EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE
FAKULTÄT
Fachbereich Geowissenschaften

Zentrum für Angewandte Geowissenschaften/Hydrogeochemie

„Probenahme- und Analysenkampagne zur Verifizierung der Auswirkungen der Novellierung der Bundesbodenschutzverordnung auf die Verteilung der jährlich 25 Mio. Tonnen Bodenaushub in Baden-Württemberg“ – Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Akz.: AZ_25-8973.10

Abschlussbericht November 2017

von Bernd Susset[1], Peter Grathwohl[1], Jan Herrmann[2], Hans Albrich[3]

1: Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG)

2: Institut für Baustoffprüfung und Umwelttechnik GmbH (IBE)

3: Gewerbliches Institut für Umweltanalytik GmbH (GIU)

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

INSTITUT FÜR BAUSTOFFPRÜFUNG UND UMWELTTECHNIK GMBH

G I U
Gewerbliches Institut für
Umweltanalytik GmbH

Kurzbeschreibung

Die Bundesregierung hat am 03. Mai 2017 der Kabinettsfassung der Mantelverordnung (MantelV) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zugestimmt. Die darin in Artikel 2 enthaltende Novelle der Bundes Bodenschutzverordnung (BBodSchV) regelt erstmals bundeseinheitlich unter anderem die Verwertung von Bodenmaterial unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht in Abgrabungen (Verfüllung) und zum Auf – oder Einbringen von Bodenmaterial zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht. Die darin in Artikel 1 enthaltende Ersatzbaustoffverordnung (EBV) regelt erstmals bundeseinheitlich den Einsatz von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken. Die MantelV wird im Falle eines Inkrafttretens die LAGA M 20 (1997), die LAGA TR Boden (2004) und Landesregelungen, wie in Baden-Württemberg die „Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial“ vom 14. März 2007 (VwV, 2007) und die „Vorläufigen Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial“ vom 13. April 2004, ablösen. Insbesondere für Bodenmaterialien stellt sich aufgrund der bisher lückenhaften und damit kaum repräsentativen Untersuchungslage, die Frage nach den Auswirkungen auf die Verwertung oder Beseitigung von Bodenmaterialien im Zusammenhang mit den neuen Grenzwertsetzungen sowie den neuen Laboruntersuchungsmethoden bei *WF* 2. Eine belastbare Folgeabschätzung für Bodenmaterialien in Baden-Württemberg fehlt bisher.

Vor diesem Hintergrund hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW) eine „Probenahme- und Analysenkampagne zur Verifizierung der Auswirkungen der Novellierung der Bundesbodenschutzverordnung auf die Verteilung der jährlich 25 Mio. Tonnen Bodenaushub in Baden-Württemberg“ beauftragt. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden 50 aus Baustellen und Aufschlüssen in Baden-Württemberg neu gewonnene Bodenmaterialproben sowie 59 Rückstellproben von Bodenaushubmaterial einer früheren Untersuchungskampagne der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg aus dem Jahr 2005 (ehemals LfU, heute LUBW, LfU 2005), nach den aktuellen und den mit der geplanten MantelV einzuführenden Laboruntersuchungsverfahren analysiert. Damit sollte ein konkreter Datensatz in Baden-Württemberg geschaffen werden, der den gesamten Materialstrom der Bodenaushubmaterialien in seinen unterschiedlichen Umwelt-Qualitäten möglichst repräsentativ abbilden soll. Auf dieser Basis sollen gesicherte Aussagen ermöglicht werden, wie sich die Grenzwertsetzung der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. der geplanten EBV auf die Klassifizierung von Bodenmaterialien im Vergleich zu den aktuell geltenden Zuordnungskriterien (Z-Klassen), insbesondere im Land Baden-Württemberg, auswirken könnte.

Von November 2016 bis Juni 2017 wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Entwicklung eines Probenahmekonzepts für vom UM BW vorausgewählte Probenahmestellen und Durchführung der Probenahmen.
- Materialcharakterisierung sowie Aufbereitung und Versand der Bodenproben an das geotechnische Labor und das chemische Labor, Lagerung von Rückstellproben für etwaige Anschlussuntersuchungen nach europäischen Elutionsnormen.
- Feststoffanalytik für die 50 neu beschafften Proben auf ein breites Stoffspektrum.
- Durchführung von *WF* 2- und *WF* 10-Schütteleluaten für alle 109 Proben.
- Durchführung von *WF* 2- Säulenkurzeluaten mit den 50 neu beschafften Proben und ausführliche Säulenversuche für alle 109 Proben.
- Analytik aller Eluate auf ein breites Stoffspektrum anorganischer und organischer Stoffe.
- Systematische und vergleichende Auswertung der materiellen Anforderungen aktueller und geplanter Regelwerke.
- Korrelationen der Messergebnisse der verschiedenen Laborelutionsverfahren und Vergleich mit den Zuordnungskriterien und Eluatwerten aktueller und geplanter Regelwerke zur Beurteilung der Einhaltbarkeit der materiellen Anforderungen und möglicher methodisch bedingter Unterschiede der Elutionsverfahren.
- Berichterstattung, Veröffentlichungen, Vorträge.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 6

Tabellenverzeichnis 15

1 Einleitung 19

1.1 Hintergrund und Veranlassung 19

1.2 Ziel der Untersuchungen 20

1.3 Aktuelle Datenlage zu mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterial in Baden-Württemberg und Deutschland 20

1.4 Möglichkeiten und Grenzen von Folgeabschätzungen 21

1.5 Konsortium, wissenschaftliche Anschlussfähigkeit, Zusammenarbeit mit anderen Stellen 22

1.6 Lösungsweg und Arbeitspakete 23

1.7 Struktur des Abschlussberichtes 23

2 Rechtliche und fachliche Grundlagen 25

2.1 Fachkonzept des UBA zur Ableitung von Grenzwerten für Bodenmaterial (BM) und Baggergut (BG) 25

2.2 Materielle Anforderungen an mineralische Ersatzbaustoffe und Bodenmaterialien nach geplanter Mantelverordnung, LAGA TR Boden und VwV Boden 29

2.2.1 Vergleich der materiellen Anforderungen an Z0-Material nach LAGA TR Boden 2004 und nach VwV Boden 2007 sowie an BM-0 bzw. BG-0 nach § 8 (2) der Novelle BBodSchV (Artikel 2, MantelV, 2017) 29

2.2.2 Vergleich der materiellen Anforderungen an Z0*-Material nach LAGA TR Boden 2004 und nach VwV Boden 2007 sowie an BM-0* bzw. BG-0* nach § 8 (3) der Novelle BBodSchV (Artikel 2 MantelV, 2017) 33

2.2.3 Vergleich der materiellen Anforderungen an Z0* III A-Material nach VwV Boden 2007 und an BM-0* bzw. BG-0* nach § 8 (5) der geplanten Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) 37

2.3 Laborverfahren zur Bewertung der Stofffreisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterialien 40

2.3.1 Elutionsverfahren 40

2.3.2 Eignung verschiedener Laborverfahren zur Bewertung von mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterialien im Rahmen der Mantelverordnung 41

2.3.3 Elutionsverfahren in Deutschland und Europa – Einsatzbereiche, technische Unterschiede 45

3 Material und Methoden 48

3.1 Probenbeschaffung 48

3.2 Methodik der Probenahme 48

3.3 Materialcharakterisierung im geotechnischen Labor 52

3.4 Probenvorbereitung für chemische Analysen 53

3.4.1 Herstellung von Teilproben für chemische Untersuchungen 53
3.4.2 Sieben 53
3.4.3 Brechen 53
3.4.4 Bestimmung von Wassergehalt und Korndichte der Materialproben 54
3.5 Säulen- und Schüttelversuche 54
3.6 Aufbereitung und Analyse der Eluate 55
3.7 Gesamtumfang der Laborversuche und Analytik 58
3.8 Methodik der Auswertung der Messergebnisse von Säulenversuchen für fachliche Fragestellungen 60
3.9 Beurteilung der Messergebnisse zur Einordnung nach VwV Boden 2007, LAGA TR Boden 2004 und Novelle BBodSchV 61
3.9.1 Graphische Auswertungen 62
3.9.2 Tabellarische Auswertungen 66
4 Ergebnisse der Laborexperimente und Materialklassifizierungen 69
4.1 Untersuchung der 59 Rückstellproben der LUBW 69
4.1.1 Materialcharakterisierung 69
4.1.2 Nachuntersuchung der 59 Rückstellproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach LAGA TR Boden 2004 72
4.1.3 Nachuntersuchung der 59 Rückstellproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach VwV Boden 2007 74
4.1.4 Untersuchung der 59 Rückstellproben im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV, 2017) 75
4.1.5 Untersuchung der LUBW-Proben im ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV) 77
4.1.6 Vergleich der Verwertungsquoten der 59 LUBW-Proben nach LAGA TR Boden (2004), VwV Boden (2007) und Novelle BBodSchV (MantelV 2017) 78
4.2 Untersuchung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien 81
4.2.1 Materialcharakterisierung 81
4.2.2 Untersuchungsergebnisse zur laborinternen Reproduzierbarkeit der Elutionsverfahren 85
4.2.3 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach LAGA TR Boden 2004 88
4.2.4 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach VwV Boden 2007 89
4.2.5 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV) 90

4.2.6 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 2- Säulenkurzeluat und im ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 (2009) und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV) 92

4.2.7 Vergleich der Verwertungsquoten der 50 neu beschafften Bodenproben nach LAGA TR Boden (2004), VwV Boden (2007) und Novelle BBodSchV (MantelV 2017) 94

5 Zusammenfassung und Ausblick 97

5.1 Einhaltbarkeit der materiellen Anforderungen 97

5.2 Vergleich der Messergebnisse verschiedener Laborelutionsverfahren 99

5.3 Ausblick - Folgeabschätzung und Sensitivität bestimmter materieller Regelungen 101

5.3.1 Folgeabschätzung für die geplante Novelle BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017 im Vergleich zum Status Quo in Baden-Württemberg: 101

5.3.2 Betrachtung der Konsequenzen verschiedener Randbedingungen im Einzelfall der geplanten Novelle BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017: 101

5.3.3 Sensitivität bestimmter materieller Regelungen 102

6 Quellenverzeichnis 104

7 Anhang 108

7.1 Teil I – Untersuchungsergebnisse für 59 Rückstellproben der LUBW 108

7.1.1 Nachuntersuchungen der 59 Rückstellproben in *WF* 10-Schütteleluaten nach DEV S 4 108

7.1.2 Untersuchung der 59 Rückstellproben in *WF* 2 – Schütteleluaten nach DIN 19529 (2012) 114

7.1.3 Untersuchung der 59 Rückstellproben der LUBW in Säuleneluaten nach DIN 19528 122

7.2 Teil II – Untersuchungsergebnisse für 50 neu beprobte Bodenmaterialien 130

7.2.1 Untersuchung von 50 neu beprobten Bodenmaterialien in *WF* 2 – Schütteleluaten nach DIN 19529 (2012) 130

7.2.2 Untersuchung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien in *WF* 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528 141

7.2.3 Untersuchung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien in ausführlichen Säulenversuchen nach DIN 19528 149

7.3 CD-Rom Anhang 157

7.3.1 Probenahmeprotokolle und Korngrößenverteilungen 157

7.3.2 Messdaten 59 Rückstellproben und 50 neu beschaffte Proben 157

7.3.3 Einstufung der Proben 157

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau von statischen Elutionsverfahren (Batchtests: Schütteltest, Trogverfahren, Bodensättigungsextrakt) und von dynamischen Elutionsverfahren (Säulenversuche, hierzu zählen auch Lysimeterversuche).....41

Abbildung 2: Probenahme, Herstellung von Laboratoriums- und Prüfproben, Probemassen. Verteilung der Teilproben: TP 1-3 für chemische Untersuchungen, TP 4 für Bodenansprache und Klassierung sowie TP 5 und 6 als Rückstellproben.....50

Abbildung 3: Probengewinnung am Beispiel eines Abraums eines Steinbruchs im Mittleren Muschelkalk, von links oben nach rechts unten: Entnahmestelle Abraum, beprobtes Bodenvolumen von ca. 50 Liter aus 65 Einzeleinstichen, Bildung von 6 aliquoten Teilproben durch fraktionierendes Teilen, verpackte und gekennzeichnete Teilproben 1 bis 6. Eigene Fotographien der IBE GmbH.....51

Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Probenbehandlung für die Ermittlung der Kornverteilung mittels Sieb-/Schlämmanalyse.....52

Abbildung 5: Probenteilung mit Riffelteiler.....53

Abbildung 6: Zerkleinerung (Brechen) von Proben mit einem Backenbrecher.....53

Abbildung 7: Säulenversuchsaufbau im Labor. Eigene Fotographie des ZAG Tübingen.....54

Abbildung 8: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (vgl. LfU, 2005), hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Sulfat: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Blaue und grüne Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten.....63

Abbildung 9: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Sulfat: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend Grenzwertcharakter.....64

Abbildung 10: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Kupfer: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....65

Abbildung 11: Geologische Schulkarte Baden-Württemberg mit den angefahrenen 53 Bodenaushubdeponien (gelbe Vierecke) und den Herkunftsorten

der 59 Rückstellproben von Bodenaushubmaterialien (schwarze Punkte) aus LfU (2005). 71

Abbildung 12: Karte Baden-Württemberg mit Probenahmestellen der 50 neu beschafften Böden....84

Abbildung 13: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. 108

Abbildung 14: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Chlorid und Sulfat: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. 109

Abbildung 15: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. 110

Abbildung 16: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005), hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 111

Abbildung 17: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer und Nickel, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. 112

Abbildung 18: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer und Nickel, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 113

Abbildung 19: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte Z0/Z0* nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV

Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten.....114

Abbildung 20: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Chlorid und Sulfat: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend Grenzwertcharakter.....115

Abbildung 21: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Arsen und Blei: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10 --Eluaten und für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....116

Abbildung 22: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Cadmium und Chrom, (ges.): Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). 117

Abbildung 23: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer und Nickel: Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10 --Eluaten und für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....118

Abbildung 24: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Quecksilber und Thallium: Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10 --Eluaten und für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Kein Zuordnungswert für Thallium nach LAGA bzw. VwV in *WF* 10- Eluaten. 119

Abbildung 25: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4,

10/1984 (S4, zurückgezogen), Zink und Cyanide, (ges.): Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). 120

Abbildung 26: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.): Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Kein Zuordnungswert für PAK nach LAGA bzw. VwV in *WF* 10- Eluaten.....121

Abbildung 27: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten. 122

Abbildung 28: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Chlorid und Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. 123

Abbildung 29: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. 124

Abbildung 30: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 125

Abbildung 31: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Kupfer und Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten

Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....126

Abbildung 32: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 127

Abbildung 33: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.....128

Abbildung 34: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. 129

Abbildung 35: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), pH-Werte: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte Z0/Z0* nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Keine Orientierungswerte für pH nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten. 130

Abbildung 36: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte Z0/Z0* nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Keine Orientierungswerte für Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung der Maximalwerte.....131

Abbildung 37: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Chlorid . Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. Kein Materialwert für Chlorid. nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung der Maximalwerte.....132

Abbildung 38: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Bild unten: Skalierung zur Darstellung der Maximalwerte. 133

Abbildung 39: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten 134

Abbildung 40: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 135

Abbildung 41: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung von Maximalwerten. 136

Abbildung 42: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung von Maximalwerten. 137

Abbildung 43: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 138

Abbildung 44: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 139

Abbildung 45: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Σ 15 EPA PAK. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet)

bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung von Maximalwerten.....139

Abbildung 46: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. 140

Abbildung 47: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten. 141

Abbildung 48: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Chlorid und Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. Kein Materialwert für Chlorid. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. 142

Abbildung 49: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....143

Abbildung 50: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 144

Abbildung 51: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Kupfer und Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für

Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....145

Abbildung 52: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 146

Abbildung 53: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.....147

Abbildung 54: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. 148

Abbildung 55: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten. 149

Abbildung 56: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Chlorid und Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. 150

Abbildung 57: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....151

Abbildung 58: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 152

Abbildung 59: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Kupfer und Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....153

Abbildung 60: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 154

Abbildung 61: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. 155

Abbildung 62: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.....156

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der GFS-Werte 2016 mit den Hintergrundwerten (95. Perzentile) sowie Eluatwerten für gelöste Spurenelemente im *WF* 2 - Eluat (Proben mit < 0,5 Masse-% und ≥ 0,5 Masse-% TOC, Tabelle modifiziert aus Begründungstext zur Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017). 28

Tabelle 2: Vergleich der materiellen Anforderungen im Feststoffgehalt von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (2) der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. BM-0 und BG-0 nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) und Z0-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007. 31

Tabelle 3: Vergleich der materiellen Anforderungen im Eluat von Z0-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007. Für Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (2) der Novelle der BBodSchV bzw. BM-0 und BG-0 nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) sind keine Eluatuntersuchungen erforderlich. 32

Tabelle 4: Vergleich der materiellen Anforderungen im Feststoffgehalt von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (3) der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. BM-0* und BG-0* nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) und Z0*-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 34

Tabelle 5: Vergleich der materiellen Anforderungen im *WF* 2- Eluat von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (3) der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. BM-0* und BG-0* nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) und im *WF* 10-Eluat von Z0*-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007. 36

Tabelle 6: Vergleich der materiellen Anforderungen im Feststoffgehalt von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (5) der geplanten Novelle der BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV (2017) und Z0* III A-Materialien nach VwV Boden 2007. 38

Tabelle 7: Materielle Anforderungen im *WF* 10-Eluat von Z0* III A-Materialien nach VwV Boden 2007, keine Festlegungen im Eluat für BM-0* in empfindlichen Gebieten nach BBodSchV §8 (5) in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV 2017. 39

Tabelle 8: Vergleich gängiger Labormethoden zur Beurteilung der Umweltqualität, relevante DIN-Normen, Vor- und Nachteile und Umsetzung in der geplanten MantelV, Abkürzungen: EN: Eignungsnachweis, FÜ: Fremdüberwachung, WPK: werkseigene Produktionskontrolle, MW: Materialwert nach EBV. 43

Tabelle 9: Geplante Verwendung von Normen zur Elution von Materialien in bestehenden und geplanten Regelwerken in Deutschland und Europa. 47

Tabelle 10: Materialcharakterisierung: Geräte, Hersteller, Probentyp, Messverfahren 54

Tabelle 11: Analytik - Geräte, Normen, Nachweisgrenzen der untersuchten Analyten 57

Tabelle 12: Gesamtüberblick Untersuchungsmaterialien und Laboruntersuchungsumfang. 58

Tabelle 13: Überblick über Anzahl der Laborversuche und des Analytikumfanges. 59

Tabelle 14: Tabelle zur Auswertung von Anzahl und prozentualem Anteil der Bodenproben, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert des jeweiligen Parameters überschritten ist (Tabelle 9 aus LfU, 2005). 66

Tabelle 15: Auszug eines Excel-WS zur Auswertung der limitierenden Parameterkombinationen und Verwertungsquoten am Beispiel des neu erhobenen Datensatzes von 50 Bodenproben für die Klassifizierung BM-0* mit TOC nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV, 2017) 68

Tabelle 16: Zuordnung der 59 LUBW-Rückstellproben zu geologischen Formationen und Hauptbodenarten (aus LfU, 2005) 69

Tabelle 17: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach LAGA TR Boden 2004 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf Grundlage der Messungen der LUBW aus dem Jahre 2005 (vgl. Tabelle 9 in LfU, 2005) 73

Tabelle 18: Nachuntersuchung im *WF* 10-Eluat durch GIU GmbH: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach LAGA TR Boden 2004 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist. 73

Tabelle 19: Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach LAGA TR Boden 2004 ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 0,5 M.-%. Grün: Änderungen gegenüber Messungen der LUBW aus dem Jahr 2005 (vgl. LfU, 2005) aufgrund von Höherbefunden von Sulfat durch GIU GmbH in den Nachuntersuchungen von *WF* 10-Eluaten. 74

Tabelle 20: Nachuntersuchung im *WF* 10-Eluat durch GIU GmbH: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach VwV Boden 2007 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist. Grün: Änderungen gegenüber Bewertungen in LfU, 2005, die sich auf die LAGA TR Boden 2004 beziehen (aufgrund höherer zulässiger Sulfatkonzentrationen nach VwV Boden 2007). 74

Tabelle 21: Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007 (auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU, 2005 und der Nachuntersuchungen der GIU GmbH im *WF* 10-Eluat). 75

Tabelle 22: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der BM-0 bzw. BM-0*-Wert nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017) des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr

2005 in LfU, 2005 und der Messungen der GIU GmbH im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529). Grün: Änderungen gegenüber Bewertungen in LfU, 2005, die sich auf LAGA TR Boden 2004 beziehen (in erster Linie aufgrund abweichender Feststoffgrenzwerte nach Novelle BBodSchV). 76

Tabelle 23: Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Bodenmaterialklassen nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017) ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 1 M.-% (auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU, 2005 und der Messungen der GIU GmbH im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529). 77

Tabelle 24: Vergleich der kumulativen Verwertungsquoten der 59 LUBW-Proben nach LAGA TR Boden 2004, VwV Boden 2007 und geplanter Novelle BBodSchV (Kabinettsfassung MantelV, 2017) auf Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU (2005), der Nachuntersuchungen im *WF* 10-Schütteleluat und der Messungen im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und im Säuleneluat nach DIN 19528 (Messungen der GIU GmbH)....79

Tabelle 25: Zuordnung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien zu geologischen Formationen und zu Hauptbodenarten aufgrund der Analysen der Kornverteilungen. 81

Tabelle 26: Kenndaten der Reproduzierbarkeit der hier durchgeführten Elutionsverfahren, berechnet aus den Ergebnissen von Dreifachversuchsansätzen mit 10 % der Bodenproben. Abkürzungen: SV *WF* 2kum. berechnet: aus dem ausführlichen Säulenversuch berechnete kumulative Konzentration im *WF* 2-Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), Schütteltest *WF* 2: *WF* 2-Eluat nach DIN 19529 (2012), Schütteltest *WF* 10: *WF* 10-Eluat nach DIN 38414-4, 10/1984 2015-12-01 zurückgezogen. 86

Tabelle 27: Anzahl und prozentualer Anteil der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach LAGA TR Boden 2004 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH). 88

Tabelle 28: Verteilung der 50 neu beschafften Bodenproben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach LAGA TR Boden 2004 ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 0,5 M.-% (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH). 89

Tabelle 29: Anzahl und prozentualer Anteil der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach VwV Boden 2007 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH). 89

Tabelle 30: Verteilung der 50 neu beschafften Bodenproben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007 (auf der

Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH). 90

Tabelle 31: Anzahl und prozentualer Anteil der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen der BM-0 bzw. BM-0*-Wert nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017) des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 der GIU GmbH). 91

Tabelle 32: Verteilung der 50 neu beschafften Bodenproben auf die verschiedenen Bodenmaterialklassen nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017, auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 der GIU GmbH). 92

Tabelle 33: Vergleich der kumulativen Verwertungsquoten der 50 neu beschafften Bodenmaterialien nach LAGA TR Boden 2004, VwV Boden 2007 und geplanter Novelle BBodSchV (Kabinettsfassung der MantelV 2017) auf Grundlage der Feststoffanalysen und Messungen im *WF* 10-Schütteleluat, *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und Säuleneluat nach DIN 19528 der GIU GmbH) 95

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Veranlassung

Die Bundesregierung hat am 03. Mai 2017 der Kabinettsfassung der Mantelverordnung (Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, kurz: MantelV, 2017, www.bmub.bund.de) des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zugestimmt. Nach Zustimmung durch den Bundestag (Bundestagsdrucksache 18/12213) und Abschluss des EU-Notifizierungsverfahrens (EU-Not. 2017-176-D vom 03. Mai 2017, Stillhaltefrist endet am 07. August 2017) folgen ab September die Beratungen durch den Bundesrat. Im Einzelnen sollen in Artikel 1 die Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke (Ersatzbaustoffverordnung, EBV) eingeführt, in Artikel 2 die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 neu gefasst, in Artikel 3 eine Änderung der Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) und in Artikel 4 eine Änderung der Gewerbeabfallverordnung vorgenommen werden. Die Deponieverordnung wird geändert, um die Zuordnung von nach der EBV güteüberwachten und klassifizierten mineralischen Ersatzbaustoffen bzw. nach EBV oder BBodSchV klassifizierten Bodenmaterialien und Baggergut bestimmter Materialqualitäten, ohne weitere Analyse, auf die Deponie der Klasse 0 oder I (DK 0, DK I) zu ermöglichen. Hiermit soll, zumindest für den größten Teil des Materialstroms, das auch im Rahmen des so genannten Planspiels „MantelV" viel diskutierte Problem unterschiedlicher Bewertungsverfahren in der MantelV bei einem Wasser- zu Feststoffverhältnis (*WF*)[1] von 2 L/kg und in der DepV bei *WF* 10, was aufwändige Doppeluntersuchungen in der Verwertungs- und Entsorgungspraxis verursachen kann, gelöst werden. Für eine vollständige Auflösung des methodischen Bruchs zwischen MantelV und DepV wäre jedoch eine Anpassung der Grenzwertsysteme erforderlich. Hierfür könnten die Zuordnungskriterien der DepV an die Kriterien bei *WF* 2 aus der EU-Landfill-Directive angepasst werden. Im Zuge der Novelle der BBodSchV wird unter anderem die Verwertung von Bodenmaterial unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht in Abgrabungen (Verfüllung) und zum Auf – oder Einbringen von Bodenmaterial zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht bundeseinheitlich geregelt. Insbesondere für Bodenmaterialien stellt sich aufgrund der bisher lückenhaften und damit kaum repräsentativen Untersuchungslage die Frage nach den Auswirkungen der neuen Laboruntersuchungsmethoden bei *WF* 2 und der neuen Grenzwertsetzungen auf die Klassifizierung von Bodenmaterialien hinsichtlich deren Umweltqualität. Diese entscheidet über die Verwertbarkeit von Bodenaushubmaterial in Verfüllungen und technischen Einbauweisen und die zukünftige Marktfähigkeit. Eine aufgrund solider Datengrundlage belastbare Folgeabschätzung für Böden fehlt bisher, stellt aber eine ganz wesentliche Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Abschluss des Verordnungsverfahrens der MantelV dar.

