
LUBW 2009	34	19	32	42	26	0	0	0
BRB II 2009	44	19	53	5	37	0	0	5
QRB 2010	28	10	50	0	0	40	0	10
alle Daten	319	124	52	13	19	13	2	2

9.1.2 Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA)

Tab. 9.6: Verwertungsquoten von Hausmüllverbrennungsaschen nach AE2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von HMVA-Proben zu Materialqualitäten von HMVA aufgrund der im Säuleneluat bis *WF* 2 bzw. im Schütteleluat bei *WF* 2 an Parallelproben ermittelten Konzentrationen. HMVA-1: zulässig in geschlossenen Bauweisen und in teildurchströmten Bauweisen (11b-13) im günstigen Fall Sand. HMVA-1, Fußnote 1): zulässig in teildurchströmten Bauweisen 11b-13 auch im ungünstigen Fall; Fußnote 2) zulässig in Hinterfüllungen und Dämmen im Böschungsbereich von Bauwerken (25K, 26K) bei Ausbildung einer Kapillarsperre im günstigen Fall Sand; Fußnote 3): 25K, 26K zulässig auch im ungünstigen Fall; HMVA-2: zulässig in geschlossenen Bauweisen und in STS (11a)

HMVA-1	HMVA-1, 1)	HMVA-1, 2)	HMVA-1, 3)	HMVA-2
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 46 (vgl. Tab. 6.21, in Kap. 6.4.1.1, Anh. 6)				
57%	22%	22%	7%	98%
Schütteleluat nach DIN 19529 (2009), n =40 (vgl. Tab. 6.21, in Kap. 6.4.1.1, Anh. 6)				
50%	22%	20%	5%	98%

9.1.3 Schmelzkammergranulat (SKG)

Schmelzkammergranulate können zu 100 % in allen Bauweisen verwendet werden (vgl. Tab. 6.25, in Kapitel 6.4.2.1, Anhang 6)

9.1.4 Steinkohlenkesselasche (SKA)

Tab. 9.7: Verwertungsquoten von Steinkohlenkesselaschen nach AE2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von SKA-Proben zu Materialqualitäten von SKA nach AE 2 EBV (BMU, 2011) aufgrund der im Säuleneluat bis *WF* 2 ermittelten Konzentrationen. SKA: zulässig in geschlossenen und in teildurchströmten Bauweisen (11b-13) auch im ungünstigen Fall; SKA, Fußnote 1): zulässig in Hinterfüllungen und Dämmen im Böschungsbereich von Bauwerken (25K, 26K) bei Ausbildung einer Kapillarsperre im günstigen Fall Sand; Fußnote 2): 25K, 26K zulässig auch im ungünstigen Fall

SKA	SKA, 1)	SKA, 2)
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 9 (vgl. Tab. 6.28, in Kap. 6.4.3.1, Anh. 6)		
100%	89%	56%

9.1.5 Steinkohleflugasche (SFA)

Steinkohleflugaschen sind zu 100 % in den geschlossenen Bauweisen verwertbar (vgl. Tab. 6.32, in Kap. 6.4.4.1, Anhang 6). Die Fußnotenregelung 1) zur Regelung der Zulässigkeit von SFA in den teildurchströmten Bauweisen 12 und 13 für den günstigen Fall Sand mit einem Materialwert für Molybdän von 400 µg/L ist nach aktueller Datenlage (vgl. Kapitel 6.4.4 Teil II) nicht erreichbar. Dennoch wurde der Bedarf gesehen (vgl. Branchengespräch vom 23.01.2009, Kapitel 1.1.2.4 Teil II dieser Bericht) diese Fußnote beizubehalten.

9.1.6 Braunkohlenflugaschen (BFA)

Tab. 9.8: Verwertungsquoten von Braunkohlenflugaschen nach AE 2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von BFA-Proben zu Materialqualitäten von BFA aufgrund der im Säuleneluat bis WF 2 bzw. im Schütteleluat bei WF 2 an Parallelproben ermittelten Konzentrationen. BFA: zulässig in geschlossenen Bauweisen und in teildurchströmten Bauweisen (11b-13) im günstigen Fall Sand. BFA Fußnote 1): zulässig in teildurchströmten Bauweisen 11b-13 auch im ungünstigen Fall.

BFA	BFA, 1)
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 11 (vgl. Tab. 6.36, in Kap. 6.4.5, Anh. 6)	
91% (1 Ausreißer bei Vanadium)	91% (1 Ausreißer bei Vanadium)
Schütteleluat nach DIN 19529 (2009), n = 7 (vgl. Tab. 6.36, in Kap. 6.4.5, Anh. 6)	
86%	86%

9.1.7 Gießereirestsande (GRS)

Nach den pH/DOC-Kriterien müssen 6 von 48 Proben aus der Verwertung ausgeschlossen und deponiert werden (vgl. Kapitel 6.5.1.3.2 in Anhang 6). 2 weitere Proben der pH/DOC-Kategorie II würden aufgrund extrem hoher Schwermetallausträge aus der Verwertung ausgeschlossen - insgesamt 17 % der Proben müssten demnach deponiert werden. Für die verbleibenden 83 % der Proben im Regelungsbereich der EBV werden in Tabelle 9.6 Verwertungsquoten angegeben. Die Limitierungen in den Fußnotenregelungen von GRS-1 sind zu 40 % alleine auf Überschreitungen des dort limitierenden Materialwertes von Fluorid zurückzuführen.

Tab. 9.9: Verwertungsquoten von Gießereirestsanden nach AE2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von GRS-Proben zu Materialqualitäten von GRS aufgrund der im Säuleneluat bis WF 2 bzw. im Schütteleluat bei WF 2 an Parallelproben ermittelten Konzentrationen. GRS-1: zulässig in geschlossenen Bauweisen und in teildurchströmten Bauweisen (11b-13) auch im ungünstigen Fall sowie in Hinterfüllungen, Dämmen und Schutzwällen bei Ausbildung einer Kapillarsperre (25-27); GRS-1 Fußnoten 3) und 4): zulässig in zuletzt genannten Bauweisen auch ohne Kapillarsperre; GRS-1, Fußnote 1): zulässig auch im offene Einbau im günstigen Fall Sand unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten; GRS-1 Fußnote 2) zulässig auch unter Plattenbelägen im günstigen Fall Sand.