Die MantelV wird im Falle eines Inkrafttretens die LAGA M 20 (1997), die LAGA TR Boden (2004) und Landesregelungen ablösen. In Baden-Württemberg werden dann die „Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial" vom 14. März 2007 (VwV, 2007) und die „Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial" vom 13. April 2004 durch die bundeseinheitliche Regelung abgelöst.

[1] 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 oder Verfüllungen: Verhältnis des innerhalb eines Zeitraums insgesamt durch den mineralischen Ersatzbaustoff oder das Bodenmaterial geströmten Sickerwassers (in Liter) zur Masse des mineralischen Ersatzbaustoffes in einer bestimmten Bauweise (in kg).

Vor diesem Hintergrund sah sich das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW) dazu veranlasst eine "Probenahme- und Analysenkampagne zur Verifizierung der Auswirkungen der Novellierung der Bundesbodenschutzverordnung auf die Verteilung der jährlich 25 Mio. Tonnen Bodenaushub in Baden-Württemberg" durchzuführen.

1.2 Ziel der Untersuchungen

Im Rahmen dieses Vorhabens sollten mindestens 50 Bodenmaterialproben aus Baustellen und Aufschlüssen in Baden-Württemberg nach den aktuellen und den mit der geplanten MantelV einzuführenden Probenahme- und Laboruntersuchungsverfahren gewonnen und analysiert werden. Zudem sollten 59 Rückstellproben aus einer Untersuchungskampagne der LUBW aus dem Jahr 2005 in Schütteleluaten DIN 19529 (2012, *WF* 2 – Schütteltest) untersucht werden. Im Falle einer ausreichenden Menge von Rückstellproben der LUBW sollten die 59 Rückstellproben nochmals mit dem alten Verfahren nach DIN 38414 (zurückgezogen, *WF* 10-Schütteltest) zum direkten Vergleich mit den Ergebnissen der LfU aus dem Jahr 2005 und mit dem Säulenversuch nach DIN 19528 (Referenzverfahren der MantelV) untersucht werden. Damit sollte ein konkreter Datensatz in Baden-Württemberg, der den gesamten Materialstrom der Bodenaushubmaterialien in seinen unterschiedlichen Umwelt-Qualitäten möglichst repräsentativ abbilden soll, gewonnen werden, um gesicherte Aussagen darüber zu erhalten, wie sich die Grenzwertsetzung der geplanten Novelle der BBodSchV und der EBV auf die Klassifizierung von Bodenmaterialien im Vergleich zu den bisherigen Zuordnungskriterien (Z-Klassen), insbesondere im Land Baden-Württemberg, auswirken könnte. Mit diesem Datensatz sollte die Voraussetzung für eine Folgeabschätzungen für die Verfüllung von Bodenmaterialien in Abgrabungen und die Verwertung von Bodenmaterialien in technischen Bauwerken in Baden-Württemberg geschaffen werden.

Auf Basis dieser Ergebnisse wird das Land Baden-Württemberg in die Lage versetzt, erforderlichenfalls Stellungnahmen zur MantelV oder Änderungseingaben für den Bundesrat vorzubereiten, um sich aktiv an der Novellierung der Bundesverordnung im Landesinteresse zu beteiligen.

1.3 Aktuelle Datenlage zu mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterial in Baden-Württemberg und Deutschland

Eine wesentliche Voraussetzung für möglichst realitätsnahe und aussagekräftige Folgenabschätzungen sind umfangreiche Messdaten zur Einschätzung der Materialqualität[2] der mineralischen Ersatzbaustoffe (MEB[3]) nach den neuen Untersuchungsmethoden, Untersuchungsumfängen und Grenzwerten (Material- bzw. Eluatwerte nach EBV bzw. BBodSchV). Optimal sind Vergleichsdatensätze für jede MEB-Probe, die an Parallelproben ermittelt werden. Die Parallelproben müssen sowohl nach derzeitiger Sachlage (*WF* 10-Schütteleluate, Feststoffgehalte und vollständige Untersuchungsumfänge nach LAGA und Ländererlass) als auch nach geplanter MantelV (*WF* 2- Eluate im Säulen- und Schütteleluat, Feststoffgehalte und entsprechende Untersuchungsumfänge nach MantelV) untersucht werden. Nur für solche Vergleichsdatensätze kann spezifisch für jede Einzelprobe beurteilt werden, wie sich die neuen Elutionsmethoden, Untersuchungsumfänge und Grenzwerte auf die Einstufung der Material-

[2] Materialqualität im Sinne der Umweltqualität, die auf der Grundlage von ggf. Feststoffgehalten und /oder Eluatwerten bestimmt wird. Die „Eluat-Qualität" eines mineralischen Ersatzbaustoffes, ist definiert durch die im *WF* 2-Eluat für die relevanten Substanzen ermittelten Konzentrationen. Diese sogenannten Materialwerte sind im Rahmen der rechtsverbindlichen Güteüberwachung im Säulenversuch nach DIN 19528 (oder gleichwertig im Schüttelversuche nach DIN 19529) zu untersuchen, um die Probe einer bestimmten Materialqualität bzw. Materialklasse zuordnen zu können.

[3] Anstelle von Primärrohstoffen verwendete Baustoffe aus industriellen Herstellungsprozessen oder aus Aufbereitungs-/Behandlungsanlagen (Abfälle, Produkte) wie z.B. Recyclingbaustoffe (Bauschutt), Bodenmaterial, Schlacken, Aschen, Gleisschotter.

qualität nach aktueller Sachlage (z.B. Z0-, Z0*-, Z0* IIIA-Boden) und nach Kabinettsfassung der MantelV (z. B. BM-0, BM-0* nach EBV bzw. Bodenmaterial nach §8(2), §8(3) Novelle BBodSchV) auswirken.

Für die MEB im Regelungsbereich der EBV liegen bis auf Bodenmaterial und Baggergut bundesweit weitestgehend valide und repräsentative Daten zu den relevanten Materialströmen nach den neuen Elutionsmethoden bei *WF* 2 vor (vgl. Ergebnisse des Planspiels in Bleher et al., 2017). In Baden-Württemberg hat das UM BW im Jahr 2015 eine „Probenahme- und Analysenkampagne zur Verifizierung der Auswirkungen der EBV auf den Einsatz von RC-Baustoffen in Baden-Württemberg“ durchgeführt (UM BW, 2015). Für Bauschuttproben von Baustellen und Recyclinganlagen in Baden-Württemberg können die Folgen der MantelV auf der Grundlage dieses in Deutschland einmaligen und vollständigen Datensatzes sehr gut abgeschätzt werden.

Für Bodenmaterial ist die Datengrundlage für die Abschätzung der Anteile zur Verwertung versus Beseitigung auf Basis neuer *WF* 2-Methoden noch vergleichsweise dünn. In Nordrhein-Westfalen wurde im Rahmen des „NRW-Monitoringprogramms zu den neuen Elutionsmethoden bei der Untersuchung von Bodenmaterial“ des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) für 18 Bodenmaterialien kein Einfluss der Methoden- und Grenzwertumstellung auf *WF* 2 auf die Einstufung nach LAGA TR Boden 2004 und nach dem damals vorliegenden Referentenentwurf der BBodSchV nachgewiesen. Die Bodenanalytik im Rahmen des Planspiels „MantelV“ (Bleher et al., 2017, www.bmub.bund.de) konnte die bundesweiten Datenlücken nicht vollständig schließen und insbesondere nicht auf die Landesspezifika eingehen. Aus diesem Grund hat das Umweltbundesamt (UBA) ein bundesweites „Monitoringprogramm zur Verwertung von Bodenmaterial gemäß Novelle BBodSchV“ (UFOPLAN FKZ 3716742030) aufgelegt. Das durchführende Bundesamt für Materiaprüfung (BAM) will hierzu 100 Bodenproben nach allen Prüfmethoden vergleichend untersuchen. Auch diese bundesweite Studie wird die Materialqualität des Massenstroms Boden in den einzelnen Bundesländern nicht repräsentativ erfassen können.

In Baden-Württemberg liegt die letzte Bodenuntersuchungskampagne schon länger zurück. Die damalige Landesanstalt für Umweltschutz (LfU, heutige Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, LUBW) hatte im Jahr 2005 „Analytische Untersuchungen von Bodenaushub in Baden-Württemberg“ durchgeführt. Hier konnten selbstverständlich noch keine *WF* 2- Untersuchungen berücksichtigt werden.

1.4 Möglichkeiten und Grenzen von Folgeabschätzungen

Selbst für die oben beschriebenen optimalen Vergleichsdatensätze mit Parallelproben von MEB gibt es Grenzen für die Folgeabschätzung: Eine Abschätzung der Verschiebungen eines Materialstroms ist auf der Grundlage von Messdatensätzen nur dann möglich, wenn die Auswahl der Proben und der Probenahmestellen geeignet und die Anzahl der Proben hoch genug sind, um die verschiedenen Materialqualitäten des gesamten Materialstroms repräsentativ zu erfassen. Auch dann bleibt noch das Problem des Qualitäts-Mengenbezuges: Wieviel Prozent bzw. welche Mengenanteile des gesamten Materialstroms wird durch welche Proben repräsentiert und hält welche Konzentrationen bzw. Zuordnungs-/ Materialwerte ein und kann damit bestimmten Zuordnungs-/ Materialklassen zugeordnet werden? Zur Beantwortung dieser Frage reicht es nicht aus, die verschiedenen Materialqualitäten eines Materialstromes genau zu kennen, sondern diese müssen auch Mengenanteilen zugeordnet werden können. Ein wesentliches Ergebnis des UBA-Projektes „Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle“ (Dehoust et al., 2008) ist, dass das mengenmäßige Aufkommen und der Verbleib verschiedener mineralischer Abfälle, Böden und industriellen Nebenprodukten für das Bezugsjahr 2003 sowie die Verwertungs- und Beseitigungsquoten nach aktueller Sachlage gut abgeschätzt werden können. Auch die statistische Analyse der Güteüberwachungsmessdaten ergab einen guten Überblick zu den einhaltbaren Zuordnungsklassen (z. B. Z 1, Z 2). Eine fachlich fundierte Aussage dazu, welche Mengen eines Materialstroms durch die Güteüberwachungsdaten repräsentiert werden und welche Teilströme be-

stimmten Zuordnungsklassen und Verwertungswegen zuzuordnen sind, war jedoch nach Dehoust et al. (2008) selbst für den IST-Zustand, also für die aktuelle Sachlage, nicht möglich.

Für die Abschätzung der Verteilung der Mengen eines Materialstroms auf bestimmte Materialklassen und Einbauweisen bzw. Verfüllmöglichkeiten nach Kabinettsfassung der MantelV gilt: Je heterogener ein Materialstrom ist (z. B. Bau- und Abbruchabfälle, Bodenmaterial), umso differenzierter muss die Auswahl der Probenahmestellen und umso höher die Anzahl der Proben sein. Für Bau- und Abbruchabfälle inklusive Bodenmaterial (Bodenmaterial aus Baugruben, Boden und Steine) ist eine allumfassende Beprobung und Analyse angesichts der Heterogenität dieses Stoffstroms nicht nur aus organisatorischen, sondern schon alleine aus finanziellen Gründen kaum möglich. Dagegen ist es für homogenere Stoffströme, wie zum Beispiel Schlacken aus bestimmten Produktionsprozessen durchaus realistisch, mit der Untersuchung von relativ wenigen Proben von mengenrelevanten Produktionsstandorten, eine gute Einschätzung der Verteilung der Mengen eines Materialstroms auf die Materialqualitäten und die zulässigen Einbauweisen nach Kabinettsfassung der MantelV zu erlangen. Denn für die Produktionsstandorte können in der Regel Messergebnisse bzw. Proben bestimmten jährlichen Produktionsmengen zugeordnet werden. Dann kann die Materialqualität auf die Produktionsmengen der Werke bezogen und eine gewichtet gemittelte prozentuale Verteilung des Materialstroms (z.B. Stahlwerksschlacken, vgl. Bleher et al., 2017) auf die verschiedenen Materialklassen nach geplanter MantelV berechnet werden. Solche Materialklassifizierungen (prozentuale Zuordnung von Proben aufgrund von Eluatkonzentrationen und ggf. Feststoffgehalten zu Materialklassen) sind eine wesentliche Grundlage von Folgeabschätzungen. Für die Abschätzung von Stoffstromverschiebungen spielen neben der Materialqualität aber weitere Kriterien, wie die Marktrelevanz der mit der Materialqualität verbundenen zulässigen Verwertungen in Verfüllungen und technischen Einbauweisen, Marktpotentiale, etc. eine wichtige Rolle (vgl. Folgeabschätzungen der Prognos AG in Bleher et al., 2017).

1.5 Konsortium, wissenschaftliche Anschlussfähigkeit, Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Grundvoraussetzung für eine erfolgsversprechende Bearbeitung dieses Vorhabens war eine wissenschaftlich fundierte, systematische und vergleichende Auswertung der Ergebnisse bis hin zu einer Korrelation zwischen den einzelnen Laborelutionsverfahren. Hierbei handelte es sich nicht um marktübliche Standardtätigkeiten im Bereich der Probenahme und der Laboruntersuchungen, sondern es waren neben den gängigen Akkreditierungen und Zulassungen der beteiligten Institute auch Erfahrungen in der Normung auf nationaler und internationaler Ebene und für die Auswertungen der Ergebnisse, weitreichende theoretische und experimentelle Kenntnisse erforderlich. Vor diesem Hintergrund wurde eine Bietergemeinschaft durch das UM BW beauftragt, die sowohl über die Erfahrungen aus der Praxis, als auch über die geforderten theoretisch-wissenschaftlichen Kenntnisse verfügt. Dies wird durch die Teilnahme akkreditierter und zugelassener Laboratorien und Prüfinstitute und der Universität Tübingen als federführende Institution gewährleistet. Alle Partner des Forschungskonsortiums arbeiten seit vielen Jahren in den einschlägigen Normungsgremien des DIN zu den Probenahme- und Elutionsmethoden mit und zeichnen sich durch das Innehaben des Amtes der Obmannschaft verschiedener Gremien und Arbeitskreise aus. Die Auswertung und Berichterstattung erfolgt durch die Entwickler des fachlichen Konzepts der geplanten ErsatzbaustoffV und der geplanten Novelle der BBodSchV (F&E-Projekte des BMBF, UBA und BMUB zur Entwicklung des Konzepts der MantelV, siehe Arbeiten des LANUV NRW und des ZAG Tübingen in u.a. Susset & Leuchs, 2011, Susset et al., 2011, Grathwohl & Susset, 2010). Damit wird eine optimale wissenschaftliche Anschlussfähigkeit des Projektes erreicht.

Durch die Beteiligung von DIN-Delegierten im CEN TC 351 WG 1 (Working Group 1 des technischen Komitees CEN/TC 351: Construction products – Assessment of release of dangerous substances) am beauftragten Konsortium wird eine Anschlussfähigkeit des Projekts an die Fragestellungen hergestellt, die im Rahmen der EU-Bauproduktenverordnung zu den für die CE-Kennzeichnung geplanten EU La-

boruntersuchungen (CEN TC 351, WG 1) und den Laboruntersuchungen unter der EU Waste Directive (CEN TC 444) aufkommen. Ausschreibungsgemäß wird deshalb die sechste Laboratoriumsprobe für weitere 24 Monate als Rückstellprobe aufbewahrt mit dem Ziel, erforderlichenfalls diese später vergleichend nach den im Rahmen der EU-Bauproduktenverordnung für die CE-Kennzeichnung und im Rahmen der EU Waste Directive geplanten EU-Laborversuchen (CEN TC 351, WG 1, CEN TS 16637-3, CEN TC 444, FprDIN 14405) untersuchen zu können. Der "EU-Säulenversuch" aus dem Bauproduktenrecht muss voraussichtlich im Rahmen der geplanten CE-Kennzeichnungspflicht von RC-Baustoffen und ggf. auch Bodenmaterialien zur Bestimmung der Umweltqualität durchgeführt und in das deutsche Recht (z.B. MantelV) übernommen werden. Aufgrund u.a. abweichender Probenvorbereitung für die "EU-Säulenversuche" können deutlich abweichende Konzentrationen resultieren. Hierzu führt das ZAG Tübingen derzeit ein UBA-Vorhaben zur „Evaluierung der Bewertungsverfahren im Kontext mit der Verwertung mineralischer Abfälle in/auf Böden, Teil I: Stofffreisetzungsverhalten mineralischer Abfälle" (Forschungskennzahl 371374228/1, Susset et al., im Druck) durch. Hier werden die methodischen Effekte und potentiellen rechtlichen Konsequenzen für RC-Baustoffe und Hausmüllverbrennungsaschen untersucht. Für Bodenmaterialien fehlen solche Erkenntnisse.

Zur Optimierung der Auswahl geeigneter Bodenaushubmaterialien für die Probenahme in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber und in enger Kooperation mit den in Baden-Württemberg zuständigen Verwaltungsbehörden wurde das Konsortium durch das Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg e.V. (QRB) und den Industrieverband Steine & Erden Baden-Württemberg e.V. (ISTE) unterstützt. Hierfür förderlich waren auch die bestehenden engen Kontakte der Bietergemeinschaft zu den zuständigen Verwaltungsbehörden, insbesondere dem UM BW und der LUBW aber auch zu den Vollzugsbehörden in Baden-Württemberg. Förderlich für den Wissenstransfer aus diesem Vorhaben an den Bundesverordnungsgeber und die fachpolitische Anschlussfähigkeit sind die bestehenden Kontakte der Bietergemeinschaft zum BMUB und dem UBA und den dortigen fachlichen Ansprechpartnern zur geplanten MantelV, insbesondere der geplanten Novelle der BBodSchV und EBV, welche auf einer langjährigen wissenschaftlichen Beratungstätigkeit des ZAG Tübingen für das BMUB und das UBA basieren. Das ZAG Tübingen ist über UBA-Forschungsprojekte zur fachlichen Begleitung des BMUB und des UBA eng in den Verordnungsprozess eingebunden.

1.6 Lösungsweg und Arbeitspakete

Unter Berücksichtigung der inhaltlichen Beschreibung des Auftrags und der besonderen Vertragsbedingungen des UM vom 02.06.2016 (AZ: 25-8973.10) wurde das Vorhaben in 4 Arbeitspakete gegliedert. Eckpunkte des Lösungsansatzes sind:

- Entwicklung eines Probenahmekonzepts für die vorausgewählten Probenahmestellen und Probenahme .
- Laborteil I: Materialcharakterisierung (u.a. Korngrößenverteilung), Aufbereitung und Versand an Partner-Laboratorien, Rückstellproben.
- Laborteil II: Feststoffgehalte und Schüttelversuchskampagne,
- Laborteil III: Säulenversuchskampagne,
- IV: Systematische, vergleichende Auswertung der Ergebnisse ggf. prozessbasierte Korrelation zwischen den einzelnen Laborelutionsverfahren
- Berichterstattung, Veröffentlichungen, Vorträge.

1.7 Struktur des Abschlussberichtes

Der Abschlussbericht gliedert sich entsprechend der Arbeitspakete des Forschungsvorhabens in drei wesentliche Teile.

In Kapitel 2 werden die für dieses Projekt relevanten Fachgrundlagen zur Ableitungssystematik von Eluatwerten zur Bewertung von Bodenmaterialien für die geplante Mantelverordnung (Kapitel 2.1)

dargestellt, die materiellen und sonstigen Randbedingungen verschiedener Regelungen verglichen (Kapitel 2.2) und die Elutionsverfahren (Kapitel 2.3) erläutert.

Im Material- und Methodenteil in Kapitel 3 werden die Probenbeschaffung, Probenaufbereitung und Materialcharakterisierung (Kapitel 3.1 bis 3.4), Säulen- und Schüttelversuche (Kapitel 3.5), Analytik- und Untersuchungsumfang (Kapitel 3.6 bis 3.7) sowie die Methodik der Auswertung von Säulenversuchen (Kapitel 3.8) und der Beurteilung von Messergebnissen (Kapitel 3.9) erläutert.

Kapitel 4 beschreibt alle Ergebnisse der Laborexperimente unterteilt in Kapitel 4.1 zu den separaten Auswertungen für die LUBW-Rückstellproben und Kapitel 4.2 zu den separaten Auswertungen für die 50 neu beschafften Bodenproben.

In den jeweiligen Kapiteln werden die Anzahl und prozentualen Anteile der 59 Bodenproben der LUBW und der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen Z0-/Z0*-Wert bzw. BM-0/BM-0* - Werte nach LAGA TR Boden 2004/VwV Boden 2007 und Novelle BBodSchV (MantelV 2017) des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten sind, ausgewertet. Weiter werden die Anzahl und die prozentualen Verteilungen der Bodenproben in verschiedenen Zuordnungs- und Materialklassen angegeben und abschließend die kumulativen Verwertungsquoten in verschiedenen Zuordnungs- und Materialklassen für die verschiedenen Regelungen und Elutionsmethoden verglichen.

In Kapitel 5 werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick gegeben. Dieser umfasst auch eine erste Folgenabschätzung der Novelle BBodSchV in der Kabinettsfassung vom 03. Mai 2017 für die Verwertung von Bodenmaterialien in Baden-Württemberg und eine Sensitivitätsanalyse von potentiellen gegenüber der Kabinettsfassung abweichenden Regelungen (zum Beispiel: Festlegung eines TOC- und/oder Sulfatwertes als Grenzwert, alle Eluatwerte als Grenzwerte).

2 Rechtliche und fachliche Grundlagen

In Kapitel 2.1 wird das Fachkonzept des UBA zur Ableitung von Grenzwerten für Bodenmaterial (BM) und Baggergut (BG) zur Verfüllung von Abgrabungen erläutert. Kapitel 2.2 vergleicht die materiellen Anforderungen an Bodenmaterial und Baggergut nach LAGA TR Boden 2004, VwV Boden 2007 und Novelle BBodSchV (Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017). Auf der Grundlage dieser systematischen Auswertungen sind bereits Aussagen zur Folgenabschätzung unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen ohne jegliche Messgrundlagen möglich. Für eine Folgenabschätzung bzgl. der Stoffstromverschiebungen von Bodenmaterial von Verfüllung in Richtung technische Bauwerke nach EBV oder in Richtung Beseitigung in Deponien nach DepV, sind weitere Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel Regelungen zur Untersuchungsfreiheit, zu Öffnungsklauseln, Anzeigepflichten und Standorteigenschaften relevant. Kapitel 2.3 erläutert die Funktionsweisen und Anwendungsbereiche sowie die Verfahrensunterschiede verschiedener Elutionsverfahren in Deutschland und Europa.

2.1 Fachkonzept des UBA zur Ableitung von Grenzwerten für Bodenmaterial (BM) und Baggergut (BG)

Mit der Novelle der BBodSchV werden erstmalig bundeseinheitlich die Art der Materialien, die Untersuchungsmethoden und die Werte geregelt, nach welchen Abgrabungen verfüllt werden dürfen.

Paradigmenwechsel von hohen (10 L/kg) zu niedrigen (2 L/kg) Wasser- zu Feststoffverhältnissen

Im Rahmen der geplanten MantelV (2017, Kabinettsfassung MantelV) wird eine über den Zeitraum bis *WF* 2[4] gemittelte Konzentration zur Bewertung einer Grundwassergefahr herangezogen und entsprechende Elutionsmethoden eingeführt. Die bis *WF* 2 kumulierte Konzentration stellt sich bei gängigen Bauweisen mittelfristig innerhalb bewertungsrelevanter Zeiträume (mehrere Jahre bis wenige Jahrzehnte) im Sickerwasser an der Unterkante des Materials ein. Im Gegensatz dazu repräsentiert der bisher gängige Schütteltest bei *WF* 10 Konzentrationen im Sickerwasser, die sich sehr langfristig einstellen (z.B. nach 240 Jahren bei einem Lärmschutzwall mit einer 4 m mächtigen Schicht aus Recyclingbaustoff mit einer Trockenraumdichte von 1800 kg/m^3 und einer Sickerwasserrate von 300 mm/Jahr; Grathwohl & Susset, 2009). Bei hohen *WF*, kann die Verdünnung von gut löslichen Substanzen mit limitierter (mobiler) Masse im Feststoff (z.B. Chlorid, 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 Boden- und Grundwassergefahrenpotentials. 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 (MEB) in technischen Bauwerken oder von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) in Verfüllungen wurde deshalb die gemittelte Konzentration nach mittelfristigen Zeiträumen (Jahre bis wenige Jahrzehnte) berücksichtigt. Eine niedrigere *WF*-Rate führt für einige Stoffe zu einer Aufkonzentrierung.

[4] Wasser- zu Feststoffverhältnis (*WF)*: 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).

Grundprinzip der materiellen Regelungen in der Novelle BBodSchV

Das Grundprinzip der materiellen Regelungen von Bodenmaterial und Baggergut in der Novelle der BBodSchV ist mit der LAGA TR Boden und Ländererlassen vergleichbar.

- In der Regel sind Bodenmaterial ohne Oberboden und Baggergut zulässig.
- Halten Materialien die einfachen bodenartspezifischen Vorsorgewerte ein, geht man auch von einer Einhaltung der Eluatwerte und von einer bedenkenlosen Verwendbarkeit aus.
- Es werden auch Materialien zugelassen, die die einfachen bodenartspezifischen Vorsorgewerte bis maximal zum doppelten Vorsorgewert für die Bodenart Lehm/Schluff überschreiten, wenn für die betroffenen Stoffe und Parameter festgestellt ist, dass die Eluatwerte eingehalten werden.

Unterschiede im Untersuchungsumfang und in den materiellen Anforderungen nach BBodSchV gegenüber LAGA TR Boden 2004 und VwV 2007 ergeben sich insbesondere dadurch, dass die Anwendungsregel der LAWA (2017) für den Anwendungsbereich Bodenschutzrecht / Abfallrecht – Vorsorge in der Novelle BBodSchV konsequent umgesetzt wird. Nach Kapitel 3.2 der „Grundsätze für die Anwendung der Geringfügigkeitsschwellenwerte“ (LAWA, 2017) gilt: “Bodenmaterial, das die Vorsorgewerte der BBodSchV einhält und bei dem kein Verdacht auf sonstige spezifische Verunreinigungen besteht, erfüllt neben den Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes auch die Anforderungen des vorsorgenden Grundwasserschutzes.“ Folglich werden nach Novelle BBodSchV mit der Ausnahme des Sulfatwertes

1. ausschließlich Untersuchungen von solchen Stoffen und Parametern im Eluat gefordert, für die ein Vorsorgewert existiert

   und

2. Untersuchungen im Eluat nur für solche Stoffe und Parameter gefordert und die Eluatwerte für die Einstufung als maßgebend festgelegt, wenn tatsächlich der jeweilige einfache Vorsorgewert bis maximal zum doppelten Vorsorgewert überschritten wird.

Im Gegensatz hierzu fordern die LAGA TR Boden 2004 und die VwV Boden 2007 stets die Untersuchung des *WF* 10-Eluates auf den pH-Wert, die elektrischen Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Cyanide ges. und den Phenolindex. Nach LAGA TR Boden werden oftmals (z. B. bei Vorliegen von Fremdbestandteilen, keine bodenartspezifische Zuordnung möglich, vgl. Kapitel 2.2.2, Tabelle 3, Fußnote 1) auch Untersuchungen auf Schwermetalle im Eluat und die Einhaltung entsprechender Zuordnungswerte erforderlich. Somit resultiert nach geplanter Novelle BBodSchV ein insgesamt deutlich reduzierter Untersuchungsumfang gegenüber der bisherigen Sachlage.

Zur Festlegung der Eluatwerte führt der Begründungstext zur Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017 (S. 114ff) aus:

„In Anlage 1 Tabelle 4 der BBodSchV sind die Feststoff- und Eluatwerte zur Beurteilung von Materialien für das Auf- oder Einbringen unterhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht gemäß § 8 (3) BBodSchV aufgeführt. Sie finden parameterspezifisch Anwendung, wenn die jeweiligen Vorsorgewerte in Anlage 1 Tabelle 1 oder 2 überschritten werden. Die Feststoffwerte für anorganische Schadstoffe entsprechen mit Ausnahme von Cadmium (Cd), Arsen (As) und Thallium (Tl) den doppelten Vorsorgewerten der Bodenartenhauptgruppe Lehm/Schluff. Die strengere Regelung für As, Cd und Tl (nur einfache Vorsorgewerte) begründet sich mit dem Erfordernis eines hinreichenden Werteabstandes zu Prüfwerten bei As und einer vergleichsweise hohen Bioverfügbarkeit, Ökotoxizität und Verlagerbarkeit bei Cd und Tl. Die Feststoffwerte für die organischen Schadstoffgruppen entsprechen den doppelten Vorsorgewerten für ≤ 4 Masse-% TOC (Anlage 1 Tabelle 2). Für die Fallgestaltung des Auf- oder Einbringens unterhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht gemäß § 8 Ab-

satz 3 BBodSchV wird zudem EOX als Screening-Parameter für eluierbare organische Halogene aufgenommen. Bei Überschreitung der Feststoffwerte für EOX ist das Bodenmaterial auf spezifische Belastungen hin zu untersuchen. Die *WF* 2- Eluatwerte in Anlage 1, Tabellen 4 und 5 sind im Falle der anorganischen Stoffe das Ergebnis eines Abgleichs der Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte nach LAWA, 2016) als wasserrechtlicher Bezugsmaßstab für Fragestellungen des vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutzes mit Hintergrundwerten in wässrigen Eluaten bei *WF* 2. Die Hintergrundwerte beruhen auf einer Untersuchung zu typischen Gehalten anorganischer Schadstoffe in wässrigen Eluaten von 879 Ober- und Unterbodenproben, die an 296 unbelasteten Monitoringstandorten unter land- und forstwirtschaftlicher Nutzung aus dem ländlichen Raum entnommen wurden (Utermann, 2011). Werden die 95. Perzentilwerte der Stichproben aus der Untersuchung zu typischen Schadstoffgehalten in wässrigen Eluaten im Sinne von Hintergrundwerten als obere Grenze des natürlicher Weise zu erwartenden Konzentrationsniveaus herangezogen, zeigen 11 von 14 ausgewerteten anorganischen Elementen (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Tl, V, Zn; anders Hg, Mo, Sb) zum Teil sehr deutliche Überschreitungen der GFS-Werte. Dabei kann nach heutigem Kenntnisstand grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass das Werteniveau für anorganische Stoffe in wässrigen Eluaten von unbelasteten Böden keine nachteilige Grundwasserveränderung hervorruft, siehe auch Kapitel 3.2 der zwischen den Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Bodenschutz (LABO), Wasser (LAWA) und Abfall (LAGA) konsentierten Anwendungsgrundsätze für die GFS-Werte. Unter dieser Annahme werden für die Untersuchung von Bodenmaterial methodenspezifische, also auf das wässrige Eluat bei *WF* 2 bezogene Eluatwerte festgelegt. Hierbei werden für die Stoffe, deren 95. Perzentilwerte kleiner als die GFS-Werte sind, die GFS-Werte übernommen, da hiermit ein Überschreiten der GFS-Werte am Ort der Beurteilung auszuschließen ist. Für diejenigen Stoffe, deren Hintergrundwerte oberhalb der GFS-Werte liegen, werden die 95. Perzentilwerte als Eluatwerte übernommen. Durch den Screening-Parameter Sulfat in Anlage 1 Tabelle 4 wird insbesondere sichergestellt, dass unerlaubte Beimischungen von Bauschuttbestandteilen, die optisch nicht von Bodenmaterial zu unterscheiden sind, auffallen. Dafür wird der GFS-Wert 2016 als Eluatwert übernommen, da für den Parameter Sulfat keine Daten zu Hintergrundwerten in wässrigen Eluaten bei *WF* 2 vorliegen."

Tabelle 1 vergleicht die GFS-Werte 2016 mit den Hintergrundwerten (95. Perzentile) sowie Eluatwerten für gelöste Spurenelemente im *WF* 2 – Eluat.

Tabelle 1: Vergleich der GFS-Werte 2016 mit den Hintergrundwerten (95. Perzentile) sowie Eluatwerten für gelöste Spurenelemente im *WF* 2 - Eluat (Proben mit < 0,5 Masse-% und ≥ 0,5 Masse-% TOC, Tabelle modifiziert aus Begründungstext zur Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017).

		< 0,5 Masse-% TOC		≥ 0,5 Masse-% TOC	
	GFS (LAWA, 2016)	95. Perz.	Eluatwert	95. Perz.	Eluatwert
	[µg L^{-1}]	[µg L^{-1}]	[µg L^{-1}]	[µg L^{-1}]	[µg L^{-1}]
Antimon	5	1,0	5	3,3	5
Arsen	3,2	7,3	8	13	13
Blei	1,2	22,3	23	42,8	43
Cadmium	0,3	2,0	2	3,7	4
Chrom ges.	3,4	9,9	10	18,2	19
Kobalt	2	25,7	26	61,4	62
Kupfer	5,4	18,8	20	40,3	41
Molybdän	35	2,3	35	9,0	35
Nickel	13	19	20	30,4	31
Quecksilber	0,1	0,03	0,1	0,03	0,1
Selen	3	4,9	5	5,0	5
Thallium	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Vanadium	4	19	20	34,6	35
Zink	60	94	100	208	210

2.2 Materielle Anforderungen an mineralische Ersatzbaustoffe und Bodenmaterialien nach geplanter Mantelverordnung, LAGA TR Boden und VwV Boden

Im Rahmen dieses Vorhabens wird die Einhaltbarkeit der materiellen Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Bodenmaterial (BM) und Baggergut (BG) unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht betrachtet, d.h. die Einhaltbarkeit der Werte nach Novelle BBodSchV im Feststoff und Eluat. Diese sind in Artikel 2 (Novelle BBodSchV) der MantelV (2017), §6 „Allgemeine Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien auf oder in den Boden“ und § 8 “Zusätzliche Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht“ in Verbindung mit Anlage 1, Tabelle 1 (Vorsorgewerte für anorganische Stoffe im Feststoff), Anlage 1, Tabelle 2 (Vorsorgewerte für organische Stoffe im Feststoff), Anlage 1, Tabelle 4 (Werte zur Beurteilung von Materialien für das Auf- oder Einbringen unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht, Feststoffwerte und Eluatwerte) und Anlage 1, Tabelle 5 (Werte für zusätzlich zu untersuchende Stoffe beim Auf- und Einbringen von Materialien mit mehr als 10 Volumenprozent mineralischer Fremdbestandteile unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht, Feststoffwerte und Eluatwerte) geregelt.

Identische materielle Anforderungen an BM-0, BM-0*, BG-0, BG-0* sind in Artikel 1 (EBV) der MantelV, 2017, in Anlage 1 in den Tabellen 3 (Materialwerte für Bodenmaterial und Baggergut) und 4 (Zusätzliche Materialwerte für spezifische Belastungsparameter von Bodenmaterial und Baggergut) übersichtlich zusammengestellt (Harmonisierung der materiellen Anforderungen an BM und BG zwischen EBV und BBodSchV).

Die folgenden Unterkapitel 2.2.1 und 2.2.2 vergleichen die materiellen Anforderungen an Z0- und Z0*-Bodenmaterial nach LAGA TR Boden 2004, nach VwV Boden 2007 und BM-0/BG-0 bzw. BM0*/BG-0* nach § 8 (2) und (3) der Novelle BBodSchV (MantelV, 2017).

Kapitel 2.2.3 vergleicht die materiellen Anforderungen an Z0* III A-Material nach VwV Boden 2007 und BM-0* bzw. BG-0* nach § 8 (5) der geplanten Novelle BBodSchV.

Möglicher Untersuchungsaufwand bei Hinweisen auf weitere Belastungen der Materialien kann im Rahmen dieser Vergleichsstudien nicht berücksichtigt werden.

2.2.1 Vergleich der materiellen Anforderungen an Z0-Material nach LAGA TR Boden 2004 und nach VwV Boden 2007 sowie an BM-0 bzw. BG-0 nach § 8 (2) der Novelle BBodSchV (Artikel 2, MantelV, 2017)

Die Novelle der BBodSchV bzw. EBV regelt die Materialqualität von Bodenmaterial und Baggergut nach §8 (2) BBodSchV bzw. BM-0, BG-0 nach Anlage 1, Tabelle 3 EBV mit nicht mehr als 10 Volumenprozent Fremdbestandteilen und vernachlässigbaren Anteilen von Störstoffen ausschließlich über bodenartspezifische Vorsorgewerte im Feststoff und über den TOC-Wert, der nach §6 (11) i.d.R. nicht als Grenzwert fungiert. Nachfolgende Tabelle 2 verdeutlicht, dass die materiellen Anforderungen an BM-0/BG-0 für den Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) mit der Ausnahme des Vorsorgewertes von Quecksilber für Lehm-/Schluff-/Ton-Böden entweder identisch oder weniger streng sind, als die Anforderungen nach LAGA TR Boden 2004 oder VwV Boden 2007. Wie Tabelle 3 zeigt, fordern VwV Boden 2007 und LAGA TR Boden 2004 darüber hinaus auch für Z0-Böden Untersuchungen im *WF* 10-Eluat.

Die VwV Boden 2007 fordert auch für Z0-Böden, also trotz Einhaltung der Z0-Werte im Feststoff (Vorsorgewerte), die Untersuchungen folgender Stoffe und Parameter im *WF* 10-Eluat: pH- und Lf-Werte als Orientierungsparameter (kein alleiniges Ausschlusskriterium) sowie Chlorid, Sulfat, Cyanide, (gesamt) und Phenolindex.

Die LAGA TR Boden 2004 fordert zusätzlich und auch über die VwV Boden 2007 hinausgehend, für Bodenmaterial, das nicht bodenartspezifisch zugeordnet werden kann bzw. das als Gemisch verschiedener Bodenarten bei Baumaßnahmen oder bei der Bodenbehandlung anfällt sowie für Bodenmaterialien mit Fremdbestandteilen bis 10 Volumenprozent, trotz Einhaltung der Z0-Werte im Feststoff (Vorsorgewerte), zusätzlich die Untersuchung von Schwermetallen im *WF* 10-Eluat (vgl. Tabelle 3).

Der Vergleich der materiellen Anforderungen nach geplanter Novelle BBodSchV mit der bisherigen Sachlage zeigt, dass lediglich bei Lehm-/Schluff-/Tonböden der geringere Vorsorgewert von Quecksilber einschränkend wirken kann. Die in Kapitel 4 dargelegte umfängliche Datenlage zeigt jedoch, dass sich der strengere doppelte Vorsorgewert von Quecksilber für BM-0* und BG-0* nach Novelle BBodSchV kaum auswirkt. Der weniger strenge Vorsorgewert für Quecksilber für Sandböden nach Novelle BBodSchV führt dagegen oftmals zu einer günstigeren Einstufung in BM-0 statt BM-0*.

Unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen an BM-0 bzw. BG-0 im Feststoff können deshalb alle bisher nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 als Z0 eingestuften und zur Verfüllung von Abgrabungen eingesetzten Bodenmaterialien, zukünftig mit Sicherheit gemäß §8 (2) Novelle BBodSchV eingestuft und damit wie bisher für die Verfüllung von Abgrabungen eingesetzt werden. Bezogen auf die LAGA TR Boden 2004 oder VwV Boden 2007 und unter alleiniger Betrachtung der Materialqualitäten, können sich keine Stoffstromverschiebungen durch die Novelle BBodSchV für bisherige Z0- und zukünftige BM-0 oder BG -0 Materialien aus der Verfüllung in Richtung Verwertung in technischen Bauwerken oder Beseitigung in Deponien ergeben.

Mögliche Verschiebungen im Bereich der Z0-Böden bzw. Bodenmaterialien nach §8 (2) Novelle BBodSchV bzw. BM-0 und BG-0 nach EBV wären alleine auf die in einigen Bundesländern abweichenden Genehmigungen im Einzelfall zurückzuführen.

Folgenabschätzung der geplanten Novelle BBodSchV für Bodenmaterialien und Baggergut der Zuordnungsklasse Z0 (LAGA TR Boden, VwV Boden) bzw. BM-0/BG-0 ohne Hinweise auf weitere Belastungen und unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen

Alle bisher nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 als Z0 eingestuften und zur Verfüllung von Abgrabungen eingesetzten Bodenmaterialien und Baggergut können zukünftig mit Sicherheit nach §8 (2) Novelle BBodSchV bzw. BM-0 / BG-0 nach EBV für die Verfüllung von Abgrabungen eingesetzt werden (Bodenmaterialien, die die einfachen Vorsorgewerte einhalten). Bezogen auf die LAGA TR Boden 2004 oder VwV Boden 2007 und unter alleiniger Betrachtung der Materialqualitäten können sich deshalb keine Stoffstromverschiebungen durch die Novelle BBodSchV für BM-0/BG-0 bzw. Z0-Materialien ergeben. Der Untersuchungsumfang nach Novelle BBodSchV/EBV für BM-0/BG-0 wurde auf 9 Vorsorgewerte für Schwermetalle und 4 organische Stoffe bzw. Parameter im Feststoff reduziert. Demgegenüber müssen nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 stets Untersuchungen von pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und ggf. weiteren Zuordnungswerten im *WF* 10-Eluat durchgeführt werden.

Tabelle 2: Vergleich der materiellen Anforderungen im Feststoffgehalt von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (2) der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. BM-0 und BG-0 nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) und Z0-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007[5].

Parameter	Einheit	Feststoffgehalte von BM/BG nach Novelle BBodSchV §8 (2) bzw. EBV, Anlage 1, Tabelle 3 / Z0-Material nach LAGA TR Boden 2004 / Z0-Material nach VwV Boden 2007		
		Bodenart Sand	Bodenart Lehm/Schluff	Bodenart Ton
Arsen	mg/kg TS	10 / 10 / 10	20 / 15 / 15	20 / 20 / 20
Blei	mg/kg TS	40 / 40 / 40	70 / 70 / 70	100 / 100 / 100
Cadmium	mg/kg TS	0,4 / 0,4 /0,4	1 / 1 / 1	1,5 / 1,5 /1,5
Chrom (ges.)	mg/kg TS	30 / 30 / 30	60 / 60 / 60	100 / 100 /100
Kupfer	mg/kg TS	20 / 20 / 20	40 / 40 / 40	60 / 60 / 60
Nickel	mg/kg TS	15 / 15 / 15	50 / 50 / 50	70 / 70 / 70
Quecksilber	mg/kg TS	0,2 / 0,1 / 0,1	0,3 / 0,5 / 0,5	0,3 / 1 / 1
Thallium	mg/kg TS	0,5 / 0,4 / 0,4	1,0 / 0,7 / 0,7	1,0 / 1,0 / 1,0
Zink	mg/kg TS	60 / 60 /60	150 / 150 /150	200 / 200 /200
Polychlorierte Biphenyle (PCB_6) (BBodSchV: inkl. PCB-118)	mg/kg TS	0,05 / 0,05 /0,05		
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,3 / 0,3 /0,3		
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (16 PAK nach EPA)	mg/kg TS	3 / 3 / 3		
EOX	mg/kg TS	1[2] / 1 / 1		
TOC	Massenprozent	[1][3] / 0,5[4] / -		
Kohlenwasserstoffe	mg/kg TS	- / 100 / 100		
BTX	mg/kg TS	- / 1 / 1		
LHKW	mg/kg TS	- / 1 / 1		
Mineralische Fremdbest.[1)]	Volumenprozent	10 / 10 /10		

5 Vergleich der materiellen Anforderungen im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an das Aufbringen und Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht nach geplanter Novelle BBodSchV §8 (2) in Verbindung mit Anlage 1, Tabelle 1 und 2 (Artikel 2, Kabinettsfassung der MantelV 2017, Verfüllung von Bodenmaterialien mit Feststoffgehalten bis zum einfachen bodenartspezifischen Vorsorgewert) mit den Anforderungen im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an die Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht mit Z0-Material nach LAGA TR Boden 2004, Kapitel 1.2.3.2 (in Verbindung mit Tabelle II. 1.2-2) und Z0-Material nach VwV Boden Baden-Württemberg (2007). Gegenüber Novelle BBodSchV abweichende, strengere Werte oder einschränkend wirkende Zusatzanforderungen sind in roter Schriftfarbe gekennzeichnet, weniger strenge Werte sind in grüner Schriftfarbe gekennzeichnet. Sonderreglungen zu den Vorsorgewerten für Blei, Cadmium, Nickel und Zink bei Böden mit niedrigen pH-Werten < 5 bzw. < 6 werden hier nicht betrachtet (siehe hierzu Fußnotenregelungen zu Tabelle 1 in Anlage 1 der Novelle BBodSchV).