GRS-1	GRS-1, 1)	GRS-1, 2)	GRS-1, 3) u. 4)	GRS-2	GRS-2, 1)	GRS-2, 2)
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 46 (vgl. Tab. 6.21, in Kap. 6.4.1.1, Anh. 6)						
46%	8%	8 %	8%	83%	83%	77
Schütteleluat nach DIN 19529 (2009), n =40 (vgl. Tab. 6.21, in Kap. 6.4.1.1, Anh. 6)						
25%	7%	7%	7%	71%	67%	42%

9.1.8 Gießereikupolofenschlacken (GKOS)

Tab. 9.10: Verwertungsquoten von Gießereikupolofenschlacken nach AE2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von GKOS-Proben zu Materialqualitäten von GKOS aufgrund der im Säuleneluat bis WF 2 bzw. im Schütteleluat bei WF 2 an Parallelproben ermittelten Konzentrationen. GKOS: zulässig in allen offenen Bauweisen auf Sand. Fußnote 1): zulässig in allen Einbauweisen auch im ungünstigen Fall.

GKOS	GKOS, 1)
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 7 (vgl. Tab. 6.47, in Kap. 6.5.2, Anh. 6)	
86%	71%
Schütteleluat nach DIN 19529 (2009), n =7 (vgl. Tab. 6.47, in Kap. 6.5.2, Anh. 6)	
100%	29%

9.2 Kupferhüttenmaterialien (CUM)

Wie schon in Kapitel 8 dargestellt überschätzt das Schüttelverfahren bei *WF 2* nach DIN 19529 gegenüber der Referenzmethode nach EBV (*WF 2*-Säulenkurzeluat nach DIN 19528) sehr stark die Konzentrationen von Antimon, Arsen, Kupfer und Molybdän im Eluat von CUM. Diese Abweichungen wirken sich stark auf die Verwertungsquoten aus. Während 39 % - 54% der untersuchten Proben nach Säulentestat den günstigen Klassen zugeordnet werden können, erreicht nach dem Schütteltestat nur ein Schlackengranulat die günstigen Klassen. 50 % der im Schütteluat bei *WF 2* untersuchten Proben müssten deponiert werden.

Tab. 9.11: Verwertungsquoten von Kupferhüttenschlacken nach AE2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von CUM-Proben zu Materialqualitäten von CUM aufgrund der im Säuleneluat bis *WF 2* bzw. im Schütteluat bei *WF 2* an Parallelproben ermittelten Konzentrationen. CUM-1: zulässig in allen offenen Bauweisen auf Sand und in Bauweisen 25 – 27 bei Ausbildung einer Kapillarsperre; CUM-2 zulässig in teildurchströmten Bauweisen 11b-13 auch für den ungünstigen Fall und in Bauweisen 25-27 bei Ausbildung einer Kapillarsperre im günstigen Fall Sand, Fußnote 1): zulässig in Bauweisen 25-27 bei Ausbildung einer Kapillarsperre auch im ungünstigen Fall. CUM-3: zulässig in geschlossenen und teildurchströmten Bauweisen 11-13 auch im ungünstigen Fall.

CUM-1	CUM-2	CUM-2, 1)	CUM-3
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 13 (vgl. Tab. 6.51, in Kap. 6.6.1, Anh. 6)			
39%	54%	54%	100%
Schütteluat nach DIN 19529 (2009), n =4 (vgl. Tab. 6.51, in Kap. 6.6.1, Anh. 6)			
25%	25%	25%	50%

9.3 Stahlwerksschlacken (SWS)

Das FEhS-Institut hat 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 Verwertungsquoten ermöglicht. Es ist allerdings zu beachten, dass die Repräsentativität der herkunftsbezogenen Einzeldatensätze aufgrund der unterschiedlichen Probenzahlen (teilweise nur 1 bis 2 Proben bis zu maximal 44 Proben pro Herkunft) sehr unterschiedlich sind. Nach Auskunft des FEhS-Instituts (Branchengespräch vom 15.05.2009), ist es in der betrieblichen Praxis bisher logistisch kaum möglich eine Trennung von Schlacken in unterschiedliche Qualitätsklassen durchzuführen. Laut FEhS-Institut bestimmt in der Güteüberwachungspraxis die Schlacke mit den höchsten Stoffkonzentrationen die zu erwartende Qualitätsklasse. Bei Konzentrationsschwankungen im Bereich unterschiedlicher Güteklassen wird demnach in der Regel der ungünstigeren Güteklasse zugeordnet. In der Konsequenz würden sich die in Tabelle 9.10 theoretisch abgeleiteten Verwertungsquoten hin zu den ungünstigeren Qualitätsklassen verschieben.

Für bestimmte Herkünfte wäre dann in der Güteüberwachungspraxis eine Trennung von Chargen nicht möglich und die Schlacke des Produzenten würde zu 100 % der ungünstigeren Klasse zugeordnet werden. Diese branchenspezifischen Informationen liegen dem Verordnungsgeber und dem Projektnehmer nicht vor.

Tabelle 9.11 zeigt zum Vergleich eine Berechnung von Verwertungsquoten nach folgender Vorgehensweise: wenn eine oder mehrere der Proben eines bestimmten Datensatzes einer ungünstigeren Klasse zugeordnet werden muss, wurden alle Proben der entsprechenden Herkunft in die ungünstigere Klasse umverteilt. Hierdurch verringern sich die Verwertungsquoten insbesondere bei EOS und weniger bei LDS. Da LDS mit hohen Jahrestonnagen in der Mittelung sehr stark ins Gewicht fallen, ändert sich die Gesamtstatistik nur moderat. Für einzelne Herkünfte und insbesondere EOS wäre nach dieser Vorgehensweise die günstige Klasse SWS- 1 allerdings nicht mehr erreichbar.

Tab. 9.12: Verwertungsquoten von Stahlwerksschlacken nach Mengenaufkommen (bezogen auf die Jahrestonnagen einzelner Herkunft) gewichtet gemittelt und unterschieden nach Schlackenarten, hier: **Annahme, dass eine Trennung von Schlackenchargen innerhalb eines Werks in unterschiedliche Materialklassen möglich ist:** Prozentuale Zuordnung von Schlacken-Proben zu SWS-Qualitäten aufgrund der im Säulenkurzeluat bis WF 2 bzw. Schütteleluat bei WF 2 ermittelten Konzentrationen. Die Verwertungsquoten sind separiert nach Schlackenart (EOS und LDS) und für den Gesamtdatensatz (SWS) angegeben. SWS-1: zulässig in offen Bauweisen unter Pflaster, Hinterfüllungen, Dämmen und Schutzwällen (15, 18, 20, 22, 24-27, auch ohne Ausbildung eines Kapillarsperreneffekts); SWS-1 Fußnoten 4): zulässig auch unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten (15, 17, 19, 21, 23); SWS-1 Fußnote 1), 2), 3): zulässig in allen offenen Bauweisen auch für den ungünstigen Fall (ohne Ausbildung eines Kapillarsperreneffekts); SWS-2: zulässig in teildurchströmten Bauweisen im günstigen Fall Sand (11-13) und in Hinterfüllungen, Dämmen, Wällen mit Ausbildung einer Kapillarsperre; SWS-2 Fußnote 1): zulässig in teildurchströmten Bauweisen auch im ungünstigen Fall (11-13). SWS-2 Fußnoten 2)-4): zulässig in den günstigen Fällen unter Pflaster und in Hinterfüllungen, Dämmen, Wällen i.d.R. ohne Ausbildung einer Kapillarsperre.

	SWS-1	SWS-1 Fußnoten 1-3	SWS-1 Fußno- te 4	SWS-2	SWS-2, Fußnote 1	SWS-2, Fußnote 2 u. 4	SWS-2, Fußno- te 3
Säuleneluat nach DIN 19528 n= 77 (vgl. Tab. 6.55, in Kap. 6.7.1.1, Anh. 6)							
EOS (ohne D höher- legiert)	21 %	0 %	0 %	90 %	72 %	21 %	51 %
LDS	99 %	86 %	99 %	100 %	99%	99 %	100 %
SWS	74 %	63 %	73 %	92 %	87 %	74 %	86 %
Schütteleluat nach DIN 19529 n= 72 (vgl. Tab. 6.55, in Kap. 6.7.1.1, Anh. 6)							
EOS (ohne D höher- legiert)	4 %	0 %	0 %	69%	33 %	4 %	22 %
LDS	96 %	95 %	96 %	99 %	99 %	99 %	99 %
SWS	71 %	71 %	71 %	89 %	81 %	73 %	78 %

Tab. 9.13: Verwertungsquoten von Stahlwerksschlacken nach Mengenaufkommen (bezogen auf die Jahrestonnagen einzelner Herkunft) gewichtet gemittelt und unterschieden nach Schlackenarten hier: **keine Trennung von Schlackenchargen innerhalb eines Werks möglich, Zuordnung von günstigeren Teilchargen zur jeweils ungünstigeren Materialklasse:** Prozentuale Zuordnung von Schlacken-Proben zu SWS-Qualitäten aufgrund der im Säulenkurzeluat bis WF 2 bzw. Schütteleluat bei WF 2 ermittelten Konzentrationen. Die Verwertungsquoten sind separiert nach Schlackenart (EOS und LDS) und für den Gesamtdatensatz (SWS) angegeben. SWS-1: zulässig in offen Bauweisen unter Pflaster, Hinterfüllungen, Dämmen und Schutzwällen (15, 18, 20, 22, 24-27, auch ohne Ausbildung eines Kapillarsperreneffekts); SWS-1 Fußnoten 4): zulässig auch unter Plattenbelägen oder unter ungebundenen Deckschichten (15, 17, 19, 21, 23); SWS-1 Fußnote 1), 2), 3): zulässig in allen offenen Bauweisen auch für den ungünstigen Fall (ohne Ausbildung eines Kapillarsperreneffekts); SWS-2: zulässig in teildurchströmten Bauweisen im günstigen Fall Sand (11-13) und in Hinterfüllungen, Dämmen, Wällen mit Ausbildung einer Kapillarsperre; SWS-2 Fußnote 1): zulässig in teildurchströmten Bauweisen auch im ungünstigen Fall (11-13). SWS-2 Fußnoten 2)-4): zulässig in den günstigen Fällen unter Pflaster und in Hinterfüllungen, Dämmen, Wällen i.d.R. ohne Ausbildung einer Kapillarsperre.