1) Soll nach LAGA TR Boden 2004 Bodenmaterial mit Fremdbestandteilen verfüllt werden, müssen gemäß Kapitel 1.2.3.2 der TR Boden 2004 auch bei Einhaltung der Z0-Werte im Feststoff zusätzlich zu den Feststoffwerten die Zuordnungswerte Z 0 nach Tabelle II.1.2-3 (Eluatkonzentrationen bei *WF* 10 L/kg) untersucht werden, vgl. Tabelle 3.
2) Widerspruch zwischen Anlage 1 Tabelle 2, EBV und §8 (2) in Verbindung mit Anlage 1, Tabelle 1 und 2, Novelle BBodSchV: Nach EBV ist EOX für BM-0 bzw. BG-0 immer zu untersuchen und es gilt: Bei Überschreitung der Werte sind die Materialien auf fallspezifische Belastungen zu untersuchen. Nach BBodSchV findet sich kein EOX-Grenzwert in den Tabellen 1 und 2 der Anlage 1.

3) Beim Einbau in den Unterboden oder Untergrund ist hinsichtlich des TOC-Gehaltes §6 (11) der BBodSchV zu beachten: Danach gilt, dass für Materialien vor Auf- oder Einbringen nur bei Hinweisen auf erhöhte Gehalte an organischen Kohlenstoff, insbesondere durch eine dunkle Bodenfarbe, der TOC zu bestimmen ist. Bei TOC > 1M.-% dürfen die Materialien nur dann auf- oder eingebracht werden, wenn der TOC natürlich vorkommt oder auf einen zulässigen Anteil von Fremdbestandteilen ≤ 10 V.-% zurückzuführen ist. Es gelten weitere Bedingungen für den Einbau.

4) Nach LAGA TR Boden 2004 gilt: Bei einem C:N-Verhältnis > 25 beträgt der Zuordnungswert 1 Masseprozent.

Tabelle 3: Vergleich der materiellen Anforderungen im Eluat von Z0-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007. Für Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (2) der Novelle der BBodSchV bzw. BM-0 und BG-0 nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) sind keine Eluatuntersuchungen erforderlich[6].

Parameter	Einheit	Eluatkonzentrationen im *WF* 10-Eluat als Zuordnungswerte für Z0-Material nach LAGA TR Boden 2004 / für Z0-Material nach VwV Boden 2007 für alle Bodenarten einheitlich
pH-Wert	-	6,5 - 9,5[1] / 6,5 - 9,5
Leitfähigkeit	µS/cm	250[1] / 250
Chlorid	mg/L	30[1] / 30
Sulfat	mg/L	20[1] / 50
Cyanide, (gesamt)	µg/L	5[1] / 5
Phenolindex	µg/L	20[1] / 20
Arsen	µg/L	14[1] / -
Blei	µg/L	40[1] /-
Cadmium	µg/L	1,5[1] / -
Chrom (gesamt)	µg/L	12,5[1] / -
Kupfer	µg/L	20[1] / -
Nickel	µg/L	15[1] / -
Quecksilber	µg/L	<0,5[1] / -
Zink	µg/L	150[1] / -

6 Vergleich der materiellen Anforderungen im *WF* 10-Eluat im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an die Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht mit Z0-Material nach LAGA TR Boden 2004, Kapitel 1.2.3.2 (in Verbindung mit Tabelle II.1.2-3) und Z0-Material nach VwV Boden Baden-Württemberg (2007). Nach Novelle BBodSchV sind keine Eluatuntersuchungen erforderlich. Gegenüber VwV Boden 2007 abweichende strengere Werte oder einschränkend wirkende Zusatzanforderungen sind in roter Schriftfarbe gekennzeichnet.

1) Nach LAGA TR Boden 2004 gelten für Bodenmaterial, das einer der Bodenarten Ton, Lehm/Schluff oder Sand zugeordnet werden kann, die bodenartspezifischen Zuordnungswerte im Feststoff (vgl. Tabelle 2) - eine Eluatuntersuchung ist nicht erforderlich. Bodenmaterial das nicht bodenartspezifisch zugeordnet werden kann bzw. das als Gemisch verschiedener Bodenarten bei Baumaßnahmen oder bei der Bodenbehandlung anfällt sowie Bodenmaterialien mit Fremdbestandteilen bis 10 Volumenprozent müssen gemäß Kapitel 1.2.3.2 der TR Boden 2004 auch bei Einhaltung der Z0-Werte im Feststoff zusätzlich im Eluat untersucht werden und die Zuordnungswerte Z 0 im Eluat nach Tabelle II.1.2-3 der LAGA TR Boden (Eluatkonzentrationen bei *WF* 10 L/kg) einhalten (vgl. Tabelle 3).

2.2.2 Vergleich der materiellen Anforderungen an Z0*-Material nach LAGA TR Boden 2004 und nach VwV Boden 2007 sowie an BM-0* bzw. BG-0* nach § 8 (3) der Novelle BBodSchV (Artikel 2 MantelV, 2017)

Die folgende Tabelle 4 vergleicht die materiellen Anforderungen bezüglich der Feststoffgehalte an das Auf- und Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht für den Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) nach Novelle BBodSchV §8 (3) bzw. BM-0*, BG-0* nach Anlage 1, Tabelle 3 EBV mit nicht mehr als 10 Volumenprozent Fremdbestandteilen und vernachlässigbaren Anteilen von Störstoffen mit den Anforderungen bezüglich der Feststoffgehalte für Z0*-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007. Sowohl nach Novelle BBodSchV als auch nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 handelt es sich hierbei um Materialien mit Feststoffgehalten zwischen dem einfachen und maximal dem doppelten bodenartspezifischen Vorsorgewert für Lehm-/Schluff-Böden von Blei, Chrom, (ges.), Kupfer, Quecksilber und Zink, sowie mit Feststoffgehalten zwischen dem einfachen und maximal dem doppelten Vorsorgewert von PCB_6 + PCB-118 und der Summe 16 EPA PAK. Für Arsen, Cadmium und Thallium wurde in der Kabinettsfassung der MantelV entsprechend der bisherigen Regelung nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007der einfache Vorsorgewert für Lehm-/Schluff-Böden festgelegt.

Nachfolgende Tabelle 4 verdeutlicht, dass – wie bei BM-0/BG-0 - die materiellen Anforderungen an BM-0*/BG-0* im Feststoffgehalt für den Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) mit einer Ausnahme des Vorsorgewertes von Quecksilber für Lehm-/Schluff-/Ton-Böden entweder identisch oder weniger streng sind, als die Anforderungen nach LAGA TR Boden 2004 oder VwV Boden 2007. Die in Kapitel 4 dargelegte umfängliche Datenlage zeigt, dass der gegenüber bisheriger Sachlage strengere doppelte Vorsorgewert von Quecksilber für BM-0* und BG-0* für die Bodenarten Lehm/Schluff/Ton nach Novelle BBodSchV zu keinen zusätzlichen Einschränkungen führt.

Nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 wurden, über die geplante Novelle BBodSchV hinausgehend, Feststoffgrenzwerte für folgende organischen Stoffe und Parameter festgelegt: Kohlenwasserstoffe, BTX, LHKW und Benz(a)pyren.

Bei alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen im Feststoff können sich demnach nach Novelle BBodSchV keine Änderungen gegenüber LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 ergeben. Für eine Folgenabschätzung müssen allerdings zusätzlich die Eluatkonzentrationen betrachtet werden.

Tabelle 4: Vergleich der materiellen Anforderungen im Feststoffgehalt von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (3) der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. BM-0* und BG-0* nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) und Z0*-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007[7]

Parameter	Einheit	Feststoffgehalte von BM-0* und BG-0* nach Novelle BBodSchV §8 (3) bzw. EBV, Anlage 1, Tabelle 3 / Z0*-Material nach TR Boden 2004 / Z0*-Material nach VwV Boden für alle Bodenarten einheitlich
Arsen	mg/kg TS	20 / 15[1)] / 15[1)]
Blei	mg/kg TS	140 / 140 / 140
Cadmium	mg/kg TS	1 / 1 / 1
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	120 / 120 / 120
Kupfer	mg/kg TS	80 / 80 / 80
Nickel	mg/kg TS	100 / 100 / 100
Quecksilber	mg/kg TS	0,6 / 1 / 1
Thallium	mg/kg TS	1 / 0,7 / 0,7
Zink	mg/kg TS	300 / 300 / 300
Polychlorierte Biphenyle (PCB_6) (BBodSchV: inkl. PCB-118)	mg/kg TS	0,1 / 1 / 0,1
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	- / 0,6 / 0,6
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (16 PAK nach EPA)	mg/kg TS	6 / 3 / 3
EOX	mg/kg TS	1[2)] / 1[3)] / 1
TOC	Massenprozent	[1][4)] / 0,5 (1)[5)] / -
Kohlenwasserstoffe	mg/kg TS	- / 200 (400)[6)]/ 200 (400)[6)]
BTX	mg/kg TS	- / 1 / 1
LHKW	mg/kg TS	- / 1 / 1
Mineralische Fremdbestandteile	Volumenprozent	10 / 10 /10

1) Der Wert 15 mg/kg gilt für Bodenmaterial der Bodenarten Sand und Lehm/Schluff. Für Bodenmaterial der Bodenart Ton gilt der Wert 20 mg/kg.
2) Bei Überschreitung des Wertes sind die Materialien auf fallspezifische Belastungen hin zu untersuchen.

7 Vergleich der materiellen Anforderungen (Feststoffgehalte) im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an das Auf- und Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht nach geplanter BBodSchV §8 (3) in Verbindung mit Anlage 1, Tabelle 4 in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV 2017 (Verfüllung von Bodenmaterialien mit Feststoffgehalten i.d.R. zwischen dem einfachen und maximal dem doppelten Vorsorgewert der Bodenart Lehm/Schluff) mit den Anforderungen im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an die Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht mit Z0*-Material nach TR Boden 2004, Kapitel 1.2.3.2 (in Verbindung mit Tabelle II. 1.2-2 und Tabelle II.1.2-3) und nach VwV Boden Baden-Württemberg (2007). Gegenüber Novelle BBodSchV abweichende strengere Werte oder einschränkend wirkende Zusatzanforderungen sind in roter Schriftfarbe gekennzeichnet, weniger strenge Werte sind in grüner Schriftfarbe gekennzeichnet.

3) Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.
4) Beim Einbau in den Unterboden oder Untergrund ist hinsichtlich des TOC-Gehaltes der §6 (11) der BBodSchV zu beachten: Danach gilt, dass Materialien vor Auf- oder Einbringen nur bei Hinweisen auf erhöhte Gehalte an organischen Kohlenstoff insbesondere durch eine dunkle Bodenfarbe zu bestimmen ist. Bei TOC > 1 M.-% dürfen die Materialien nur dann auf- oder eingebracht werden, wenn der TOC natürlich vorkommt oder auf einen zulässigen Anteil von Fremdbestandteilen ≤ 10 V.-% zurückzuführen ist. Es gelten weitere Bedingungen für den Einbau.
5) Nach LAGA TR Boden 2004 gilt: Bei einem C:N-Verhältnis > 25 beträgt der Zuordnungswert 1 Masseprozent
6) Die angegebenen Zuordnungswerte gelten für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C10 bis C22. Der Gesamtgehalt, bestimmt nach E DIN EN 14039 (C10 bis C40), darf insgesamt den in Klammern genannten Wert nicht überschreiten.

Tabelle 5 vergleicht - wegen der unterschiedlichen Verdünnungen im *WF* 2- und *WF* 10-Eluat im Grunde unzulässigerweise (vgl. Kapitel 2.3) - die materiellen Anforderungen nach geplanter Novelle BBodSchV §8 (3) im Eluat von BM-0* bzw. BG-0* (für das Auf- und Einbringen unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht im Regelfall, also keine Hinweise auf spezifische Belastungen) mit den Anforderungen im Eluat für Z0*-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007. Es ist ein deutlich höherer Untersuchungsumfang im *WF* 10- Eluat für Z0*-Material nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 gegenüber §8 (3) der Novelle BBodSchV festzustellen. Nach den aktuellen Regelungen sind unabhängig von den tatsächlichen Feststoffgehalten stets 14 hydrogeochemische Parameter, Einzelstoffe und Summenparameter im *WF* 10-Eluat zu bestimmen. Nach geplanter Novelle BBodSchV spielen die hydrogeochemischen Parameter pH und Leitfähigkeit sowie die Stoffe und Parameter Chlorid, Cyanide (ges.) und Phenolindex im *WF* 2-Eluat für die Bewertung nach §8 (3) keine Rolle. Die Eluatkonzentration von Sulfat muss zwar untersucht werden. Der Eluatwert von Sulfat fungiert aber nicht zwingend als Grenzwert. Bei Überschreitung des Wertes von Sulfat im Eluat ist die Ursache zu prüfen. Handelt es sich um naturbedingt erhöhte Sulfatkonzentrationen, ist eine Verwertung innerhalb der betroffenen Gebiete möglich. Außerhalb dieser Gebiete ist über die Verwertungseignung im Einzelfall zu entscheiden (vgl. Novelle BBodSchV, Anlage 1, Tabelle 4, Fußnote 1).

Die verbleibenden anorganischen Stoffe: Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, (ges.), Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium und Zink sowie die organischen Stoffe und Summenparameter: Benzo(a)pyren, PCB_6 + PCB-118, Naphthalin und Methylnaphthaline und PAK_{15} sind nach Novelle BBodSchV nur dann im *WF* 2-Eluat zu untersuchen und für die Bewertung maßgeblich, wenn deren Gehalte im Feststoff tatsächlich den einfachen Vorsorgewert bis maximal zu dem doppelten Wert überschreiten. Da für Arsen, Cadmium und Thallium ohnehin der einfach Vorsorgewert der Bodenart Lehm/Schluff von 20 mg/kg festgelegt ist, kann eine Eluatuntersuchung nur für Sandböden mit einem Vorsorgewert von 15 mg/kg erforderlich werden, wenn der Feststoffgehalt eines Sandbodens zwischen 15 und 20 mg/kg liegt. Der maximale Untersuchungsumfang (für den unrealistischen Fall, dass alle Stoffe die einfachen Vorsorgewerte bis maximal zum doppelten Wert überschreiten) im *WF* 2-Eluat liegt demnach bei 11 Stoffen und Summenparametern (ohne Arsen, Cadmium, Thallium, die in der Regel nur im Feststoff bestimmt werden). Für diese Stoffe stellt sich die Frage, ob durch den Methodenwechsel von *WF* 10 auf *WF* 2, die neu festgelegten Eluatwerte nach Novelle BBodSchV noch eingehalten werden können. Diese wird im Rahmen der vorliegenden Studie messtechnisch untersucht.

Die in Tabelle 5 gelisteten, maximal zulässigen Eluatkonzentrationen in *WF* 2-Eluaten für Bodenmaterialien und Baggergut nach §8 (3) der Novelle BBodSchV bzw. in *WF* 10-Eluaten für Z0*-Material nach LAGA TR Boden 2004 bzw. VwV Boden 2007, sind aus den eingangs genannten Gründen nicht direkt miteinander vergleichbar. Feststellbar ist jedoch, das für Bodenmaterial bzw. Baggergut mit TOC < 0,5 %, für Arsen, Blei, Chrom, (ges.), Kupfer, Quecksilber und Zink, die an die Bezugsmaßstäbe bzw. Geringfügigkeitsschwellenwerte orientierten Materialwerte kleiner oder gleich sind, wie die Eluatwerte im *WF* 10-Eluat nach aktuellen Reglungen. Aufgrund der stoffspezifisch unterschiedlichen Aufkonzentrierung im *WF* 2-Eluat, also einer potentiell höheren Konzentrationsmessung gegenüber *WF* 10, wird verbreitet erwartet, dass diese Eluatwerte für Bodenmaterialien nach §8 (3) im Falle einer Untersuchung (nur der jeweilige Werte muss im Eluat untersucht werden und ist maßgeblich, der den einfachen VW tatsächlich überschreitet) nicht mehr eingehalten werden können. Dies wird in Kapitel 4 auf Grundlage der hier erhobenen Messergebnisse eingehend untersucht.

Tabelle 5: Vergleich der materiellen Anforderungen im *WF* 2- Eluat von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (3) der geplanten Novelle der BBodSchV bzw. BM-0* und BG-0* nach EBV (Artikel 1 und 2 der Kabinettsfassung der MantelV, 2017) und im *WF* 10-Eluat von Z0*-Materialien nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007[8].

Parameter	Einheit	Eluatkonzentrationen im *WF* 2-Eluat für BM-0* und BG-0* nach Novelle BBodSchV §8 (3) bzw. EBV, Anlage 1, Tabelle 3		Eluatkonzentrationen im *WF* 10-Eluat als Zuordnungswerte für Z0*-Material nach LAGA TR Boden 2004 / nach VwV Boden 2007
		TOC < 0,5 %	TOC > 0,5 %	
pH-Wert	-	-	-	6,5 – 9,5 / 6,5 – 9,5
Leitfähigkeit	µS/cm	-	-	250 / 250
Chlorid	mg/L	-	-	30 / 30
Sulfat[1]	mg/L	250	250	30 / 50
Cyanide, (ges.)	µg/L	-	-	5 / 5
Arsen[2]	µg/L	8	13	14 / 14
Blei[3]	µg/L	23	43	40 / 40
Cadmium[2]	µg/L	2	4	1,5 / 1,5
Chrom (gesamt)[3]	µg/L	10	19	12,5 / 12,5
Kupfer[3]	µg/L	20	41	20 / 20
Nickel[3]	µg/L	20	31	15 / 15
Quecksilber[3]	µg/L	0,1	0,1	< 0,5 / 0,5
Thallium[2]	µg/L	0,2	0,3	- / -
Zink[3]	µg/L	100	210	150 / 150
Phenolindex	µg/L	-	-	20 / 20
Summe aus PCB_6 und PCB-118	µg/L	0,01	0,01	- / -
Benzo(a)pyren[3]	µg/L	0,01	0,01	- / -
PAK_{15}	µg/L	0,2	0,2	- / -
Naphthalin und Methylnaphthaline	µg/L	2	2	- / -

1) Bei Überschreitung des Wertes von Sulfat im Eluat ist die Ursache zu prüfen. Handelt es sich um naturbedingt erhöhte Sulfatkonzentrationen, ist eine Verwertung innerhalb der betroffenen Gebiete möglich. Außerhalb dieser Gebiete ist über die Verwertungseignung im Einzelfall zu entscheiden.

8 Vergleich der materiellen Anforderungen (Eluatkonzentrationen *WF* 2-Eluat) im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an das Aufbringen und Einbringen von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht nach geplanter BBodSchV §8 (3) in Verbindung mit Anlage 1, Tabelle 4 in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV 2017 (Verfüllung von Bodenmaterialien mit Feststoffgehalten i.d.R. zwischen dem einfachen und maximal dem doppelten Vorsorgewert der Bodenart Lehm/Schluff) mit den Anforderungen (Eluatkonzentrationen im *WF* 10 – Eluat) im Regelfall (keine Hinweise auf spezifische Belastungen) an die Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht mit Z0*-Material nach LAGA TR Boden 2004, Kapitel 1.2.2.2 in Verbindung mit Tabelle II. 1.2-1 und Tabelle II.1.2-3 und nach VwV Boden Baden-Württemberg (2007).

2) Die Eluatwerte sind mit Ausnahme des Eluatwertes für Sulfat nur maßgeblich, wenn für den betreffenden Stoff der jeweilige Vorsorgewert nach Tabelle 1 oder 2 der Anlage 1 der Novelle BBodSchV überschritten wird. Da für Arsen, Cadmium und Thallium ohnehin der einfach Vorsorgewert der Bodenart Lehm/Schluff von 20 mg/kg festgelegt ist, kann eine Eluatuntersuchung nur für Sandböden mit einem Vorsorgewert von 15 mg/kg erforderlich werden, wenn der Feststoffgehalt eines Sandbodens zwischen 15 und 20 mg/kg liegt.
3) Die Eluatwerte sind mit Ausnahme des Eluatwertes für Sulfat nur maßgeblich, wenn für den betreffenden Stoff der jeweilige Vorsorgewert nach Tabelle 1 oder 2 der Anlage 1 der Novelle BBodSchV überschritten wird.

Folgenabschätzung der geplanten Novelle BBodSchV für Bodenmaterialien und Baggergut der Zuordnungsklasse Z0*(LAGA TR Boden, VwV Boden) bzw. BM-0*/BG-0* unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen

Bei isolierter Betrachtung der Feststoffgehalte wären keine Stoffstromverschiebungen für bisher nach LAGA TR Boden 2004 oder VwV Boden 2007 als Z0* eingestufte Materialien zu erwarten. Zusätzlich müssen jedoch die Eluatkonzentrationen von Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink sowie PCB_6 + PCB-118, 15 PAK und Naphthalin sowie Methylnaphthaline betrachtet werden. Hierbei stellt sich die Frage, ob die Eluatwerte für diese Stoffe im *WF* 2-Eluat von Bodenmaterialien nach §8 (3) im Falle einer Untersuchung und im Falle einer Maßgeblichkeit (nur der jeweilige Wert ist im Eluat zu messen und maßgeblich, der den einfachen Vorsorgewert tatsächlich überschreitet) nach den neuen Elutionsmethoden und Werten bei *WF* 2 noch einhaltbar sind. Der Untersuchungsumfang nach Novelle BBodSchV/EBV für BM-0*/BG-0* liegt bei 13 Feststoffwerten und maximal 11 Eluatwerten (für den unrealistischen Fall, dass alle Stoffe die einfachen Vorsorgewerte bis maximal zum doppelten Wert überschreiten). Demgegenüber müssen nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 unabhängig vom, Feststoffgehalt immer 14 Eluatparameter im *WF* 10-Eluat bestimmt werden.

2.2.3 Vergleich der materiellen Anforderungen an Z0* III A-Material nach VwV Boden 2007 und an BM-0* bzw. BG-0* nach § 8 (5) der geplanten Novelle BBodSchV (MantelV, 2017)

Grundsätzlich wird nach LAGA TR Boden 2004, VwV Boden Baden-Württemberg (2007) und Novelle BBodSchV der Einbau von Z0*- bzw. BM-0*/BG-0*-Material in empfindlichen Gebieten, wie insbesondere Karstgebieten und Gebieten mit stark klüftigem, besonders wasserwegsamen Untergrund, ausgeschlossen. Nach LAGA TR Boden und VwV Boden wird darüber hinausgehend der Einbau in festgesetzten, vorläufig sichergestellten oder fachbehördlich geplanten Trinkwasserschutzgebieten der Zone III A und in Heilquellenschutzgebiete der Zone III oder III/1 ausgeschlossen. In der VwV Boden Baden-Württemberg (2007) wurde eine Ausnahme für Bodenmaterial geschaffen, dass die Z0*III A-Zuordnungswerte einhält, keiner Staunässe ausgesetzt wird und über hinreichend Säureneutralisationskapazität verfügt. Letzteres ist bei Bodenmaterial mit mehr als 20 % Kalkgehalt in der Regel gegeben.

In der Kabinettsfassung der MantelV wurde diese Ausnahmeregelung in §8 (5) weitgehend übernommen: Wenn günstige Materialeigenschaften (es dürfte die Säureneutralisationskapazität gemeint sein, da die Material- bzw. Eluatwerte bereits geprüft sind) und Standortbedingungen (es dürfte der Grundwasserabstand von 1 Meter zuzüglich 0,5 Meter Sicherheitsabstand gemeint sein) vorliegen, kann das Auf- oder Einbringen von Materialien bis zur Höhe der Vorsorgewerte für die Bodenart Ton nach Anlage 1 Tabelle 1 der BBodSchV (Artikel 2 MantelV, 2017) zugelassen werden.

Nachfolgende Tabelle 6 verdeutlicht, dass – wie bei BM-0/BG-0 - die materiellen Anforderungen an BM-0*/BG-0* nach §8 (5) zur Verfüllung in empfindlichen Gebieten im Feststoffgehalt (Vorsorgewert Tonboden) mit einer Ausnahme des Vorsorgewertes von Quecksilber für Ton entweder identisch oder weniger streng sind, als die Anforderungen nach VwV Boden 2007. Lediglich Quecksilber könnte geringfügig einschränkend wirken. Die in Kapitel 4 dargelegte umfängliche Datenlage zeigt, dass sich der

strengere doppelte Vorsorgewert von Quecksilber für BM-0* und BG-0* nach Novelle BBodSchV kaum auswirkt.

Tabelle 7 zeigt die materiellen Anforderungen im *WF* 10-Eluat an Z0* III A-Materialien nach VwV Boden 2007. Nach Novelle BBodSchV wurden keine Eluatwerte für BM-0*/BG-0* nach §8 (5) zur Verfüllung in empfindlichen Gebieten festgelegt.

Tabelle 6: Vergleich der materiellen Anforderungen im Feststoffgehalt von Bodenmaterialien (BM) und Baggergut (BG) nach §8 (5) der geplanten Novelle der BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV (2017) und Z0* III A-Materialien nach VwV Boden 2007.

Parameter	Einheit	Feststoffgehalte von BM-0* und BG-0* nach Novelle BBodSchV §8 (5) / Z0*-IIIA Material nach VwV Boden für alle Bodenarten einheitlich
Arsen	mg/kg TS	20 / 15[1)]
Blei	mg/kg TS	100 / 100
Cadmium	mg/kg TS	1,5 / 1
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	100 / 100
Kupfer	mg/kg TS	60 / 60
Nickel	mg/kg TS	70 / 70
Quecksilber	mg/kg TS	0,3 / 1
Thallium	mg/kg TS	1 / 0,7
Zink	mg/kg TS	200 / 200
Polychlorierte Biphenyle (PCB_6) (BBodSchV: inkl. PCB-118)	mg/kg TS	- / 0,05
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	- / 0,3
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (16 PAK nach EPA)	mg/kg TS	- / 3
EOX	mg/kg TS	- / 1[2)]
TOC	Massenprozent	[1][3)] / -
Kohlenwasserstoffe	mg/kg TS	- / 100
BTX	mg/kg TS	- / 1
LHKW	mg/kg TS	- / 1
Mineralische Fremdbestandteile	Volumenprozent	10 / 10

1) Der Wert 15 mg/kg gilt für Bodenmaterial der Bodenarten Sand und Lehm/Schluff. Für Bodenmaterial der Bodenart Ton gilt der Wert 20 mg/kg.
2) Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.
3) Beim Einbau in den Unterboden oder Untergrund ist hinsichtlich des TOC-Gehaltes der §6 (11) der BBodSchV zu beachten: Danach gilt, dass Materialien vor Auf- oder Einbringen nur bei Hinweisen auf erhöhte Gehalte an organischen Kohlenstoff insbesondere durch eine dunkle Bodenfarbe zu bestimmen ist. Bei TOC > 1 M.-% dürfen die Materialien nur dann auf- oder eingebracht werden, wenn der TOC natürlich vorkommt oder auf einen zulässigen Anteil von Fremdbestandteilen ≤ 10 V.-% zurückzuführen ist. Es gelten weitere Bedingungen für den Einbau.

Tabelle 7: Materielle Anforderungen im *WF* 10-Eluat von Z0* III A-Materialien nach VwV Boden 2007, keine Festlegungen im Eluat für BM-0* in empfindlichen Gebieten nach BBodSchV §8 (5) in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV 2017.

Parameter	Einheit	Eluatkonzentrationen im *WF* 10-Eluat als Zuordnungswerte für Z0* III A-Material nach VwV Boden 2007 keine Eluatwerte nach BBodSchV
pH-Wert	-	6,5 – 9,5
Leitfähigkeit	µS/cm	250
Chlorid	mg/L	30
Sulfat	mg/L	50
Cyanide, (ges.)	µg/L	5
Arsen	µg/L	14
Blei	µg/L	40
Cadmium	µg/L	1,5
Chrom (gesamt)	µg/L	12,5
Kupfer	µg/L	20
Nickel	µg/L	15
Quecksilber	µg/L	0,5
Zink	µg/L	150
Phenolindex	µg/L	20

Folgenabschätzung der geplanten Novelle BBodSchV für Bodenmaterialien und Baggergut der Zuordnungsklasse Z0* III A (VwV Boden) bzw. BM-0*/BG-0* nach § 8 (5) zur Verfüllung in empfindlichen Gebieten unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen

In der geplanten Novelle BBodSchV werden ausschließlich Feststoffgehalte in Höhe der bodenspezifischen Vorsorgewerte von Tonböden festgelegt, Eluatuntersuchungen sind nicht erforderlich. Es sind keine Stoffstromverschiebungen für bisher nach VwV Boden 2007 als Z0* III A eingestufte Materialien zu erwarten. Nach VwV Boden 2007 sind dagegen Untersuchungen von Zuordnungswerten im *WF* 10-Eluat für 14 Stoffe und Parameter durchzuführen.

2.3 Laborverfahren zur Bewertung der Stofffreisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterialien

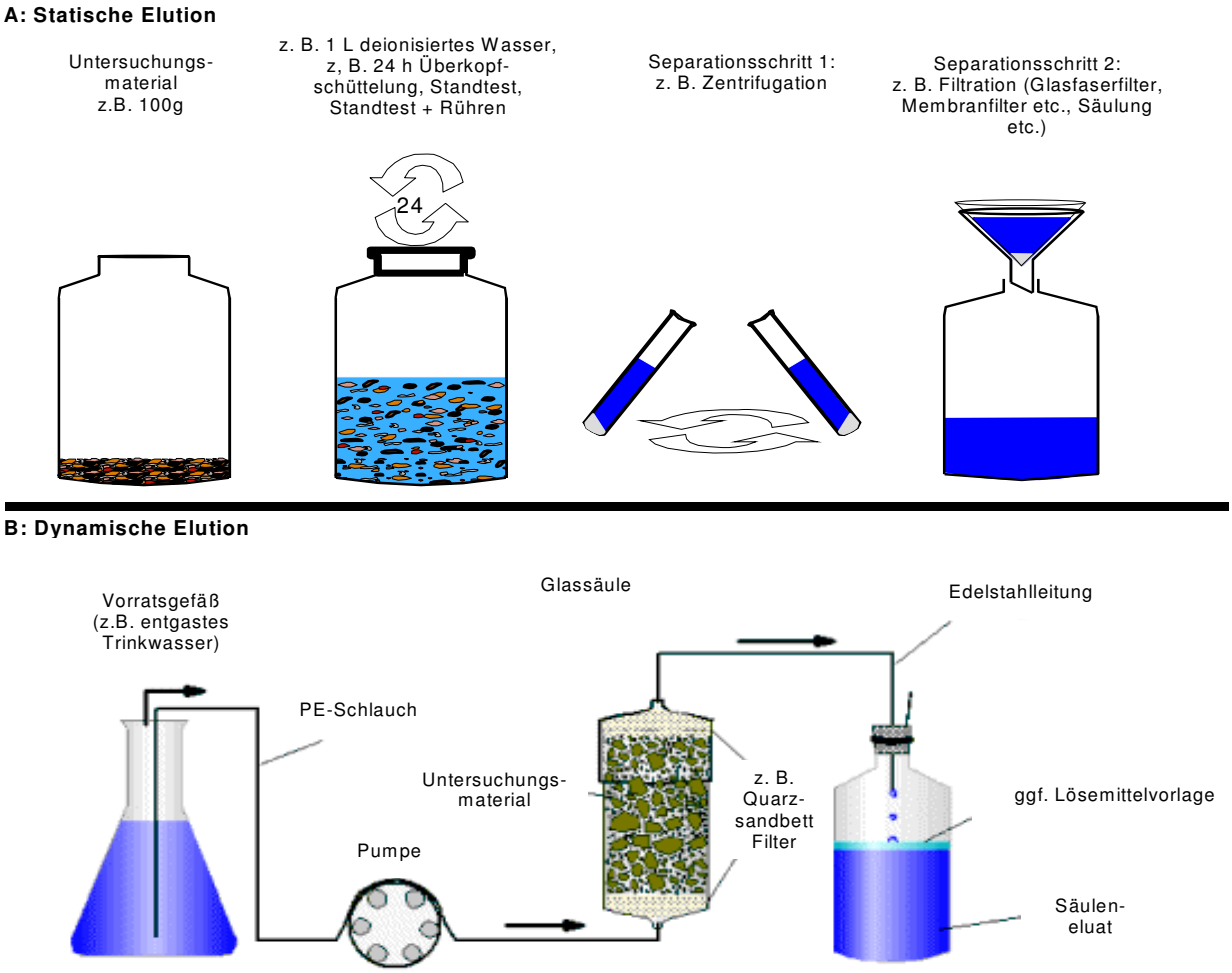
2.3.1 Elutionsverfahren

Ziel aller Elutionsverfahren ist es, die Schadstoffkonzentration abzuschätzen, die im Wasser zu erwarten ist, das in Kontakt mit dem zu prüfenden Feststoff kommt. Grundsätzlich entscheidend sind dabei die Kontaktzeit des Wassers mit dem jeweiligen Material und die Geschwindigkeit des Stoffübergangs. Bei ausreichend langer Kontaktzeit stellt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der Konzentration im Feststoff und im Wasser ein, d. h. es findet keine weitere Stoffübertragung zwischen Feststoff und Wasser mehr statt. Die Höhe der Gleichgewichtskonzentration kann von weiteren Wasserinhaltsstoffen abhängen. Bei nichtionischen organischen Schadstoffen sind dies z.B. gelöste organische Substanzen und Kolloide, bei Schwermetallen spielen zusätzlich z.B. pH- und Redoxmilieu eine wichtige Rolle.

Bei den gängigen Elutionstests lassen sich grundsätzlich dynamische Perkolationsverfahren (Säule, Lysimeter) von statischen Trogverfahren, Schütteltests und Sättigungsextrakten unterscheiden. Trog-, Schüttel- und Sättigungsverfahren können allgemeiner auch als Batchtests bezeichnet werden. Bei diesen statischen Tests wird das Probenmaterial mit einer definierten Menge Wasser i.d.R. einmalig über 24 h in einem Behältnis (Batchsystem) in Kontakt gebracht (vgl. Abbildung 1, oben). Die Eluate werden einmalig beprobt und analysiert. Eine Ausnahme bilden mehrstufige Trog- oder Schüttelverfahren mit Wasseraustausch. Man geht dabei grundsätzlich von einer Einstellung von Gleichgewichtsbedingungen aus, ohne diese Bedingung zu prüfen. Schütteltests, Trogversuche und Sättigungsextrakte unterscheiden sich im Wesentlichen im eingesetzten Wasser-/Feststoffverhältnis (*WF*) und in der Mischmethode mit der das Elutionsmittel mit dem Untersuchungsmaterial in Kontakt gebracht wird (Überkopfschütteln, Horizontalschütteln, Rühren etc.).

Säulenelutionsverfahren gehören zu den dynamischen Verfahren, da das Elutionsmittel kontinuierlich durch die Probe strömt und je nach Fragestellung, durch eine kontinuierliche Beprobung und Analyse, die zeitliche Konzentrationsentwicklung im Eluat verfolgt werden kann (vgl. Abbildung 1, unten). Je nach Versuchskonzeption und Fragestellung kann der Säulenversuch sowohl unter Gleichgewichtsbedingungen als auch unter Ungleichgewichtsbedingungen betrieben werden (Susset, 2004). Alle Säulenperkolationsnormen werden im Aufwärtsstrom betrieben. Im ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 werden vier Perkolate gewonnen, also vier Laborproben analysiert, die jeweils nach Erreichen der Wasser-Feststoff-Verhältnisse (*WF*) von 0,3, 1, 2 und 4 gewonnen werden. Die Perkolation läuft jeweils weiter, so dass zum Beispiel bei 5 kg Prüfprobe Volumina von 1,5 Liter (= 0,3 x 5 kg), 3,5 Liter (= 0,7 x 5 kg), 5 Liter (= 1,0 x 5 kg) und 10 Liter (= 2 x 5 kg) gewonnen werden. Die Aufsummierung der (*WF*) ergibt letztlich das gesamte *WF* von 4. Beim *WF* 2-Säulenkurztest nach DIN 19528 wird die Perkolation bei Erreichen von *WF* 2 beendet (die gesamte Wassermenge wird in einer Flasche gesammelt und darin die kumulative Konzentration analysiert). Die Berechnung der kumulativen Konzentration bei *WF* 2 aus dem ausführlichen Säulenversuch nach Kapitel 9.4.3 der DIN 19528 (2009) ist in Kapitel 3.8 beschrieben.

Abbildung 1: Schematischer Aufbau von statischen Elutionsverfahren (Batchtests: Schütteltest, Trogverfahren, Bodensättigungsextrakt) und von dynamischen Elutionsverfahren (Säulenversuche, hierzu zählen auch Lysimeterversuche).



2.3.2 Eignung verschiedener Laborverfahren zur Bewertung von mineralischen Ersatzbaustoffen und Bodenmaterialien im Rahmen der Mantelverordnung

Die geltende BBodSchV (1999) empfiehlt in Anhang 1, Nr. 3.1.2 verschiedene experimentelle Verfahren zur Ermittlung der Quellstärke für anorganische Schadstoffe. Zulässig sind u.a. die Elution mit Wasser nach DIN 38414-4 10/1984, der Bodensättigungsextrakt ("BSE" nach BBodSchV, Anhang 3, Absatz 3.1.2) und die Extraktion mit Ammoniumnitrat nach DIN 19730. Diese Verfahren wurden nach dem neu geschaffenen Erkenntnisstand im BMBF-Verbundprojekt Sickerwasserprognose nicht in die geplante MantelV übernommen, da sich die Wechselwirkungen zwischen Festphase und Elutionsmittel von den unter natürlichen Bedingungen auftretenden Interaktionen mit Regen- bzw. Sickerwasser stark unterscheiden (Eberle et al., 2010). Das bisher verbreitet eingesetzte, nicht validierte und ausschließlich für Böden und Schlämme (nicht für Abfälle) genormte Schüttel-Elutionsverfahren bei *WF* 10 wird in der geplanten MantelV nicht mehr eingesetzt werden können. DEV S4, DIN 38414-4 10/1984 wurde zwischenzeitlich zum 01. Dezember 2015 zurückgezogen. Batchtests weisen grundsätzlich das systematische Defizit auf, dass sie die dynamischen Fließbedingungen einer Ablagerung oder Schüttung im Freien nicht annähern und die zeitliche Entwicklung nicht erfassen. Die Feldrelevanz der Ergebnisse von Schütteleluaten mit hohen *WF* (wie z.B. *WF* 10) liegt eher bei der Bestimmung des Stoffaustrags aus suspendierten Partikeln in einer Wassersäule, wie z.B. bei der Sedimentfracht in Flüssen oder Bodenteilchen bei Überschwemmungen. Für die Untersuchung organischer Bestandteile empfiehlt die BBodSchV (1999) den (dynamischen) Säulenversuch, ohne diesen näher zu präzisieren,

da zum Zeitpunkt der Einführung der Verordnung noch keine abgeschlossene (zitable) Norm vorlag, sondern nur die Vornorm DIN V 19736 (zwischenzeitlich zurückgezogen). In der geplanten MantelV wurden zwei wesentliche Paradigemenwechsel durchgeführt

Paradigmenwechsel 1 - von der Betrachtung der Feststoffgehalte hin zur Quelltermprognose mit Eluatkonzentrationen: Ein wesentliches Ergebnis des BMBF-Verbundprojekts 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 aufgrund der Matrix und der geringen Probenmengen im Milligramm-Bereich viel größer als bei der Bestimmung von Stoffen in wässrigen Eluaten aus mehreren 100 Gramm bis mehreren Kilogramm Material, 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 (Eberle et al., 2010, Grathwohl & Susset, 2009; Iden et al., 2006; Susset & Leuchs, 2008; van der Sloot, 1997, 2002; Dijkstra et al., 2005). Insbesondere ist es nicht möglich anhand von Feststoffgehalten oder Ergebnissen einer sequentiellen Feststoffextraktion mit unterschiedlich starken Lösemitteln, die Quellstärke oder die zeitliche 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 der GFS oder BM an der Unterkante eines technischen Bauwerks) abzuleiten (siehe u.a. Grathwohl & van der Sloot, 2007; Susset & Leuchs, 2008; 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. Berichte des CEN TC 351 und van der Sloot et al., 2008 und 2010). Es wurde herausgearbeitet, dass zur Beurteilung mineralischer Materialien und auch von Altlasten hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials für das Grundwasser, neben i.d.R. zu aufwändigen Feldlysimeterversuchen, Säulenversuche die realitätsnächsten Ergebnisse liefern (Hjelmar et al., 2013).

Paradigmenwechsel 2 - von der Bewertung bei hohen *WF* 10 zu Eluatkonzentrationen bei *WF* 2: Wesentlich für die Umsetzung der neuen Ableitungssystematik in der geplanten MantelV ist eine geeignete Methode zur Bestimmung der für die Bewertung relevanten Konzentrationen im Sickerwasser. Für den Gesetzgeber sind mittelfristige Zeiträume für die Bewertung relevant und daher werden bei den aktuellen Bundesverordnungsverfahren zur Novellierung der BBodSchV und zur EBV der geplanten MantelV, per Konvention eine über den Zeitraum bis *WF* 2 gemittelte Konzentration zur Bewertung einer Grundwassergefahr herangezogen und entsprechende Untersuchungsmethoden mit *WF* 2 eingeführt. Ein *WF* 2 stellt sich bei gängigen Bauweisen mittelfristig innerhalb bewertungsrelevanter Zeiträume von einigen Jahren bis wenigen Jahrzehnten im Sickerwasser an der Unterkante des Materials ein. *WF* 10 repräsentiert dagegen Konzentrationen, die sich erst langfristig einstellen und daher nicht bewertungsrelevant sind. Im Fall von gut löslichen Substanzen mit einem i.d.R. limitierten mobilisierbaren Anteil im Feststoff wie z.B. Chlorid, Sulfat und bei einigen Schwermetallen klingen die Konzentrationen im Eluat initial schnell auf sehr niedrige Werte bei *WF* 10 ab, die oftmals im Bereich der Bestimmungsgrenzen liegen. Aufgrund der hohen analytischen Fehler in diesem Konzentrationsbereich, kann die Ergebnisunsicherheit außerdem zu Fehlinterpretationen führen. Im BMBF-Verbundprojekt Sickerwasserprognose wurde gezeigt, das Konzentrationen in ausführlichen Säulenversuchen und *WF* 2-Säulenkurzeluaten mit Feldlysimeterergebnissen in der Mehrzahl der Fälle direkt vergleichbar sind (siehe u.a. Delay et al. 2007, Kalbe et al. 2008, Susset & Leuchs, 2011, Grathwohl & Susset, 2009, Susset & Grathwohl, 2011). 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, 2008) 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 nach EBV zulässigen Materialwerte lagen). 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 medienschutzbasierten Einbauwerten im Hinblick auf den Grundwasserpfad direkt beurteilt.

Tabelle 8 gibt einen Überblick zu den Vor- und Nachteilen verschiedener Laboruntersuchungsmethoden und zu den Anwendungsfeldern innerhalb der geplanten MantelV.

Tabelle 8: Vergleich gängiger Labormethoden zur Beurteilung der Umweltqualität, relevante DIN-Normen, Vor- und Nachteile und Umsetzung in der geplanten MantelV, Abkürzungen: EN: Eignungsnachweis, FÜ: Fremdüberwachung, WPK: werkseigene Produktionskontrolle, MW: Materialwert nach EBV.

Test-verfahren	relevante DIN-Normen	Vorteile	Nachteile	geplanter Einsatz in Deutschland (Mantelverordnung)
Feststoff-gehalt	verschiede Bestim-mungsnor-men, z.B. Königswas-serextrakt, etc.	Messergebnis liegt relativ rasch vor	keine Aussage zu Höhe und zeitli-chem Verlauf der Konzentration im Wasser, keine Sickerwasser-prognose möglich	Vorsorge- und Fest-stoffwerte von Bagger-gut und Bodenmaterial (MW), MW der Σ16 EPA PAK von RC-Baustoffen, Dokumentation der Feststoffwerte von Schwermetallen für RC-Baustoffe im Rah-men von EN und er-weiterter FÜ (keine MW, nicht ein-stufungsrelevant)
WF 10-Schütt-teleluat	DIN 38414-4, 10/1984 2015-12-01 zurückgezo-gen	kurze Elutionszeit 24 h / 1 Tag[1]	begrenzter Anwendungsbereich: nur für Anorganika und Schläm-me/Sedimente, für Abfälle/MEB nicht genormt, 2015 zurückgezo-gen; Hohe *WF*, Verdünnung, Messun-sicherheit, keine Aussage für bewertungsrelevante Konzentra-tionen möglich; 1 - Punktverfahren keine Aussage zum zeitlichen Stofffreisetzungs-verlauf; für Organika nicht geeig-net/nicht zugelassen (BBodSchV, 1999); aufwendiger Flüssig-/Fest-Trennungsschritt zur Eluataufbe-reitung: Absetzen, Dekantieren, Zentrifugation, Druckfiltration, dadurch weiterer Zeitbedarf und Fehlerquellen	Keine Verwendung
WF 2-Schütt-teleluat	DIN 19529 (2012) Schüttel-test*WF* 2,	kurze Elutionszeit 24 h / 1 Tag[1]	1 –Punktverfahren, keine Aussa-ge zum zeitlichen Stofffreiset-zungsverlauf, aufwendige Eluataufbereitung:	Bestimmung von Eluatwerten für BM und BG nach BBodSchV und von MW nach EBV

	Anorganika und Organika		Absetzen, Dekantieren, Zentrifugation, Druckfiltration, dadurch weiterer Zeitbedarf und zusätzliche Fehlerquellen; Untersuchung von Organika fachlich umstritten, da ggf. Minderbefunde durch Filtersorption/Filterkuchen, etc.	bei werkseigener Produktionskontrolle (WPK) und regelmäßiger Fremdüberwachung (FÜ)
WF 2 Säulenkurztest	DIN 19528 (2009) Kurztest: *WF* 2 kumulativ, Anorganika und Organika	i.d.R. keine Eluataufbereitung erforderlich (da Trübe < 100 FNU), direkte Weiterverarbeitung für Analyse, keine Filtersorption/Filterkuchen	1 –Punktverfahren keine Aussage zum zeitlichen Stofffreisetzungsverlauf, geringfügig höhere Elutionszeit 30 bis 55 h/ca. 2 Tage[2]	Bestimmung von Eluatwerten für BM und BG nach BBodSchV und von MW nach EBV bei werkseigener Produktionskontrolle (WPK) und regelmäßiger Fremdüberwachung (FÜ)
ausführlicher Säulenversuch bis *WF* 4	DIN 19528 (2009), ausführlicher Test, Anorganika und Organika	zeitlicher Stofffreisetzungsverlauf Prognose /Trend/Interpolation des Langzeitfreisetzungsverhaltens, i.d.R. keine Eluataufbereitung erforderlich (da Trübe < 100 FNU), direkte Weiterverarbeitung für Analyse, keine Filtersorption/Filterkuchen	längere Versuchszeit, ca. 60 – 110 h / ca. 4-5 Tage[2] höherer Analyseaufwand für 4 Fraktionen	Eignungsnachweis (EN), Dokumentation und rechnerische Bestimmung von MW nach EBV

1: Reine Elutionszeit, bei allen Schüttelverfahren kommen Arbeits- und Zeitaufwand für die Eluataufbereitung, insbesondere zur Flüssig-Fest-Trennung: Absetzen, Dekantieren, Zentrifugation, Druckfiltration hinzu, der bei Säulenversuchen i.d.R. entfällt.