	SWS-1	SWS-1 Fußnoten 1-3	SWS-1 Fußno- te 4	SWS-2	SWS-2, Fußnote 1	SWS-2, Fußnote 2 u. 4	SWS-2, Fußno- te 3
Säuleneluat nach DIN 19528 (vgl. Tab. 6.55, in Kap. 6.7.1.1, Anh. 6)							
EOS (ohne D höher- legiert)	0 %	0 %	0 %	83 %	54 %	0 %	28 %
LDS	99 %	78 %	97 %	100 %	97 %	78 %	100 %
SWS	73 %	56 %	72 %	100 %	81 %	72 %	80 %
Schütteleluat nach DIN 19529 (vgl. Tab. 6.55, in Kap. 6.7.1.1, Anh. 6)							
EOS (ohne D höher- legiert)	0 %	0 %	0 %	69 %	23 %	0 %	18 %
LDS	96 %	84 %	84 %	99 %	97 %	78 %	97 %
SWS	71 %	62 %	62 %	97 %	77 %	72 %	77 %

9.4 Hüttensande

Hüttensande sind sowohl nach Säulen- als auch nach Schütteltestaten zu 100 % in der Materialklasse HS-1 in allen umweltoffenen Bauweisen im günstigen Fall Sand zulässig. Sowohl nach Säulentestat als auch nach Schütteltestat erreicht eine Probe von 21 Proben aufgrund zu hoher Vanadiumwerte nicht die Materialwerte der Fußnoten 1) bis 4) für den umweltoffenen Einbau im ungünstigen Fall. Für 3 Proben ergeben sich nach Säulentestat Limitierungen in den Bauweisen mit hohen Schichtmächtigen (Fußnoten 3) und 5) zur Regelung von Baugruben und Schutzwällen, Bauweisen 24 bis 27 ohne Kapillarsperre) aufgrund zu hoher Sulfatwerte. Diese Überschreitungen werden aufgrund einer tendenziellen Unterschätzung von Sulfat für 2 Proben mit dem Schütteltestat nicht erkannt.

9.5 Edelstahlschlacken

Edstahlschlacken werden in der Materialklasse EDS-1 zu 100 % durch den Materialwert von Fluorid limitiert (vgl. Kapitel 4.2.1.4 Teil II dieser Bericht zur medienenschutzbasierter Bewertung von Fluorid) und nachgeordnet durch Molybdän (66%). In den Klassen ab EDS-2 limitiert in erster Linie Molybdän.

Tab. 9.14: Verwertungsquoten von Edelstahlschlacken nach AE2 EBV (BMU, 2011): Prozentuale Zuordnung von EDS-Proben zu Materialqualitäten von EDS aufgrund der im Säuleneluat bis WF 2 ermittelten Konzentrationen. EDS-1: zulässig in allen offenen Bauweisen auf Sand; EDS-1 Fußnote 1) zulässig im umweltoffenen Einbau auch im ungünstigen Fall; EDS-2: zulässig in teildurchströmten Bauweisen 11b-13 auch für den ungünstigen Fall und in Bauweisen 25-27 bei Ausbildung einer Kapillarsperre im günstigen Fall Sand, EDS-2 Fußnote 1): zulässig in Bauweisen 25-27 bei Ausbildung einer Kapillarsperre auch im ungünstigen Fall; EDS-3: zulässig in geschlossenen; EDS-3 Fußnote 1): zulässig in teildurchströmten Bauweisen 11-13 im günstigen Fall; EDS-3 Fußnote 2): zulässig in teildurchströmten Bauweisen 11-13 auch im ungünstigen Fall.

EDS-1	EDS-1, 1)	EDS-2	EDS-2, 1)	EDS-3	EDS-3, 1)	EDS-3, 2)
Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), n = 12 (vgl. Tab. 6.60, in Kap.6.7.2.1, Anh. 6)						
0%	0%	50%	50%	100	67	58

10 Literatur

- Allen-King, R.M., Grathwohl, P., Ball, W.P., 2002. New modelling paradigms for the sorption of hydrophobic organic chemicals to heterogeneous carbonaceous matter in soils, sediments and rocks. *Advances in Water Resources* 25, 985– 1016.
- Alwast, H., Gäth, S., 2010. Berücksichtigung der Geringfügigkeitsschwellenwerte bei der Rechtssetzung und ihre Auswirkungen auf das Bauwesen.- Endbericht für das BMVBS
- Astrup, T., Rosenblad, C., Trapp, S., Christensen, TH., 2005. Chromium release from waste incineration air-pollution-control residues. *Environmental Science and Technology*, 39(9), 3321-3329.
- Bannick, C.G., Dehoust, G., Grathwohl, P., Kessler, H., Leuchs, W., Paetz, A., Pluta, H.-J., Susset, B., 2009. Verwertung von Bodenmaterial – Stand und Perspektiven. (Re-use of soil material – state of the art and perspectives; in German), In: Handbuch „Bodengefährdende Stoffe“, Litz, Wilcke, Wilke, 8. Ergänzungslieferung, 3 /2009.
- Beyer, C., Konrad, W., Rügner, H., Bauer, S., Park, C.H., Liedl, R., Grathwohl, P., 2007. Modellbasierte Sickerwasserprognose für die Verwertung von Recycling-Baustoff in technischen Bauwerken (Model-based prognosis of contaminant leaching for reuse of demolition waste in construction projects; in German). *Grundwasser* 12 (2), 94–107.
- Beyer, C., Konrad, W., Rügner, H., Bauer, S., Liedl, R., Grathwohl, P., 2008. Model-based prediction of long-term leaching of contaminants from secondary materials in road constructions and noise protection dams. *Waste Management* 29, 839-850. BGR-Studien, Duijnisveld et al., 2010
- BBodSchV, 1999. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 16. Juli 1999. (Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance; in German and English), Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999, Teil I Nr.36, 1554-1682. English version: <<http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/boden/bodenschutz/gesetze.htm>>.
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 16. Juli 1999.- Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr.36, S. 1554-1682.
- BGR, 2006: Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.3). Auszugskarten Acker, Grünland, Wald.- Digit. Archiv FISBo BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe); Hannover und Berlin
- BMU, 2007. 1. Arbeitsentwurf über eine Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 13.11.2007. (First Draft of the Federal Decree for the Regulation of the Use of Alternative Building Materials in Technical Constructions and for the Amendment of the Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance, in German). <http://www.avocado-law.com/fileadmin/avocado-law.de/downloads/Arbeitsentwurf_und_Begrundung_Artikelverordnung_13_11_07.pdf>.
- BMU, 2010. Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts. (Water Ressource Act; in German), amtliche Fassung vom 31. Juli 2009, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 51, ausgegeben am 6. August 2009. <<http://www.bgbl.de>>.
- BMU, 2011. 1. Arbeitsentwurf einer Mantelverordnung - Verordnung der Bundesregierung zur festlegung von Anforderungen für das einbringen und das Einleiten von Stoffen in das grundwasser, an den einbau von Erstzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodneähnlichem material vom 06.01.2011 (im Umlauf seit 17.01.2011).
- Bürger, M., Kocher, B., Marks, T., Hillmann, R., 2008. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung: Modellannahmen für Straßenbauwerke.- Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen vom Juli 2008.
- Chiou, C.T., Peters, L. J., Freed, V. H., 1979. A physical concept of soil-water equilibria for nonionic organic compounds. *Science*, 206, 11, S. 831-832.
- Dehoust, G., Küppers, P., Gebhardt, P., Rheinberger, U., Hermann, A., 2007. Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle.- Schlussbericht des Ökoinstituts zum gleichnamigen FuE-Vorhaben des UBA mit der FKZ 20433325, Dessau, 123 S. + 107 S. Anhang
- Delay, M., Lager, T., Schulz, H.D., Frimmel, F.H., 2007. Comparison of leaching tests to determine and quantify the release of inorganic contaminants in demolition waste. *Waste Management* 27, 248–255.