2: Die Versuchszeiten von Säulenversuchen hängen von der Korndichte und dem Porenanteil in der Säulenpackung ab. RC-Baustoffe, Bodenmaterial, Sande, Kiese liegen im unteren bis mittleren Bereich der angegebenen Spannen. Aschen und leichte Böden im unteren Bereich oder darunter, Gleisschotter liegen im mittleren Bereich, Kupferhütten- und Stahlwerksschlacken liegen im oberen Bereich.

2.3.3 Elutionsverfahren in Deutschland und Europa – Einsatzbereiche, technische Unterschiede

Tabelle 9 listet die derzeit relevanten Normen und Vornormen zur Elution von Abfällen und Bauprodukten und deren Einsatzbereiche in bestehenden und geplanten Regelwerken in Deutschland und Europa. Für die grundlegende Charakterisierung von Materialien bzgl. der Freisetzung von Schadstoffen fokussieren nationale (DIN, NEN) und internationale (CEN, ISO) Normungsaktivitäten auf die Weiterentwicklung von Säulenversuchen.

Der in **Deutschland** für die **MantelV** normierte und erfolgreich validierte Säulenversuch nach **DIN 19528** (2009) für die gemeinsame Untersuchung der Freisetzung von anorganischen und organischen Stoffen aus Feststoffen basiert auf der deutschen Vornorm DIN V 19736 und europäischen und internationalen Normentwürfen aus dem europäischen Abfall- und Deponierecht, dem Säulenversuch nach DIN CEN/TS 14405 für anorganische Stoffe aus dem Jahr 2004 und der ISO-Vornorm eines Säulenversuchs (ISO/TS 21268-3) aus dem Jahr 2006. Bei letzterer wurde – erstmalig im internationalen Kontext – auch die gemeinsame Untersuchung von anorganischen und organischen Stoffen im Säuleneluat vorgeschlagen.

Unter der **EU-Bauproduktenrichtlinie** (Richtlinie 89/106/EWG, BPR, CPD) hat die Europäische Kommission die Entwicklung von Prüfverfahren für die **Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten** beauftragt (Mandat 366, März 2005). Das Mandat sieht zur Umsetzung der „wesentlichen Anforderung Nr.3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ der BPR vor, dass die in den notifizierten Vorschriften der Mitgliedstaaten in Bezug genommenen Prüfverfahren zu harmonisieren sind. Mittelfristig sollen die Schadstofffreisetzungseigenschaften von Bauprodukten unter der neuen EU-Bauproduktenverordnung (Regulation EU No 305/2011 for construction products, CPR) in die CE-Kennzeichnung aufgenommen werden. Working Group 1 des technischen Komitees CEN/TC 351 (Construction products – Assessment of release of dangerous substances) hat hierfür einen europäisch harmonisierten Säulentest für die gemeinsame Untersuchung von anorganischen und organischen Schadstofffreisetzungen aus Bauprodukten entwickelt. Dieser liegt nun nach langer Entwicklungsphase als Vornorm **DIN CEN/TS 16637-3** (Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 3: Horizontale Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom; Deutsche Fassung CEN/TS 16637-3:2016) vor. Ein Ringversuch zur Validierung dieses Verfahrens startet im Jahr 2017, so dass die endgültige Europäische Norm (EN) voraussichtlich Anfang 2019 vorliegt (zum Stand der Arbeiten siehe auch Ilvonen et al., 2015).

Unter der **EU-Landfill-Directive** gibt es Bestrebungen der Working Group 2 und 6 des technischen Komitees CEN/TC 292 (Characterization of Waste) die oben genannte europäische Vornorm eines **Säulentests für Abfälle** nach DIN CEN/TS 14405 aus dem Jahr 2004 für die gemeinsame Untersuchung von anorganischen und organischen Schadstoffen zu erweitern und kurzfristig mit Testdaten aus den USA zu validieren. Die aktuellste Fassung ist nun als **FprEN 14405** "Charakterisierung von Abfällen - Untersuchung des Elutionsverhaltens - Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom (unter festgelegten Bedingungen)" im Entwurf von November 2016 im Abstimmungsverfahren. Mit einer vollwertigen EN für den Abfall-/Deponiebereich ist im Jahr 2018 zu rechnen.

Wie die Einsatzbereiche in Tabelle 9 zeigen, wird der Säulenversuch nach DIN 19528 in der EBV und in der Novelle der BBodSchV im Rahmen der geplanten MantelV des Bundes und auch in der aktuellen DepV (2016) in Bezug genommen. Im Rahmen der Güteüberwachung soll für den Eignungsnachweis (EN) ein ausführlicher Säulenversuch nach DIN 19528 durchgeführt werden. Der *WF* 2-Säulenkurztest nach DIN 19528 dient zur Feststellung der bewertungsrelevanten kumulativen Konzentration bei *WF* 2 zum Abgleich mit den Materialwerten der EBV und den Prüfwerten der BBodSchV. Für die Übereinstimmungsuntersuchungen kann alternativ zum Säulenversuch im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) und der regelmäßigen Fremdüberwachung (FÜ) und für die Untersuchungen nach Novelle BBodSchV auch das in Deutschland genormte und validierte Schütteleluat bei *WF* 2 (DIN 19529, 2012) zur gemeinsamen Untersuchung von anorganischen und organischen Stoffen eingesetzt

werden. Nach aktueller DepV wird der Säulenkurztest nach DIN 19528 zur Bestimmung der kumulativen PAK-Konzentration bei *WF* 2 eingesetzt. Der europäische Säulenversuch nach Vornorm DIN CEN/TS 14405 aus dem Jahr 2004 wird als ausführlicher Test im Rahmen der DepV und der EU-Landfill-Directive für die Prüfung des C_0-Wertes von Sulfat und Antimon bei *WF* 0,1 eingesetzt. Für den Abgleich der Konzentrationen bei *WF* 2 nach EU-Landfill-Directive oder bei *WF* 10 nach DepV sollen die Schüttelverfahren der Normenreihe des CEN (DIN EN 12457-1 bis 4, 2003) für die Untersuchung der Freisetzung anorganischer Stoffe aus Abfällen bei *WF* 2 und *WF* 10 eingesetzt werden (zulässig ausschließlich für Anorganika). Unter der EU-Bauproduktenverordnung (CPR) ist der Einsatz eines Säulenversuches nach DIN CEN/TS 16637-3 als ausführlicher Test für die grundlegende Charakterisierung von Bauprodukten im Rahmen der CE-Kennzeichnung geplant, sobald dieser erfolgreich validiert ist.

Die Auswirkungen europäisch genormter Säulentests für Bauprodukte und Abfälle auf die deutsche DIN 19528 und die geplante MantelV diskutieren Ilvonen et al. (2013): Wenn eine abgeschlossene europäische Norm vorliegt, müssen die entsprechenden nationalen Normen mit demselben Geltungsbereich zurückgezogen werden, sofern auf europäischer Ebene nur eine Vornorm (CEN/TS oder DIN SPEC) vorliegt, kann die nationale Norm vorerst beibehalten werden. Anschließend müssen in den harmonisierten europäischen Produktnormen (hEN) die Normen in Bezug genommen werden. Nach der jetzigen Sichtweise der Kommissionsdienste können die Produkt-TCs schon Vornormen (CEN/TS) in Bezug nehmen, aber eine Umsetzungspflicht der Untersuchungsverfahren bzgl. der Umweltanforderungen in hEN besteht erst, wenn die Prüfnormen als EN vorliegen. Beispielsweise muss dann in der Norm für Gesteinskörnungen (für ungebundene Anwendungen) die vorgeschriebene Typprüfung neben den sonstigen technischen Prüfverfahren auch eine Prüfung nach dem europäischen Säulentest umfassen. Das nationale Umweltschutzniveau (nationale Grenzwerte z.B. Materialwerte der geplanten MantelV) bleibt jedoch in der Kompetenz der Mitgliedstaaten und ist nicht Gegenstand der Harmonisierung. Die Bedeutung der europäischen Prüfnormen für die geplante EBV hängt entscheidend davon ab, ob es MEB gibt, die gleichzeitig Bauprodukte im Sinne der europäischen Bauproduktenrichtlinie bzw. der nachgefolgten EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO; engl. CPR) sind. Nach Einschätzung vom Ilvonen et al. (2013) ist dies für viele MEB in der EBV der Fall. Diese MEB bzw. Bauprodukte im Sinne der CPD müssten dann eine CE-Kennzeichnung erhalten und im europäischen Binnenmarkt frei gehandelt werden zu dürfen. Sofern in den oben genannten Produktnormen zukünftig eine Auslaugprüfung zur Typprüfung (Type Testing) nach einem europäischen harmonisierten Testverfahren vorgesehen ist (also wenn DIN CEN/TS 16637-3 nach Abschluss einer Validierung als DIN EN 16637-3 vorliegt), kann in Deutschland keine weitere Prüfung der gleichen Eigenschaft nach einem anderen Verfahren verlangt werden. Dieses Vorgehen gilt für Bauprodukte, die aufgrund des Aufbereitungs- und des Herstellprozesses nach der harmonisierten Produktnorm die Abfalleigenschaft verloren haben und auch als Bauprodukt eingesetzt werden sollen. Für Abfälle – auch solche unter der EBV – sind jedoch die europäischen Prüfnormen für Abfälle des TC 292 in Bezug zu nehmen, sobald diese als validierte EN vorliegen (eine Validierung von CEN/TS 14405 wird derzeit angestrebt, s.o). Ob und wann die DIN-Normen innerhalb der MantelV durch europäische Normen tatsächlich abgelöst werden müssen ist noch nicht abschließend geklärt.

Auch Bodenmaterialien können Produkte im Sinne der Bauproduktenverordnung werden. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden von den 50 neu beschafften Bodenproben Proben zurückgestellt. Mit diesen Rückstellproben sollen im Rahmen anderer Vorhaben Vergleichsuntersuchungen nach deutschen und europäischen Säulenversuchen durchgeführt werden.

Tabelle 9: Geplante Verwendung von Normen zur Elution von Materialien in bestehenden und geplanten Regelwerken in Deutschland und Europa.

Methode (Norm, Vornorm)	EBV (Artikel 1 Kabinettsfassung-MantelV des BMUB, 2017)	BBodSchV (Artikel 1 Kabinettsfassung MantelV des BMUB, 2017)	DepV (2016)	Geplante CE-Kennzeichnung "Umwelt" Bauproduktenverordnung (CPR, 2011)
Säulenversuche				
DIN 19528 (2009) Kurztest: *WF* 2 kumulativ, ausführlicher Test: bis *WF* 4 Anorganika und Organika	Kurztest: werkseigene Produktionskontrolle (WPK), regelmäßige Fremdüberwachung (FÜ), ausführlicher Test: Eignungsnachweis (EN), Materialwerteabgleich	Kurztest: Eluat- und Prüfwerteabgleich	Kurztest: ausschließlich für PAK-Deponiezuordnungskriterien bei *WF* 2 kumulativ	
FprEN 14405 (Entwurf vom November 2016) Kurztest: *WF* 2 kumulativ, ausführlicher Test: bis *WF* 10, erweitert für Anorganika und Organika			ausführlicher Test ausschließlich für Prüfung C_0-Deponiezuordnungskriterien von Sulfat und Antimon bei *WF* 0,1	
DIN CEN/TS 16637-3 (Entwurf vom Dezember 2016) Kurztest: *WF* 2 kumulativ, ausführlicher Test: bis *WF* 10 Anorganika und Organika				ausführlicher Test: grundlegende Charakterisierung von Bauprodukten im Rahmen von CE
Schüttelversuche				
DIN 19529 (2012) Schütteltest *WF* 2, Anorganika und Organika	WPK, regelmäßige FÜ, Materialwerteabgleich	Prüfwerteabgleich		
DIN EN 12457 1-4 (2003) Schütteltest *WF* 2 und *WF* 10, ausschließlich Anorganika			Abgleich mit Deponiezuordnungskriterien *WF* 10 (EU-Landfill-Directive auch *WF* 2)	

3 Material und Methoden

3.1 Probenbeschaffung

Neubeprobung von 50 Bodenmaterialien

Grundlage für die Auswahl von Probenahmestellen waren aufwendige und umfängliche Vorabfragen des UM BW über die Industrieverbände und die Landesverwaltung. Es wurden auf diese Weise durch das UM BW bereits 50 Probenahmestellen identifiziert. Die individuellen Meldungen (überwiegend aus der Straßenbauverwaltung) wurden am 06. September 2016 dem Auftragnehmer übersandt. Auf Grundlage der Abstimmungen im Kick-Off-Meeting vom 16. September 2016 (vgl. Protokoll des UM BW vom 04. Oktober 2016) wurde bei der endgültigen Probenahme, eine Abwägung zwischen geologisch signifikanten Regionen und Regionen, die hohe Bautätigkeit erwarten lassen, vorgenommen. Da aus Sicht des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) in der Ursprungsliste die Formationen Mitteljura und Unterjura unterrepräsentiert waren, wurden weitere Probenahmestellen in diesen Formationen berücksichtigt. Etwa 10 Probenahmestellen stammen aus vorgenutzten Böden im städtischen Bereich. Altlasten wurden nicht beprobt. Abstimmungsgemäß erfolgte bei Probenahmestellen mit verschiedenen Horizonten unterschiedlicher Geologie, soweit möglich, eine separate Erfassung der Horizonte, auch wenn in der Realität einer Baumaßnahme der Bodenaushub über die Tiefe gemischt anfallen dürfte. Dieses Vorgehen führte zur Generierung von eindeutig zuordenbaren Ergebnissen. Eine Mischprobe über die Horizonte hinweg hätte hingegen ein verwaschenes Bild entstehen lassen.

Bis Ende 2016 konnten 35 Bodenproben gewonnen werden. 15 Probenahmestellen aus der ursprünglichen Liste des UM BW konnten nicht beprobt werden, weil die Baumaßnahmen schon abgeschlossen waren, auf absehbare Zeit nicht beginnen oder aus anderen Gründen kein Zugang gewährt wurde. Nach Rücksprache mit dem UM BW am 16. Dezember 2016 wurden deshalb die restlichen Proben nach eigener Expertise des AN organisiert und beprobt.

Die letzte Bodenprobe wurde Ende Februar 2017 gewonnen.

Rückstellproben der LUBW

Die LUBW hat dem Auftragnehmer 59 Rückstellproben aus dem Jahr 2004 aus der LFU-Untersuchungskampagne „Analytische Untersuchungen von Bodenaushub in Baden-Württemberg“ (LfU, 2005) zur Verfügung gestellt. Sie wurden im Oktober 2016 an das Labor der GIU GmbH übergeben.

3.2 Methodik der Probenahme

Mit den Bodenproben sollte die Heterogenität des Materialstroms Boden und Steine in Baden-Württemberg betrachtet werden (geologisch signifikante Regionen und Regionen mit hoher Bautätigkeit). Ziel der Probenahme war es, für jede Bodenprobe 6 aliquote Teilproben zu gewinnen, um diese mit diversen Laborversuchen vergleichend zu untersuchen.

Es wurden folgende Regelwerke und Normen berücksichtigt:

- BBodSchV (1999) bzw. Novelle BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV (2017, hier §§ 19 - 23)
- DIN ISO 10381-1, -2 (2003-08) – Bodenbeschaffenheit – Probenahme (Hinweise zur Strategie und allgemeinen Ausführung der Probenahme)
- DIN 19698 -1 (2014-05, segmentorientierte Probenahme von Haufwerken), DIN 19698-2 (2016-12, integrale Charakterisierung von Haufwerken) und LAGA PN 98 [2001, LAGA PN 98 (Vorgehensweise Beprobung von Abfällen)

- DIN EN 932-1 (1996-11, Probenahmeverfahren)
- DIN 19747 (2009-7, Probenvorbehandlung, -vorbereitung, -aufbereitung)

Zur Gewinnung von 6 aliquoten Teilproben (TP) wurde wie folgt vorgegangen:

- Einzel-Entnahme als Mischprobe zu 50–60 l (m = 70–84 kg) aus ≥ 4 [DIN 19698], [LAGA PN 98] bzw. 15 – 25 [BBodSchV 1999] Einzelproben, tatsächlich ≥ 50 Einstiche aus Schürfen im gewachsenen Boden, Schürfe in Aushubmassen, Schürfe in Haldenlagerungen, Auffüllungen und Abraum sowie Schürfe in Aufschlüssen.
- Probenteilung in 6 (n) aliquote TP á 8 bis 9 Liter (11 – 13 kg) durch fraktionierendes Teilen [DIN EN 932-1]
- Probenvorbehandlung: a.) Homogenisieren [DIN 19747] b.) Probenteilung durch fraktionierendes Schaufeln nach m/(30n)[DIN EN 932-1], [LAGA PN 98], [DIN 19747] c.) Probenverpackung in lebensmittelechten Kunststoffeimer und Lagerung bei 4°C bis zum Versand [LAGA PN 98], [DIN 19747]

Abbildung 2 zeigt die Behandlung und Verteilung der Teilproben: TP 1-3 für chemische Untersuchungen, TP 4 für Bodenansprache und Klassierung sowie die TP 5 und 6 als Rückstellproben.

Die Dokumentation der Probenahme erfolgte über Probenahmeprotokolle der IBE GmbH und der GIU GmbH (vgl. CD-ROM-Anhang 7.3.1).

Abbildung 2: Probenahme, Herstellung von Laboratoriums- und Prüfproben, Probemassen. Verteilung der Teilproben: TP 1-3 für chemische Untersuchungen, TP 4 für Bodenansprache und Klassierung sowie TP 5 und 6 als Rückstellproben.

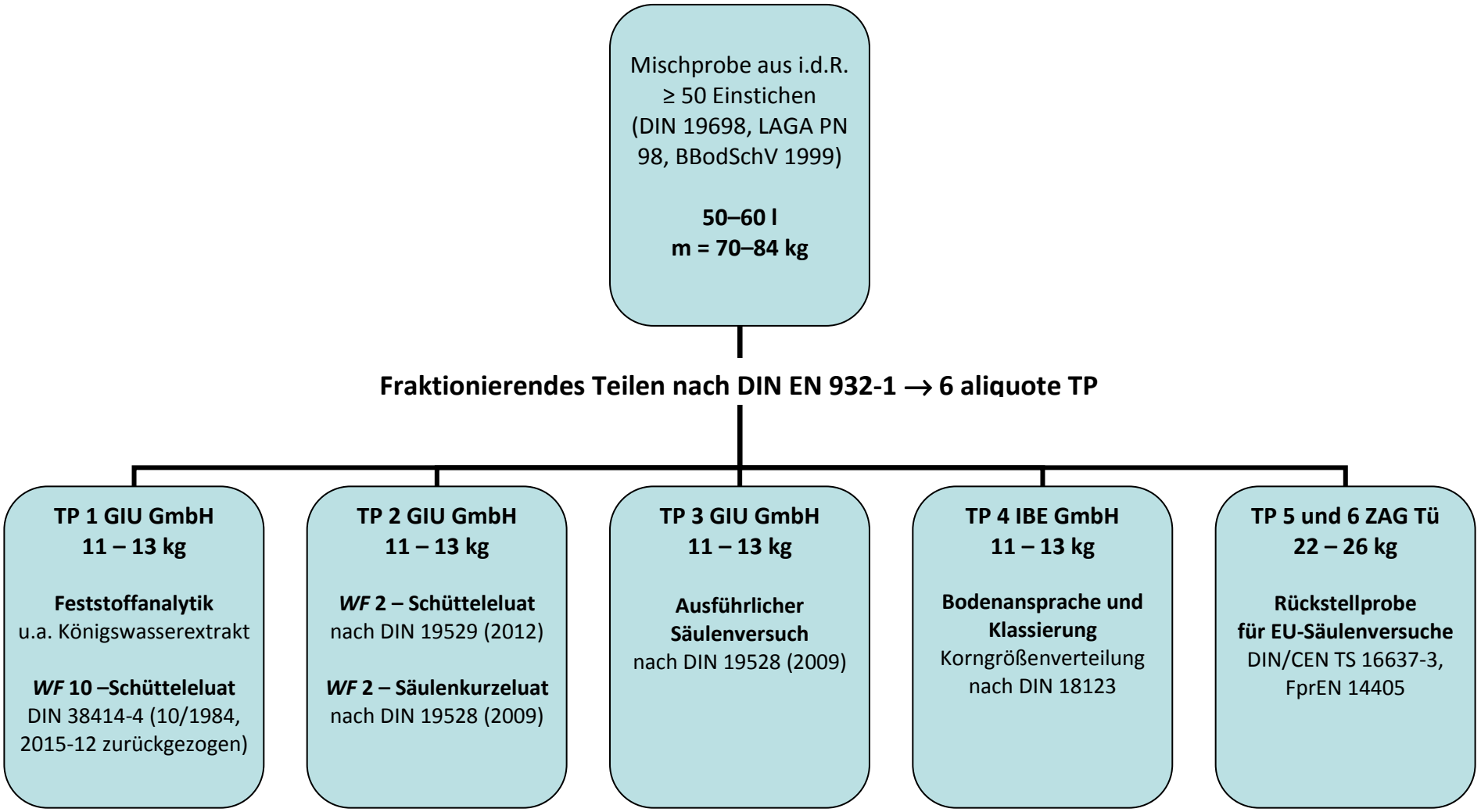
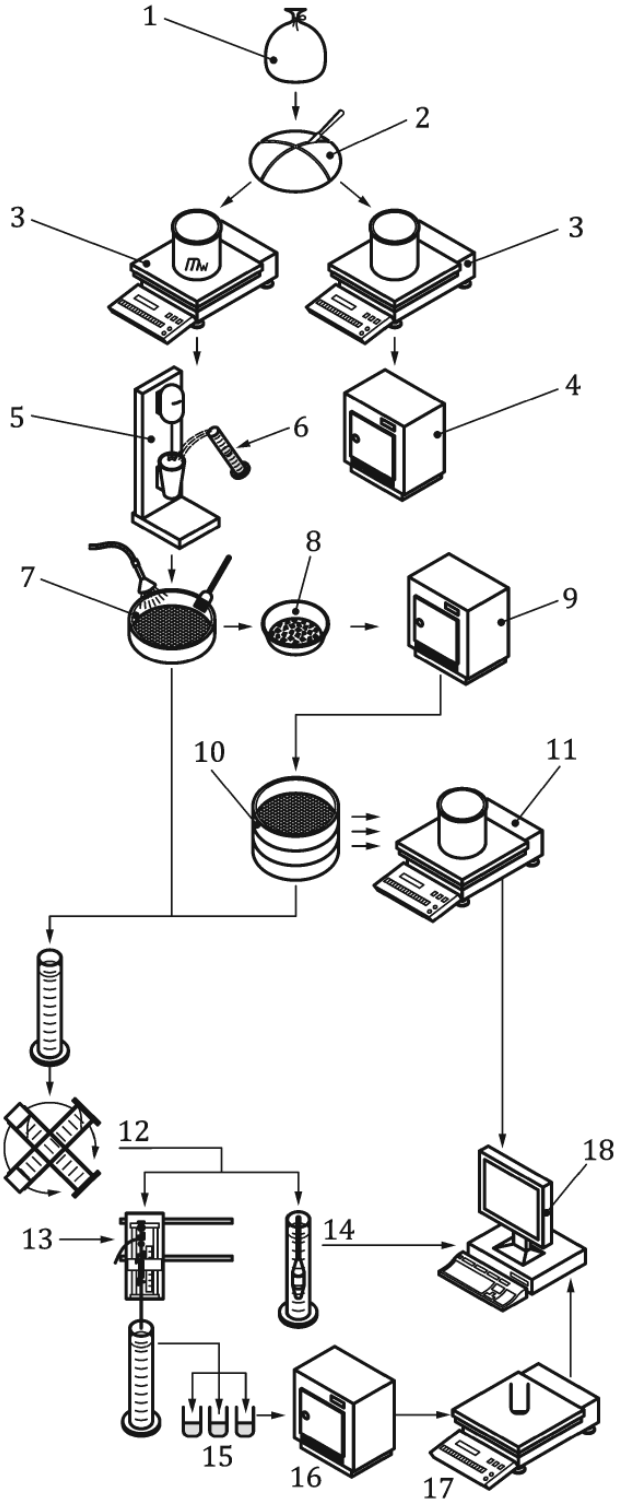


Abbildung 3: Probengewinnung am Beispiel eines Abraums eines Steinbruchs im Mittleren Muschelkalk, von links oben nach rechts unten: Entnahmestelle Abraum, beprobtes Bodenvolumen von ca. 50 Liter aus 65 Einzeleinstichen, Bildung von 6 aliquoten Teilproben durch fraktionierendes Teilen, verpackte und gekennzeichnete Teilproben 1 bis 6. Eigene Fotographien der IBE GmbH.