- Duijnisveld, W.H.M., Godbersen, L., Dilling, J., Gäbler, H.-E., Utermann, J., Klump, G., 2010. Hintergrundkonzentrationen von Spurenelementen in der 1001 Grundwasserneubildung in Norddeutschland (background concentrations of trace elements in groundwater recharge in Northern Germany; Report in German in preparation) <www.bgr.bund.de>.
- Dijkstra, J.J., Meeussen, J.C.L., Comans, R.N.J., 2004. Leaching of heavy metals from contaminated soils: an experimental and modelling study. *Environmental Science & Technology* 38, 4390-4395.
- Dijkstra, J., Van der Sloot, H.A., Spanka, G., Thielen, G., 2005. How to judge release of dangerous substances from construction products to soil and groundwater. Report Nr. ECN-C-05-045 of the Energy Research Centre of the Netherlands. <<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05045.pdf>>.
- Dijkstra, J.J., van der Sloot, H.A., Comans, R.N.J., 2006. The leaching of major and trace elements 420 from MSWI bottom ash as a function of pH and time. *Applied Geochemistry* 21, 335–351.
- Dijkstra, J., 2007. Development of a consistent geochemical modelling approach for leaching and reactive transport processes in contaminated materials. Dissertation, ISBN: 90-8504-607-6, Wageningen, University.
- DIN EN 12457-4, 2003. Charakterisierung von Abfällen – Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen – Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 L/kg und einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung (Characterization of Waste – Leaching; Compliance Test for Leaching of Granular and Sludges – Part 4: One Stage Batch Test at a Liquid to Solid Ratio of 10 L/kg With Particle Size Below 10 mm (Without or With Size Reduction). German Standardisation Organisation.
- DIN 38414-4, 1984. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (DWV S4) (German Standard Methods for the Examination of Water, Waste Water and Sludge; Sludge and Sediments (group S); Determination of Leachability by Water (S 4)). German Standardisation Organisation.
- DIN 19528, 2009. Elution von Feststoffen – Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von organischen und anorganischen Stoffen für Materialien mit einer Korngröße bis 32 mm – Grundlegende Charakterisierung mit einem ausführlichen Säulenversuch und Übereinstimmungsuntersuchung mit einem Säulenschnelltest (Leaching of solid materials – percolation method for the joint examination of the leaching behavior of organic and inorganic substances for materials with a particle size up to 32 mm – Basic characterization using an extensive column test and compliance test using a short-term column test). German Standardisation Organisation.
- DIN 19529, 2009. Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren mit einem Wasser/Feststoffverhältnis von 2 l/kg zur Untersuchung der Elution von anorganischen Stoffen für Materialien mit einer Korngröße bis 32 mm - Übereinstimmungsuntersuchung, Ausgabe Januar 2009. Beuth Verlag, Berlin
- Förstner, U., Grathwohl, P., 2007. Ingenieurgeochemie. (Engineering Geochemistry, in German), 2. neu bearbeitete Auflage, Springer, Heidelberg, Germany – darin enthalten: Susset, B., 2007. Materialien zur Sickerwasserprognose.
- Gäbler, H.E., Glüh, K., Bahr, A., Utermann, J., 2009. Quantification of vanadium adsorption by German soils, *Journal of Geochemical Exploration* 103 (2009) 37–44.
- Grathwohl, P., Susset, B., 2010. Reply to the comment by D. Guyonnet on “Comparison on percolation to batch and sequential leaching tests: Theory and data”. *Waste Management* 30, 1748-1751.
- Grathwohl, P., Susset, B., 2009. Comparison of percolation to batch and sequential leaching tests: theory and data. *Waste Management* 29, 2681–2688.
- Grathwohl, P., 2004. Gutachten zur Beschreibung von fachlichen Eckpunkten für die Festlegung von Zuordnungswerten der Einbauklasse 1.1 (Z 1.1) für organische Schadstoffe in mineralischen Abfällen. (Report on technical terms for the setting of limit values for the application class 1.1 (Z 1.1) for organic compounds in mineral waste; in German), Umweltbundesamt (Hrsg.) Texte 37/2004. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 36301047, UBA-FB 000721, Berlin, Germany.

- Grathwohl, P., Rahman, M., 2002. Partitioning and pore-filling: Solubility-normalized sorption isotherms of nonionic organic contaminants in soils and sediments.- Israel J. of Chemistry, 42, 67-75
- Grathwohl, P., Susset, B., 2001. Sickerwasserprognose für organische Schadstoffe: Grundlagen und Stand der Forschung. (Groundwater risk assessment for organic contaminants: Fundamentals and state of the art of research; in German), altlastenspektrum 6, 285-293.
- Grathwohl, P., van der Sloot, H., 2007. Groundwater Risk Assessment at Contaminated Sites (GRA-COS): Test Methods and Modelling Approaches. In Groundwater Science and Policy, Ed.: Quevauviller, P., RSC Publishing, Cambridge.
- Grathwohl, P., Liedl, R., Beyer, C. Konrad, W., 2006. Übertragung der Ergebnisse des BMBF – Fördereschwerpunktes Sickerwasserprognose“ auf repräsentative Fallbeispiele (Förderkennzeichen 02WP0517). (Transfer of the results of the BMBF research priority “groundwater risk assessment” on representative case studies (Grant 02WP0517); in German) Final Report, University of Tübingen, Germany. <<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb07/527536415.pdf>>.
- Grathwohl, P., 1999. Empirische Korrelation zur Sickerwasserprognose. Bodenschutz, 2/99, S. 44-47
- Grathwohl, P., 1998. Diffusion in Natural Porous Media: Contaminant Transport, Sorption/Desorption and Dissolution Kinetics. 224 S.; Kluwer Academic Publishers, Boston
- Grathwohl, P. (1990): Influence of organic matter from soils and sediments from various origins on the sorption of some chlorinated aliphatic hydrocarbons: Implications on Koc-correlations.- Environ. Sci. Technol., 24, (11): 1687-1693
- Gäth, S., Luckner, L., 2008. Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe“ von Susset & Leuchs, Februar 2008. Gutachten, <http://www.bvbaustoffe.de/root/img/pool/downloads/gaeth.pdf>.
- Hennings, V., 2000. Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden (Documentation of methods in soil science. Methods for evaluating the sensitivity and resilience of soils; in German). In: Geologisches Jahrbuch/ Sonderheft Reihe, G. (Ed.), second ed, vol. 1. Schweizerbart, Stuttgart, Germany.
- BBodSchG, 1998. Bundesbodenschutzgesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten, (Federal Soil Protection Act on Protection Against Harmful Changes to Soil and on Rehabilitation of Contaminated Sites; in German and English), <www.bmu.de>, English version: <<http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/boden/bodenschutz/gesetze.htm>>.
- Henzler R, Grathwohl P., 2007. Release of PAHs from solidified recycled construction materials and solid waste. Grundwasser 12 (4), 292-300.
- I den, S.C., Gronwald, N., Peters, A., Durner, W., 2006. Entwicklung eines Verfahrens zur Sickerwasserprognose am Beispiel schwerflüchtiger organischer Schadstoffe aus behandelten Böden. (Förderkennzeichen 02WP0299). (Development of a method for predicting the concentration of low volatile contaminants in water percolating the unsaturated zone (Grant 02WP0299); in German) Final Report, Technical University of Braunschweig, Braunschweig, Germany, <http://opac.tib.uni-hannover.de/DB=1/SET=4/TTL=5/MAT=/NOMAT=T/CLK?IKT=1016&TRM=aus>
- Kalbe, U., Berger, W., Simon, F.G., 2009. Praktische Aspekte der Anwendung von Elutionsverfahren nach DIN 19528 und DIN 19529. altlastenspektrum 1/2009
- Evaluation of leaching and extraction procedures for soil and waste. Waste Management 28, 1027–1038.
- Kalbe, U., Berger, W., Eckardt, J., Simon, F.G., 2008. Evaluation of leaching and extraction procedures for soil and waste. Waste Management 28, 1027–1038.
- Kalbe, U., Berger, W., Eckardt, J., Simon, F.G., Christoph, G., 2007. Results of interlaboratory comparisons of column percolation tests. Journal of Hazardous Materials 148, 714–720.
- Karickhoff, S., Brown, D., Scott, T., 1979. Sorption of hydrophobic pollutant on natural sediments. Wat. Res., 13, S. 241-248.
- Kleineidam, S., Rügner, H., Ligouis, B., Grathwohl, P., 1999a. Organic matter facies and equilibrium sorption of phenanthrene. Environ. Sci. Tech. 33 (10), S. 1637–1644
- Kleineidam, S., Rügner, H., Grathwohl, P., 1999b. Impact of grain scale heterogeneity on slow sorption kinetics. Environ. Tox. Chem. 18 (8), S. 1673–1678.