3.3 Materialcharakterisierung im geotechnischen Labor

Im geotechnischen Labor der IBE GmbH wurde für alle 50 neu gewonnenen Bodenproben gemäß DIN 18123 (ersetzt durch DIN EN ISO 17892-4:2016, Fassung 2017-04) durch Siebung und Siebung/Sedimentation die Korngrößenverteilung bestimmt. Abbildung 4 zeigt das Verfahren zur Bestimmung der Korngrößenverteilung.

Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Probenbehandlung für die Ermittlung der Kornverteilung mittels Sieb-/Schlämmanalyse.



Bei der Durchführung der Sieb-/Schlämmanalyse muss ein kennzeichnender Durchschnitt des zur Untersuchung gelangenden Bodens und dem darin befindlichen Größtkorn Berücksichtigung finden. Hierbei bewegen sich die Probenmengen für Siebungen zwischen 150 g und 18000 g Trockenmasse des bei 105°C getrockneten Bodens bei einem Größtkorn zwischen 2mm und 60mm.

Bei der Sedimentation des Korns < 0,125mm ist eine zweite Teilprobe der Bodenprobe, welche nicht einer Trocknung bei 105°C unterzogen wurde zur Untersuchung zu bringen. Diese Teilprobe ist so zu bemessen, dass der Anteil des Feinkorns < 0,125 mm für die Messprobe in der Teilprobe ca. 30 g bis 50 g entspricht.

Die Sedimentation beruht auf dem Gesetz von Stokes, dass einen Zusammenhang zwischen Korngröße, Dichte und Sinkgeschwindigkeit unterschiedlich großer/schwerer Körner in stehendem Wasser beschreibt

3.4 Probenvorbereitung für chemische Analysen

3.4.1 Herstellung von Teilproben für chemische Untersuchungen

Die Teilproben aus der Laboratoriumsprobe für die verschiedenen Untersuchungen im Labor wurden mit einem Riffelteiler hergestellt. Abbildung 5 zeigt einen Riffelteiler mit 8 Öffnungen mit der Spaltbreite von 5 cm. Die Materialmenge der Teilproben 1 bis 3 (vgl. Abbildung 2) für chemische Untersuchungen wurde in repräsentative Prüfproben geteilt. Jede Teilprobe wurde vor der weiteren Verarbeitung bei Raumtemperatur mehrere Tage an der Luft getrocknet und dann kühl und dunkel gelagert.

Abbildung 5: Probenteilung mit Riffelteiler

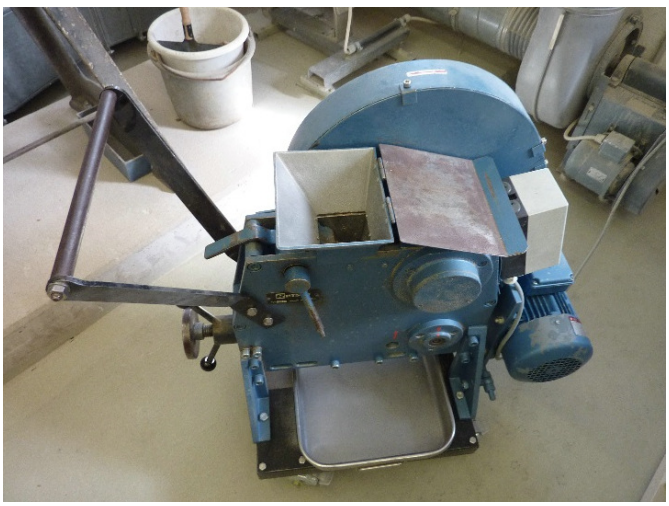
3.4.2 Sieben

Bei einigen Proben mussten Teilfraktionen aus der Originalkrönung herausgesiebt werden. Hierfür wurde ein mechanischer Schüttel-Siebturm bestehend aus einer Serie von Sieben mit je 20 cm Durchmesser verwendet. Das Material wurde jeweils über einen Zeitraum von 10 Minuten gesiebt.

3.4.3 Brechen

Für Proben mit Überkornanteilen (z. B. > 32 mm) wurden gemäß der DIN-Normen für Schüttel- und Säulenversuche, die gewünschten Korngrößenverteilungen durch Brechen und Sieben von Teilfraktionen aus der Originalkörnung hergestellt (z.B. Brechen der Fraktion > 32 mm und Aussieben der Fraktion 16/32 nach DIN 19528). Hierfür wurde ein Backenbrecher eingesetzt (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 6: Zerkleinerung (Brechen) von Proben mit einem Backenbrecher.



3.4.4 Bestimmung von Wassergehalt und Korndichte der Materialproben

Als weitere wichtige Parameter zur Materialcharakterisierung für dieses Projekt wurden Wassergehalte und Korndichten der Materialproben bestimmt. Letztere sind für die Berechnung der Pumpraten der Persitaltikpumpen zur Einhaltung der geforderten konstanten Kontaktzeit von 5 Stunden nach DIN 19528 erforderlich. Zur Bestimmung wurde das luftgetrocknete Material in einer vorgewogenen Aluminiumschale bei 105 °C im Ofen 24 Stunden getrocknet und durch Rückwägung das Massendefizit bestimmt und der Feuchtegehalt berechnet.

Tabelle 10 listet die hier verwendeten Geräte und Verfahren für die Probenaufbereitung und Materialcharakterisierung.

Tabelle 10: Materialcharakterisierung: Geräte, Hersteller, Probentyp, Messverfahren

Gerät	Firma (Produkt)	Probentyp	Messparameter/-verfahren
Probenteiler	Retsch GmbH (RT 50)	fest	Probenteilung in Aliquote
Siebe	Retsch GmbH (Siebe ISO 3310/1)	fest	Sieben, Entfernung Überkorn, Fraktionierung
Backenbrecher	Retsch GmbH (BB 1)	fest	Brechen

3.5 Säulen- und Schüttelversuche

Ausführliche Beschreibungen der Laborverfahren (Schüttelverfahren, Säulenverfahren, Packen der Säulen, Säulenversuchsdurchführung, Probenahme, Probenaufbereitung/Teilung) finden sich in den einschlägigen und hier angewendeten Normen DIN 19528 (2009), DIN 19529 (2012) und DIN 38414-4 (10/1984, 2015-12 zurückgezogen). Die Eluate wurden entsprechend der Normen aufgearbeitet und nach den Analytikmethoden der Novelle BBodSchV (Kabinettsfassung MantelV, 2017) analysiert.

Abbildung 7: Säulenversuchsaufbau im Labor. Eigene Fotographie des ZAG Tübingen.

Säulenversuche der GIU GmbH

Alle Säulenversuche wurden in einem 20°C Raum bei konstanter Temperatur durchgeführt. Unter Einhaltung der vorgeschriebenen Quotienten zwischen ID-Säule/Korndurchmesser und Füllhöhe/ID - Säule wurden für Proben mit einem maximalen Korndurchmesser von 22,4 mm kleine Glassäulen mit einem Innendurchmesser von 5 cm und einer Füllhöhe von 28 cm und für Proben mit Korndurchmessern bis 31,5 mm, große Säulen mit Innendurchmesser von 7 cm und einer Füllhöhe von 28 cm verwendet. An der Zu- und Ablaufleitung wurde etwas Quarzwolle unmittelbar vor die Leitungsöffnungen eingebracht, um eine Verstopfung der Leitungen zu vermeiden. Im unteren und oberen Abschnitt der Säule wurde, um ein gleichmäßiges An- und Abströmen des Wassers über den gesamten Querschnitt der Säule sicherzustellen, ein 1 cm mächtiges Quarzsandbett platziert. Es handelt sich hierbei um einen handelsüblichen gewaschenen Quarzsand der Körnung 0,6 bis 1,2 mm, der nur an der Luft getrocknet wurde (keine Ofentrocknung, da sonst Laborhintergrundkontaminationen über die Laborluft eigefangen werden können). Grobe Materialproben mit großen Poren wurden abweichend von der Norm nicht mit Quarzsandschichten überdeckt, weil es sonst zu einem Einsickern des Sandes in diese Poren kommen kann. Für die Wasserzufuhr wurden Teflonleitungen eingesetzt, für die Wasserabfuhr Edelstahlleitungen. Als Eluent wurde MilliQ Wasser (Millipore, MA, USA) eingesetzt (entspricht Wasser, deionisiert mit einer maximalen Leitfähigkeit von 0,5 mS/m, entsprechend Qualität 3 nach DIN ISO 3696). Der Eluent wurde in einer 50 Liter-Korbflasche aus Glas vorgehalten. Die Fließraten für die Aufsättigung der Säulen und die eigentliche Perkolation während des Säulenversuches wurden mittels einer Peristaltikpumpe angepasst. Nach DIN 19528 wurde die Pumprate so eingestellt, dass eine Aufsättigungsdauer von 2 Stunden und eine konstante Kontaktzeit von 5 Stunden resultiert - die Pump- und Fließraten sind von der Säulendimension, und der Einbau- und Korndichte des Materials abhängig. Spätestens 1 Stunde nach Aufsättigung wurde der Versuch sofort gestartet. Die Pumpraten der Peristaltikpumpe wurden nach jedem Flaschenwechsel überprüft und ggf. adjustiert. Die Eluatfraktionen wurden grundsätzlich entsprechend der vorgeschriebenen *WF*-Raten bei: 0,3, 1, 2, 4 L/kg beprobt. Die Eluate wurden in Glasflaschen aufgefangen und im Kühlraum bei 4 °C gelagert. Sammelflaschen zum Auffangen von Eluaten für die nachfolgende Analyse auf PAK wurden verdeckelt und das Teflonlay mit der Edelstahlröhre der Säulenableitung durchstochen. Sehr große Eluatmengen einer Fraktion mussten in mehreren Flaschen gesammelt und wieder kombiniert werden.

Schüttelversuche der GIU GmbH

Die Schüttelversuche erfolgten im Überkopfschüttler für die Dauer von 24 h mit 3 U min^{-1} in einem 20°C Raum bei konstanter Temperatur.

3.6 Aufbereitung und Analyse der Eluate

Das Eluat wurde für die unterschiedlichen chemischen Analysen in eine geeignete Anzahl von Teilproben geteilt und nach den Anforderungen der spezifischen Analysenverfahren und nach DIN EN ISO 5667-3 konserviert.

Bei 19 von 109 Proben (LUBW-Proben: bei 8 von 59) ergaben sich im Säulenversuch Trübungen > 100 FNU, was einem Anteil von 17,4 % der Proben entspricht. Bei 70 % dieser 19 Proben waren alle Eluatfraktionen betroffen; beim Rest nur die ersten beiden Fraktionen. Die in diesem Bericht angegeben Trübewerte sind stets die nach Zentrifugation gemessenen Werte. Für diese Eluate musste vor der Analyse entsprechend DIN 19528 (2009) eine Zentrifugation durchgeführt werden.

Für die restlichen 90 Proben wurden die Teilproben der Eluate für die Untersuchung organischer Stoffe ohne weitere Aufbereitung direkt für die Analyse verwendet. Teilproben der Eluate für die Analyse von DOC, Ionen (Ionenchromatographie, IC) und Metallen wurden gemäß Norm über einen Membranfilter der Porengröße von 0,45 µm filtriert.

Hydrogeochemische Begleitparameter:

Trübe, Leitfähigkeit und pH wurden unverzüglich, spätestens aber innerhalb von 2 Tagen nach Probenahme, im nicht weiter aufbereiteten Eluat untersucht. Die Eluate wurden per IC auf folgende Ionen analysiert: Anionen: Brom (Br), Chlorid (Cl), Fluorid (F), Nitrat (NO3), Nitrit (NO2), Phosphat (PO_4), Sulfat (SO_4). Kationen: Ammonium (NH_4), Calcium (Ca), Kalium (K), Natrium (Na), Magnesium (Mg).

Metalle

Für die Metallanalytik wurden aus dem filtrierten Eluat 100 ml Teilproben gewonnen, angesäuert und im Labor der GIU GmbH per induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektroskopie (ICP/MS) auf folgende Substanzen analysiert:

Aluminium (Al), Antimon (Sb), Arsen (As), Barium (Ba), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Cobalt (Co), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Silicium (Si), Strontium (Sr), Zink (Zn) und Vanadium (V).

Organika

Alle Eluatfraktionen (*WF* 0,3, 1, 2, 4 L/kg) wurden auf Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) analysiert. Eine möglichst große Menge Eluat (bestenfalls 800 ml) wurde in einer 1 Liter Braunglasflasche mit 10 µL dotiertem internen Standard (PAK-Mix 31, enthält folgende fünf deuterierte PAK: Naphthalin-d8, Acenaphthen-d10, Phenanthren-d10, Chrysen-d12 und Perylen-d12, Dr. Ehrenstorfer GmbH) und 10 ml Cyclohexan für 30 Minuten auf dem Rolltisch geschüttelt und über Nacht gelagert. Sobald sich die Cyclohexanphase abgetrennt hatte, wurde das überstehende Cyclohexan mit einer Pasteurpipette abgezogen und mit Natriumsulfat getrocknet. Mit einem Vapotherm der Firma Barkey wurde das abgenommene Cyclohexan unter einem leichten Stickstoff-Gasstrom auf ca. 100 µl eingeengt. Diese Extrakte wurden dann von chemisch-technische Assistenten im Laboratorium der GIU GmbH mittels HPLC mit DAD/Fluoreszenzdetektion (DIN EN ISO 17993 bzw. DIN CEN/TS 16181) gemessen. Für Kontrolluntersuchungen bzw. zur Plausibilisierung der PAK-Werte kamen Messungen im GC-MS zum Einsatz.

Die im Lösemittelextrakt enthaltenen PAK wurden auf folgende Einzelspezies analysiert (Sortierung nach aufsteigender Kondensation/Molekülgewicht): Naphthalin (Nap), 1-Methylnaphthalin (1-MNap), 2-Methylnaphthalin (2-MNap), Acenaphthylen (Any), Acenaphthen (Ace), Fluoren (Fln), Phenanthren (Phe) Anthracen (Ant), Fluoranthen (Fth), Pyren (Py), Benz[a]anthracen (BaA), Chrysen (Chr), Summe aus Benzo[b] fluoranthen und Benzo[k]fluoranthen (BbF-BkF), Benzo[a]pyren (BaP), Dibenz[a,h]anthracen (DahA), Indeno[1,2,3-c,d]pyren (Indeno), Benzo[g,h,i]perylene (BghiP).

Tabelle 11: Analytik - Geräte, Normen, Nachweisgrenzen der untersuchten Analyten

Gerät	Norm	Nachweisgrenze	Zusatzinformationen	Durchführung
pH-, Leitfähigkeitsmessgeräte			pH Meter (540 GLP) WTW GmbH, LF-Messgerät (LF 91) WTW GmbH	GIU GmbH
Trübemessgerät			Turbidimeter (Modell 2100N) Hach Lange GmbH	GIU GmbH
Total organic carbon Analyzer	DIN EN 1484 (1997)	TOC, 0,5 mg/L	High TOC Analysator (Win-high TOC), Elementar Analysensystem GmbH, Kalibrierungsbereich: 0– 20 mg/L, per Definition entspricht gemessener Wert DOC, wenn Partikel im Eluat < 0,45 µm	GIU GmbH
Ionenchromatograph (IC)	DIN EN ISO 10304-1:2009-07	Brom (Br), Chlorid (Cl), Fluorid (F), Nitrat (NO_3), Nitrit (NO_2), Phosphat (PO_4), Sulfat (SO_4). Ammonium (NH_4), Calcium (Ca), Kalium (K), Natrium (Na), Magnesium (Mg),	Dionex IonPac AS23 Analytical & Guard Columns (DX-120), Dionex GmbH, DColumn: Thermo Scientific Catalog No.: NC0096031: IonPac CS12A-5 um Analytical Column (3 x 150 mm);	GIU GmbH
HPLC mit DAD / Fluoreszenzdetektion Zur Plausibilisierung im Einzelfall: Gaschromatographisches Massenspektrometer (GCMS)	DIN EN ISO 17993 bzw. DIN CEN/TS 16181	PAK, <0,00001 mg/L	HPLC mit DAD / Fluoreszenzdetektion, GC/MS-System (GC 5890 Series II / MSD 5973), Hewlett Packard GmbH, Trennsäule DB-5MS (Länge: 30 m; Filmdicke: 0,25 µm; I.D.: 0,25 mm) der Firma J&W Scientific.	GIU GmbH
induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometer (ICP/MS)	DIN EN ISO 17294-2:2005-02 & DIN EN 1483 (Hg)	<0,0001 mg/L (Hg), <0,001 mg/L (Cd), <0,005 mg/L (As, Ba, B, Pb, Co, Cu, Mo, Tl, V), <BG1 mg/L (Sb, Ni, Zi), <0,05 mg/L (Al, Se)	ICP-MS	GIU GmbH

3.7 Gesamtumfang der Laborversuche und Analytik

In Tabelle 12 sind alle hier durchgeführten Laborversuche und Untersuchungsumfänge, sortiert nach folgenden Fragstellungen aufgeführt:

- Probenaufbereitung und Materialcharakterisierung
- Schüttelversuche
- Säulenversuche

Tabelle 12: Gesamtüberblick Untersuchungsmaterialien und Laboruntersuchungsumfang.

Untersuchungs-material	Bereitsteller / Herkunft	Untersuchungen	Ziel	Anzahl Versuche
59 LUBW-Rückstellproben				
59 Bodenproben	LUBW / Erddeponien Baden-Württemberg	*WF* 10 - Schütteleluat	Wiederholung LUBW-Test, Beurteilung nach VwV Boden 2007, LAGA TR Boden 2004	59
59 Bodenproben		*WF* 2 – Schütteleluat	Beurteilung nach Novelle BBodSchV 2017	59
59 Bodenproben		ausführlicher Säulenversuch, *WF* 2 kum. berechnet	Beurteilung nach Novelle BBodSchV 2017	59
50 neu beprobte Bodenmaterialproben				
50 Bodenproben	Eigene Beprobung / geologische Formationen und Baustellen in Baden-Württemberg	Feststoffanalytik	Beurteilung nach VwV Boden 2007, LAGA TR Boden 2004, Novelle BBodSchV 2017	50
50 Bodenproben		*WF* 10 - Schütteleluat	Beurteilung nach VwV Boden 2007, LAGA TR Boden 2004	50
50 Bodenproben		*WF* 2 – Schütteleluat	Beurteilung nach Novelle BBodSchV 2017	50
50 Bodenproben		*WF* 2 – SV (kurz)	Beurteilung nach Novelle BBodSchV	50
50 Bodenproben		ausführlicher Säulenversuch, *WF* 2 kum. berechnet	Fachliche Fragestellungen, Beurteilung nach Novelle BBodSchV	50

Tabelle 13 summiert den Untersuchungs- und Analytikumfang im Rahmen dieses Projektes.

Tabelle 13: Überblick über Anzahl der Laborversuche und des Analytikumfanges.

Laborversuch	Anzahl Laborversuche	Anzahl Fraktionen zur Analyse	Analytikumfang
Materialcharakterisierung, Brechen Sieben, Korngrößenverteilungen	50	-	-
Feststoffanalytik	50	50	Trockenrückstand, TOC, Cyanide, (ges.), MKW, EOX, PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138, PCB 180, 16 PAK, Sb, As, Ba, B, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Tl, V, Zn
SV nach DIN 19528 Kurztest bis *WF* 2	50	50	4 hydrogeochem. Param: pH, Lf, Trübe, DOC 12 Ionen: Br, Cl, F, NO_3, NO_2, PO_4, SO_4, NH_4, Ca, K, Na, Mg 17 Metalle: Al, Sb, As, Ba, B, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Hg, Se, Tl, V, Zn Organika: 16 EPA PAK, Phenole
SV nach DIN 19528, ausführlich bis *WF* 4 (4 Fraktionen)	109	436	
WF 2 - Schütteleluat nach DIN 19529 (2012)	109	109	
WF 10 - Schütteleluat nach DIN 38414-4 (1984, zurückgezogen)	109	109	
Summen			
Feststoffextrakte	**50**		**2.816 hydrogeochemische Parameter,** **8.448 Ionen,** **11.968 Metalle,** **ca. 11.264 PAK-Einzelspezies**
Eluate	**377**	**704**	

3.8 Methodik der Auswertung der Messergebnisse von Säulenversuchen für fachliche Fragestellungen

Die Messergebnisse von Konzentrationen in Säuleneluaten werden hier den *WF* als Konzentrations-*/WF*-Plots gegenübergestellt. Die Konzentration *C* ist dabei die aktuelle Konzentration ("Momentankonzentration") im Säuleneluat zum Probenahmezeitpunkt. Bei den Säulenversuchen ergibt sich *WF* durch Bezug der kumulativen Säuleneluatmenge (Aufsummierung der Säuleneluatmengen zu jedem Probenahmezeitpunkt) auf die Trockenmasse des eingebauten Untersuchungsmaterials in der Säule. Die beobachteten absoluten Zeitskalen hängen von der Dimension und der Fließgeschwindigkeit des Säulenversuches ab. Der Vorteil von *C/WF*-Plots liegt in der Möglichkeit des direkten Vergleichs von Messergebnissen verschiedener Elutionsmethoden mit unterschiedlichen absoluten Zeitskalen, da die Zeit mit *WF* normiert wird. *WF* stellt eine dimensionslose Zeit dar und berücksichtigt die Trockenraumdichten ebenso, wie den wassererfüllten Porenraum. Liegt ein reiner Lösungsprozess unter Gleichgewichtsbedingungen vor, hängt die aktuelle Konzentration im einfachsten Fall und beim Vergleich von Versuchen mit ähnlichen Verhältnissen zwischen wassererfülltem Porenraum und Trockenraumdichten nur von der Wassermenge ab, mit der die Feststoffmasse in Kontakt stand. Dann kommen die Konzentrationsganglinien verschiedener Versuche mit verschiedener Dimensionierung und mit verschiedenen absoluten Zeitskalen aufeinander zu liegen (vgl. Susset & Leuchs, 2008 sowie Grathwohl & Susset, 2009).