- LAGA, 2004b. Eckpunkte www.laga-online.de
- LAWA, 2004. Geringfügigkeitsschwellen (Prüfwerte) zur Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, www.lawa.de.
- LAWA, 2002. Grundsätze des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, www.lawa.de.
- LAGA, 1997. Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Nr. 20., www.laga-online.de.
- Liedl, R., Grathwohl, P., Halm, D., Bold, S., Madlener, I., Amankwah, E., A., 2006. Entwicklung und Validierung eines Modells zur Abschätzung der Stoffkonzentration am Beurteilungsort – Teil 1: Bestimmung der Retardation unter Nichtgleichgewichtsbedingungen (Förderkennzeichen 02WP0198). (Development and validation of a model for the assessment of concentrations of substances at the point of compliance – part 1: Determination of the retardation under non-equilibrium conditions (Grant 02WP0198); in German) Final Report, University of Tübingen, Germany. <<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb07/527536415l.pdf>>.
- Lidelöw, S., Grandjean, M., 2009. Potential for acid leachate formation from air-cooled blast-furnace slag used in road construction. conference proceedings, Wascon 2009.
- López Meza, S., Kalbe, U., Berger, W., Simon, F.-G., 2010. Effect of contact time on the release of contaminants from granular waste materials during column leaching experiments. Waste Management (2009), doi:10.1016/j.wasman.2009.11.022.
- Maier, U., Beyer, Ch., Susset, B., Grathwohl, P., 2008. Modelling of solute mass transfer across the capillary fringe.- GQ07: Securing Groundwater Quality in Urban and Industrial Environments (Proc. 6th International Groundwater Quality Conference held in Fremantle, Western Australia, 2–7 December 2007). IAHS Publ., 2008.
- RAS-Ew, 2005. Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Entwässerung (RAS-Ew).- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf / Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Köln, 80 S.
- Reinstorf, F., Susset, B., Marre, D., Grathwohl, P., Walther, W., 2001. Modelle zur Sickerwasserprognose. Bodenschutz, 1-01, 18-24.
- RuA-Stb, E 2004. Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau. Entwurf einer Weiterentwicklung der RuA-StB 01, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Mineralstoffe im Straßenbau, FGSV-Verl. Ausg. 2001, Köln, FGSV 642, 24 S.
- Rügner, H., Henzler, R., Grathwohl, P., 2005. Beurteilung der Empfindlichkeit der Filter- und Pufferfunktion von Böden (i.B. Unterböden) nach Maßstäben des vorsorgenden Bodenschutzes für organische Schadstoffe. Abschlussbericht der Universität Tübingen, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften zum Projekt: „LABO 2003 B 2.03“ (Programm: "Wasser und Boden" 2002 der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz)
- Seth, R., Mackay, D., Muncke, J., 1999. Estimating of organic carbon partition coefficient and its variability for hydrophobic chemicals. Environ. Sci. Technol. 33 (14), S. 2390-2394
- SOILPROP, 1990. A program to estimate soil hydraulic properties from particle size distribution data COPYRIGHT 1990 Version 2.1 Environmental Systems and Technologies. Inc. P.O. Box 10457, Virginia 24062-0457 (703) 552-0685).
- Stieber, M., Kraßnitzer, S., dos Santos Coutinho, C., Tiehm, A., 2006. Untersuchung der Bedeutung des mikrobiellen Abbaus für den Transport persistenter organischer Schadstoffe in der ungesättigten Zone (Förderkennzeichen 02WP0515). (Analysis of the relevance of microbial degradation for the transport of persistent organic contaminants in the unsaturated zone (Grant 02WP0515); in German) Final Report, DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe, Germany. <<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb07/527534196.pdf>>.
- Sims, R. C. & Overcash, M. R., 1983. Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil-plant systems. Residue Rev., 88: 68 S.; New York (Springer).
- Susset, B., Grathwohl, P., 2011. Leaching standards for mineral recycling materials – A harmonized regulatory concept for the upcoming German Recycling Decree. Waste Management Waste Management, doi:10.1016/j.wasman.2010.08.017.
- Susset, B., Maier, U., Grathwohl, P., 2010. Numerische Modellierung der Durchströmung von Bahnbauweisen der Deutschen Bahn AG und Bewertung der Qualitäten von Gleisschottern und

- anderen relevanten mineralischen Ersatzbaustoffen zur Ableitung von medianschutzbasierten Einbauwerten und von zulässigen Einbauweisen auf der Grundlage des Fachkonzepts des Umweltbundesamtes für den Zweiten Arbeitsentwurf der ErsatzbaustoffV. unveröffentlichter Schlussbericht des ZAG für die Deutsche Bahn AG zur Abstimmung mit dem Auftraggeber vom 21.05.2010.
- Susset, B., 2010a. Bewertung der Umweltrelevanz von dünn-schichtigen Bauweisen mit Ziegelmateri-
alien – Tennendecken- und Substratbau. Gutachten für den Bundesverband der Deutschen
Ziegelindustrie, wurde dem BMU vorgelegt.
- Susset, B., 2010b. Beurteilung der Umweltrelevanz von dünn-schichtigen Bauweisen mit Ziegelmehlen
im Tennendeckenbau - Entwicklung von Typfunktionen zur Beschreibung des Stofffreiset-
zungs- und Emissionsverhaltens; - Praxisszenarien des Stofffreisetzungs- und Emissionsver-
haltens von Vormauer- und Dachziegelprodukten im Tennendeckenbau; Vergleichende
Frachtbetrachtungen Tennendeckenbau versus Straßenbau.- Gutachten für den Bundesverband
der Deutschen Ziegelindustrie, wurde dem BMU vorgelegt.
- Susset, B., 2010c. Begutachtung der Qualität von Edelstahlschlacken hinsichtlich umweltrelevanter
Merkmale und der Verwertungsmöglichkeiten nach UBA-Fachkonzept unter Berücksichtigung
der aktuellen Weiterentwicklungen für den 2. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung.
Gutachten für den Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, wurde dem BMU vorgelegt.
- Susset, B., 2009. Begutachtung der Qualität von sortenreinen Ziegelsplitten und RC-Ziegel-
Gemischen hinsichtlich umweltrelevanter Merkmale und der Verwertungsmöglichkeiten nach
UBA-Fachkonzept unter Berücksichtigung der Weiterentwicklungen für den AE 2 EBV.- Gut-
achten für den Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, wurde dem BMU vorgelegt.
- Susset, B., Grathwohl, P., 2008. Stellungnahme zum Gutachten von Gäth & Luckner zur wissen-
schaftlichen Bewertung des UBA-Abschlussberichts „Ableitung von Materialwerten im Eluat
und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe“ von Susset & Leuchs, Februar 2008,
veröffentlicht im Rahmen von Vortragsunterlagen zum 9. RC-Tag des ISTE/QRB in Ostfildern,
www.grb.de.
- Susset, B., 2008. Evaluierung von Kupferhüttenschlacken (Kupferhüttengranulat, Kupferhüttenstück-
schlacken sowie deren Gemische) zur Abschätzung der Verwertbarkeit nach UBA-
Ableitungssystematik. Gutachten, wurde dem BMU vorgelegt.
- Susset, B., Leuchs, W., 2008a. Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes Sickerwasserpro-
gnose in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden - Ableitung von Materialwer-
ten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe (Förderkennzeichen
UFOPLAN 20574251). (Transfer of results of the joint research BMBF-project „Sickerwasser-
prognose“ into concrete proposals for the harmonization of methods -Derivation of leaching
standards and recycling possibilities of mineral waste materials (Grant UFOPLAN 20574251);
in German) Final Report, North Rhine Westphalian State Office for Nature, Environment and
Consumer Protection (LANUV NRW), Recklinghausen, Germany.
<<http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/publikationen/ersatzstoffe.pdf>>.
- Susset, B., Leuchs, W., 2008b. Stofffreisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen und Böden - Er-
mittlung der Quellstärke-Entwicklung und des Rückhalte- und/oder Abbaupotentials mittels
Freilandlysimetern und Laborelutionsmethoden (Förderkennzeichen 02WP0286). (Contami-
nant release of mineral waste materials – Evaluation of release dynamics and the natural at-
tenuation potential based on field lysimeters and laboratory leaching tests (Grant 02WP0286);
in German) Final Report, North Rhine Westphalian State Office for Nature, Environment and
Consumer Protection (LANUV NRW), Recklinghausen, Germany. <[http://edok01.tib.uni-
hannover.de/edoks/e01fb09/58960421X.pdf](http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb09/58960421X.pdf)>.
- Susset B., 2004. Materialuntersuchungen und Modellierungen zur Unterscheidung Ungleich-
gewicht/Gleichgewicht in Säulenversuchen zur Sickerwasserprognose für organische Schad-
stoffe. (Material investigations and modelling for the distinction between non-
equilibrium/equilibrium in column percolation test for ground water risk assessment of organic
contaminants; in German) Dissertation, Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten TGA 74, Uni-
versity of Tübingen, Germany.
- Thiem, A., Stieber, M., 2005. Projektverbund: Entwicklung und Validierung eines Modells zur
Abschätzung der Stoffkonzentration am Beurteilungsort, Teilprojekt 4: Untersuchung der Be-
deutung des mikrobiellen Abbaus für den Transport persistenter organischer Schadstoffe in
der ungesättigten Zone: Abschlussbericht des DVGW-Technologiezentrums Wasser (TZW),
Karlsruhe, zum Teilprojekt 02WP0201 im BMBF- F&E-Vorhaben „Sickerwasserprognose“,

- vorgelegt beim Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE), Koordination: Heinrich-Sontheimer-Laboratorium für Wassertechnologie (HSL) im Technologiezentrum Wasser (TZW), 51 S., Technische Informationsbibliothek, Universitätsbibliothek Hannover (TIB/UB), <http://www.tib.uni-hannover.de>.
- Thiem, A., Stieber, M., Brost, I., Kraßnitzer, S., 2006. Untersuchung der Bedeutung des mikrobiellen Abbaus für den Transport persistenter organischer Schadstoffe in der ungesättigten Zone, Teilvorhaben 4 im Projektverbund: Entwicklung und Validierung eines Modells zur Abschätzung der Stoffkonzentration am Beurteilungsort (Förderkennzeichen 02WP0515). (Investigation of the impact of microbiological degradation on the transport of persistent organic contaminants in the unsaturated zone, subproject 4 within the joint project: Development and validation of a model for the assessment of concentrations of substances at the point of compliance (Grant 02W0515; in German) Final Report, DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe, Germany. <<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb07/527534196.pdf>>.
- Utermann, J., Fuchs, M. 2010. Hintergrundkonzentrationen für Spurenelemente in der Bodenlösung auf der Basis eines wässrigen Eluates bei einem Wasser-Feststoffverhältnis von 2:1 (DIN 19529), (Background concentrations for trace elements in the soil solution on the basis of an aqueous eluate at a liquid- to solid-ratio of 2:1 (DIN 19529); in German) Report in preparation, <www.bgr.bund.de>.
- Utermann, J., Meyenburg, G., Altfelder, S., Gäbler, H., K., Duijnsveld, W., Bahr, A. Streck, T., 2005. Entwicklung eines Verfahrens zur Quantifizierung von Stoffkonzentrationen im Sickerwasser auf der Grundlage chemischer und physikalischer Pedotransferfunktionen (Förderkennzeichen 02WP0206). (Development of a procedure to quantify concentrations of substances in percolating soil water making use of chemical and physical pedotransfer functions (Grant 02WP0206; in German) Final Report, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Germany. <<http://opac.tib.uni-hannover.de/DB=1/SET=16/TTL=1/SHW?FRST=3>>.
- Van der Sloot, H.A., Susset, B., Hjelmar, O., Kalbe, U., Mehu, J., Galen, J., Chateau, L., Schnuriger, B., Kosson, D. S., Garrabrants, A., Steketee, J., Sakanakura, H., Nielsen, P., Lewin, K., Hyks, J., Guyonnet, D., Keren, R., Bendz, D., Suer, P., van Gerven, T., 2010. Evaluation of ruggedness testing needs for the percolation test, pH dependence leaching test and monolith leaching test based on existing information. 7th Draft of an internal report of the European Standardisation Organisation CEN/TC 292/WG 2 and 6.
- Van der Sloot, H.A., Dijkstra, J., Hjelmar, O., Spanka, G., Bluyssen, P., Giselsson, S., 2008. Evaluation of a horizontal approach to assess the possible release of dangerous substances from construction products in support of requirements from the construction products directive. Report Nr. ECN-E--08-089 of the Energy Research Centre of the Netherlands. <<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2008/e08089.pdf>>.
- Van der Sloot, H.A., 2002. Harmonisation of leaching/extraction procedures for sludge, compost, soil and sediment analyses. In: "Single and Sequential Extraction Procedures for Soil and Sediment Fractionation Studies" by Ph. Quevauviller (Editor), 2002, Royal Society of Chemistry, 142-174.
- Van der Sloot, H. A., Heasman, L., Quevallier, Ph., 1997. Harmonization of leaching/extraction tests. Studies in Environmental Science 70, 292 pp.
- Wahlström, M., Laine-Ylijokib, J., Määttänen, A., Luotojärvic, T, Kivekäs, L., 2000. Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions. Waste Management 20, 225-232.
- ZTV T-StB 95, 2002. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1955 / Fassung 2002, Köln, 126 S.