Mit Säulenkurztests nach DIN 19528 oder Schüttelversuchen nach DIN 19529 (Batchtests) und DIN 38414-4 (zurückgezogen) wird eine "kumulative" oder integrierte Stoffkonzentration im Sickerwasser bei einem bestimmten *WF* gemessen. Auch diese kumulativen Konzentrationen können gemeinsam mit Ergebnissen der ausführlichen Säulenversuche gegen *WF* dargestellt werden. Bei gleichem *WF* liegt die Konzentration des Schütteleluates oder des kumulativen Säuleneluates entsprechend oberhalb der aktuellen Konzentration der dynamischen Tests. Die kumulative Konzentration im *WF* 2-Säuleneluat kann aus den aktuellen Konzentrationen im Säuleneluat berechnet werden, sofern eine kontinuierliche Messreihe vorliegt, indem der Konzentrationsverlauf integriert wird. Die rechnerisch "kumulierten" oder integrierten Säuleneluatkonzentrationen zum Probenahmezeitpunkt *k* werden aus den Konzentrationen und *WF* des vorhergehenden Probenahmezeitpunkts *k*-1 nach folgender Formel 1 berechnet:

Formel 1: Berechnung der kumulativen Konzentration bei einer bestimmten Wasser-/Feststoffrate aus den aktuellen Konzentrationen (z.B. rechnerisches *WF* 2-Säulenkurzeluat)

$$C_{w,kum}{}^{k} = (((C_{w}{}^{k-1} + C_{w}{}^{k})/2 * (WF^{k} - WF^{k-1})) + (C_{w,kum}{}^{k-1}\ WF^{k-1}))/WF^{k}$$

$C_{w,\,kum}$ bezeichnet die rechnerisch kumulierte Konzentration (wird auch als integrierte Konzentration bezeichnet), C_w die aktuelle Säuleneluatkonzentration zum Probenahmezeitpunkt ("Momentankonzentration") und *WF* das (kumulative) Wasser-/Feststoffverhältnis (bei der ersten Probenahme gilt $C_w = C_{w,\,kum}$).

Die kumulierte Säuleneluatkonzentration kann selbstverständlich auch gemessen werden, indem das Säuleneluat bis zu einem entsprechenden *WF* gesammelt wird (z.B. Sammlung des Säuleneluates in einem Probenahmegefäß bis *WF* 2, vgl. „Säulenkurztest" nach DIN 19528). Diese entspricht theoretisch dem rechnerischen Integralwert eines ausführlichen Säulenversuchs bis zum entsprechenden *WF* gemäß Formel 1.

Im Rahmen dieses Projekts wurde grundsätzlich die graphische Darstellungsform der *C/WF*-Plots mit Momentan- und kumulativen Konzentrationen verwendet, um z. B. die Übertragbarkeiten verschiedener Testergebnisse zu interpretieren oder kumulative Konzentrationen mit Grenzwerten zu vergleichen.

3.9 Beurteilung der Messergebnisse zur Einordnung nach VwV Boden 2007, LAGA TR Boden 2004 und Novelle BBodSchV

Zur Folgeabschätzung der Novelle BBodSchV gegenüber LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen, wurden der Datensatz der LUBW-Untersuchungskampagne (59 Rückstellproben) und der Datensatz der 50 neuen Proben aus Baden-Württemberg in Abstimmung mit dem Auftraggeber (AG) separat ausgewertet. Dies wird fachlich damit begründet, dass sich die "Philosophie der Probenbeschaffung" und die Zuordnung zu den Hauptbodeneinheiten für die beiden Datensätze unterscheidet. Außerdem kann nicht abschließend beurteilt werden, ob sich die Rückstellproben über die Lagerdauer von 13 Jahren physikochemisch verändert haben und inwieweit sich diese potentielle Alterierung auf die Messergebnisse auswirkt.

Probenbeschaffung:

Bei der LUBW-Untersuchungskampagne aus dem Jahr 2005 wurden Bodenaushubdeponien beprobt. Dabei fielen Bodenaushubproben als Mischproben aus Haufwerken und Schürfen an. Das Bodenmaterial wurde dann mit den Koordinaten des Herkunftsortes bzw. des Deponiestandortes einer geologischen Großeinheit in der Geologischen Schulkarte Baden-Württemberg zugeordnet. Die beprobten Haufwerke waren zum Teil Mischungen verschiedener Bodenhorizonte und – abschnitte und konnten nicht immer eindeutig einer der drei Hauptbodenarten Sand, Lehm/Schluff und Ton zugeordnet werden. Letztere Zuordnung ist aber entscheidend für eine korrekte Anwendung der oftmals bodenartspezifischen Grenzwerte (vgl. Kapitel 2.2).

Wie in Kapitel 3.2 erläutert wurden im Rahmen dieses Vorhabens Einzelentnahmen von Böden, Verwitterungshorizonten, Ausgangsgesteinen, künstlichen Auffüllungen oder anderweitigen Ausgangsmaterialien direkt an den geologischen Formationen und an den Baustellen entnommen. Hier waren eine bessere Separierung von Horizonten und der Ausschluss von Mutterbodenanteilen möglich. Ein starker Hinweis hierauf sind die wesentlich geringeren TOC-Werte der hier gewonnenen 50 Bodenproben gegenüber den LUBW-Proben. Nach den Messungen der LUBW (vgl. LfU, 2005) überschritt "eine große Anzahl der Proben den TOC-Wert (Z0). Die Ursache dürfte in einer Vermischung der untersuchten Materialien mit humosen Oberboden liegen".

Ein weiterer Unterschied bei der Bewertung der beiden Datensätze kann sich durch die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Zuordnung zu den Hauptbodenarten ergeben:

Beim Datensatz der LUBW erfolgte eine grobe Zuordnung wie oben beschrieben. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde für jede Bodenprobe die Korngrößenverteilung nach DIN 18123 (ersetzt durch DIN EN ISO 17892-4:2016, Fassung 2017-04) durch Sieben und Schlämmen bestimmt. Für jede Probe resultiert eine Korngrößenverteilungskurve, nach der eine eindeutige Zuordnung zu Sand, Lehm/Schluff und Ton möglich ist (vgl. CD-ROM-Anhang 7.3.1). Hierbei muss man bedenken, dass beispielsweise ein Unterjura (Posidonienschiefer), der geologisch eher der Hauptbodenart Lehm/Schluff zugeordnet werden würde, aufgrund seiner Ausbildung nach Siebanalyse im geotechnischen Labor ggf. der Hauptbodenart Sand zugeordnet wird. Bei ca. 10 der 50 Proben resultierte eine Zuordnung zu Sand statt zu Lehm/Schluff oder zu Lehm/Schluff statt zu Ton. In der Konsequenz liegt die Beurteilung des neuen Datensatzes nach verschiedenen Regelwerken und Erlassen immer auf der sicheren Seite, da die Vorsorgewerte für Sand bzw. Lehm/Schluff i.d.R. niedriger sind als für Lehm/Schluff bzw. Ton. Die beiden Varianten der Zuordnung wurden mit dem UM am 28. Juni 2017 eingehend erörtert und folgendes abgestimmt:

Der Auftragnehmer (AN) wurde damit beauftragt, die Zuordnung zu den Hauptbodeneinheiten auf der Grundlage der Kornverteilungskurven nach DIN 18123 (ersetzt durch DIN EN ISO 17892-4:2016, Fassung 2017-04) durchzuführen, weil im Streitfall in der Praxis, dieses Laborergebnis als gerichtsfeste Größe herangezogen würde und immer eine Beurteilung auf der sicheren Seite erfolgt (Sand statt Lehm/Schluff und/oder Lehm/Schluff statt Ton).

Vor diesem Hintergrund ist eine gemeinsame Bewertung der 109 Proben (59 LUBW-Rückstellproben + 50 neue Proben) zur Klassifizierung und Abschätzung von Verwertungsquoten nach Novelle BBodSchV, LAGA TR Boden, 2004 und VwV Boden 2007 nicht sachgerecht und würde die Folgenabschätzung "verwaschen".

3.9.1 Graphische Auswertungen

Wesentliches graphisches Werkzeug sind Korrelationsdiagramme mit folgenden Zielsetzungen:

1. Vergleich der Ergebnisse der Wiederholungsmessungen der 59 Rückstellproben im *WF* 10-Schütteltest der GIU GmbH mit den Ergebnissen der *WF* 10-Eluate der LUBW (2005) zur Einbindung der Ergebnisse der LUBW aus dem Jahr 2005 und Einordung nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007.
2. Vergleich der Ergebnisse der *WF* 2-Schütteleluate mit den Ergebnissen der *WF* 10-Eluate der GIU GmbH zur Prüfung von Korrelationsfaktoren *WF* 2/*WF* 10 und zur Beurteilung der beiden Datensätze nach Novelle BBodSchV, LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007.
3. Vergleich der Ergebnisse der *WF* 2-Säuleneluate (*WF* 2- Säulenkurztest oder berechneten *WF* 2 kum-Konzentration aus ausführlichen Säulenversuchen) mit den Ergebnissen der *WF* 2-Schütteleluate der GIU GmbH zur Beurteilung der Gleichwertigkeit der Ergebnisse und der potentiellen methodischen Einflüsse auf die Einordnung nach Novelle BBodSchV.

Abbildung 8 zeigt ein Korrelationsdiagramm zur obigen Fragestellung 1, exemplarisch für Sulfat. Es kann einfach herausgelesen werden, dass höhere Befunde der Wiederholungs-Prüfung der GIU GmbH nur bei einer Probe zu einer "ungünstigeren" Einstufung nach VwV Boden 2007 führen, als nach den LUBW-Messungen. In einem Fall führt ein Minderbefund gegenüber LUBW zu einer "günstigeren" Einstufung (rot markiert). Bezogen auf LAGA TR Boden 2004 mit einem deutlich niedrigeren Z0-Wert von Sulfat von 20 mg/L statt 50 mg/L werden 4 Proben (orange markiert) aufgrund höherer Befunde der GIU GmbH "ungünstiger" eingestuft als nach Messungen der LUBW aus dem Jahr 2005.

Abbildung 9 zeigt ein Korrelationsdiagramm zur obigen Fragestellung 2, exemplarisch für Sulfat. Das Korrelationsdiagramm informiert über die Einstufungen nach LAGA TR Boden 2004 (Z0-Wert: 20 mg/L), VwV Boden 2007 (Z0-Wert: 50 mg/L) und Novelle BBodSchV 2017 (BM-0- Screeningparameter: 250 mg/L). Es kann einfach herausgelesen werden, dass der höhere zulässige Sulfatwert nach VwV Boden 2007 gegenüber LAGA TR Boden 2004 bei vielen Proben zu einer "günstigeren" Einstufung führt (orange markiert). Die Bewertung nach Novelle BBodSchV (anderer Grenzwert und neue Methode bei *WF* 2) führt gegenüber VwV Boden 2007 in einem Fall zu einer "günstigeren" Bewertung und in einem Fall zu einer "ungünstigeren" Bewertung (rot markiert). Weiter zeigt das Korrelationsdiagramm einen Korrelationsfaktor zwischen *WF* 2- und *WF* 10-Konzentrationen von 4,3 mit einem hohen Bestimmtheitsmaß an. Tendenziell ist demnach eine Aufkonzentrierung im *WF* 2-Eluat von Sulfat um Faktor 4 zu erwarten.

Abbildung 8: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (vgl. LfU, 2005), hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Sulfat: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Blaue und grüne Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten.

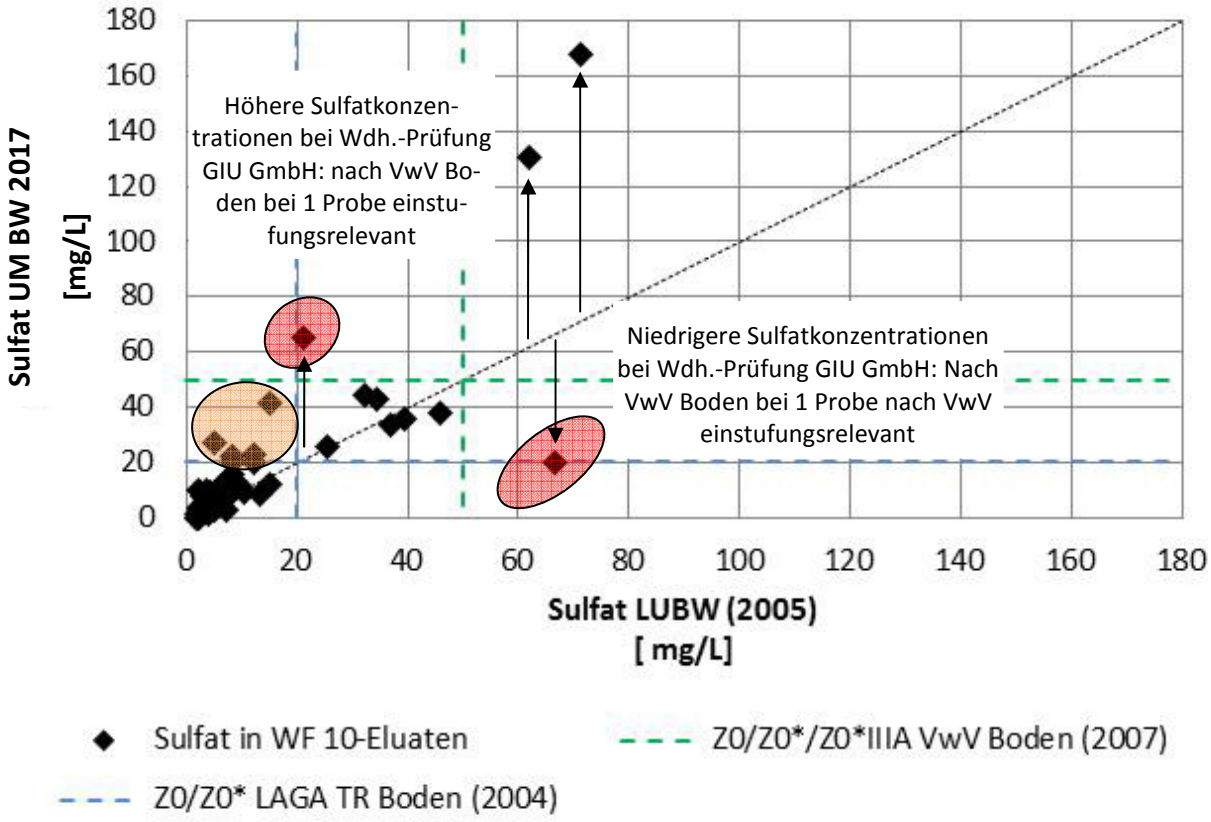


Abbildung 9: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Sulfat: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend Grenzwertcharakter.

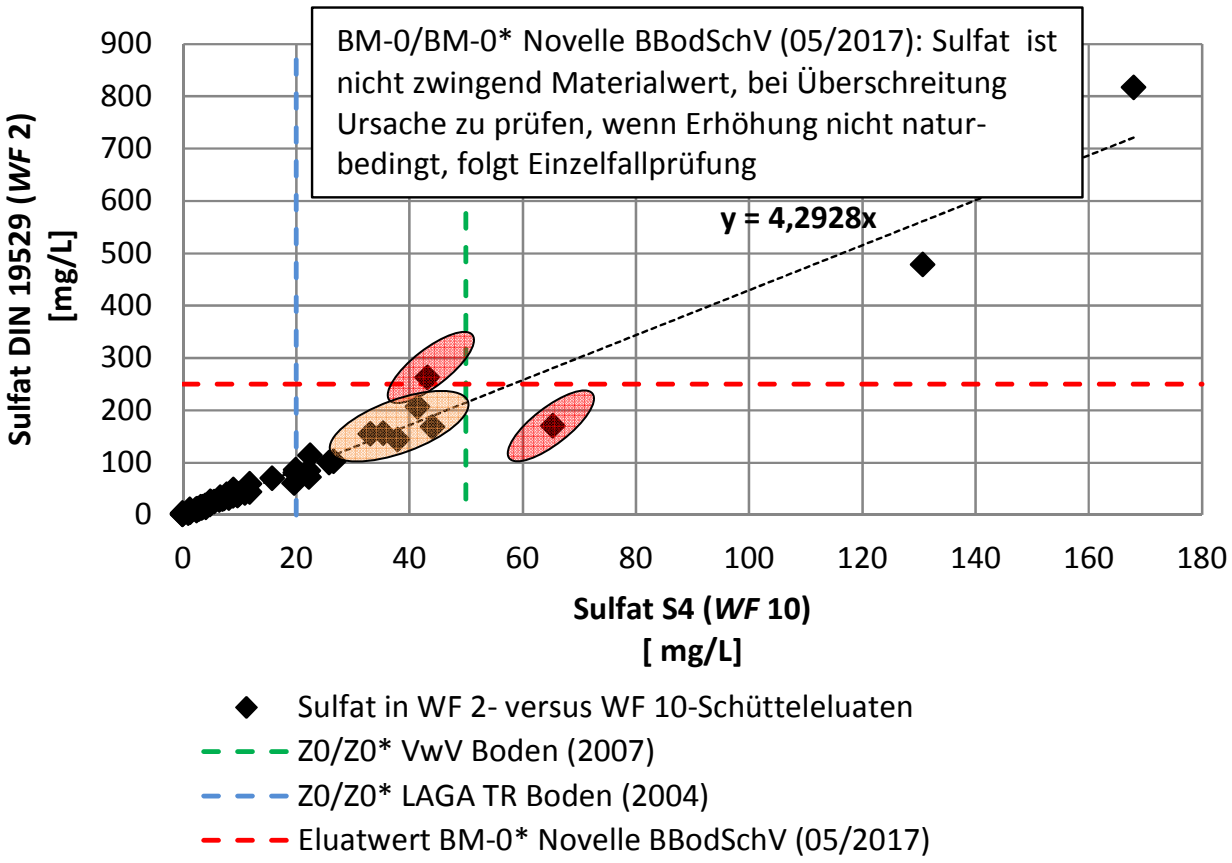
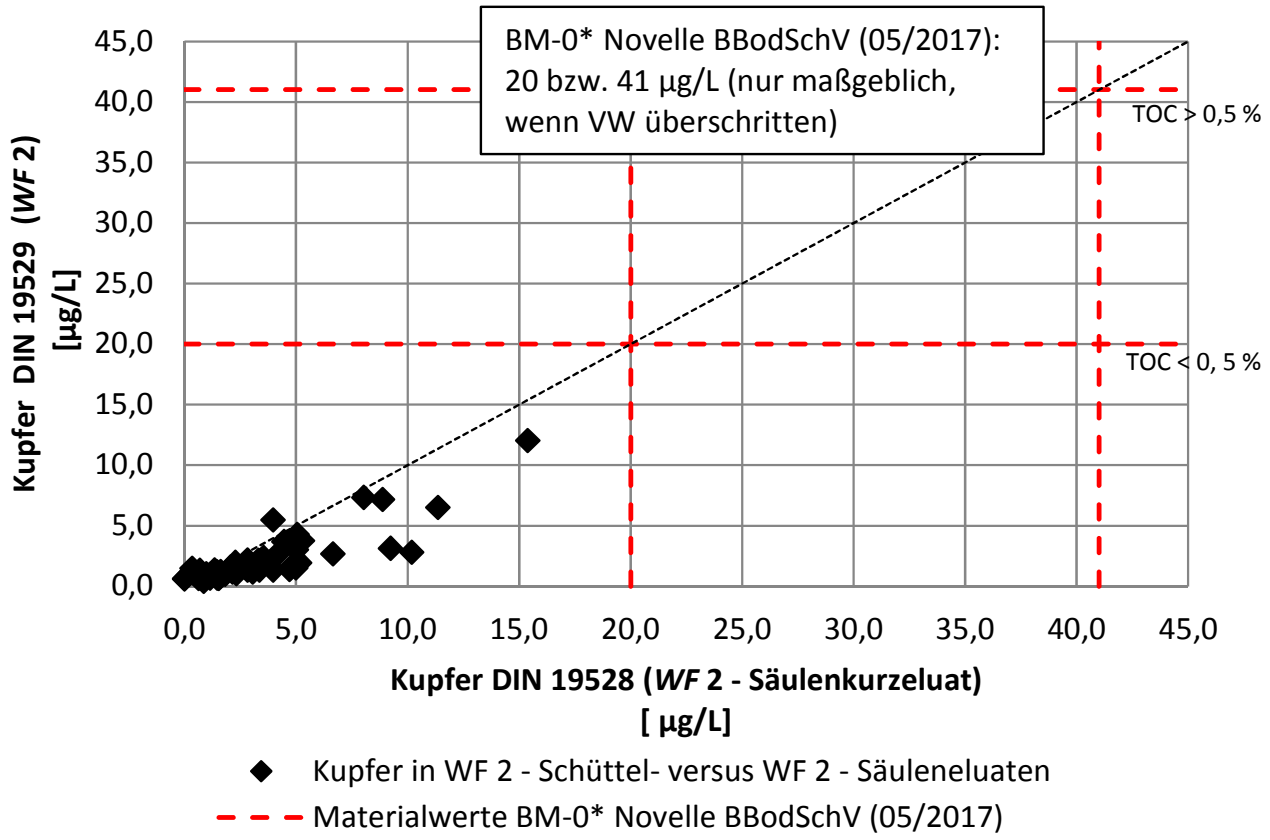


Abbildung 10 zeigt ein Korrelationsdiagramm zur obigen Fragestellung 3, exemplarisch für Kupfer. Tendenziell werden hier im Säuleneluat etwas höhere Konzentrationen von Kupfer gefunden als im Schütteleluat. Die Abweichungen sind aber nach Novelle BBodSchV nicht regelungsrelevant, da nach beiden Methoden die insgesamt geringen Kupferkonzentrationen zu einer Einstufung in Klasse BM-0* führen.

Abbildung 10: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Kupfer: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



3.9.2 Tabellarische Auswertungen

Zur Auswertung der Anzahl und der prozentualen Anteile der Bodenproben, bei welchen bestimmte Stoffe/Parameter den Z0-/Z0*- oder BM-0-/BM-0*-Wert einhalten, werden die Tabellen aus LfU (2005) für beide Datensätze separat und für VwV Boden 2007, LAGA TR Boden 2004 und Novelle BBodSchV fortgeschrieben. Tabelle 14 zeigt einen Auszug aus LfU (2005, dortige Tabelle 9). Mit diesen Tabellen können die limitierenden Parameter im Feststoff herausgelesen werden. Nachteil dieser Tabelle ist, dass nicht unterschieden werden kann, ob Feststoffwerte und/oder Eluatwerte limitieren.

Tabelle 14: Tabelle zur Auswertung von Anzahl und prozentualem Anteil der Bodenproben, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert des jeweiligen Parameters überschritten ist (Tabelle 9 aus LfU, 2005).

Parameter	Anzahl n Proben über Z0 nach LAGA TR Boden 2004 [ ]				Anteil	n Proben über Z0*	Quote
	Sand (3 Proben)	Lehm/Schluff (48 Proben)	Ton (8 Proben)	Summe	[%]	[ ]	[%]
Arsen	2	8	2	13	22,0	12	20,3
Blei	2	1	1	4	6,8	0	0
Cadmium	0	2	0	2	3,4	2	3,4
Chrom, (ges.)	2	5	0	7	11,9	0	0
Kupfer	1	3	1	5	8,5	1	1,7
Nickel	3	8	0	11	18,6	0	0
Quecksilber	1	2	0	3	5,1	1	1,7
Zink	3	2	0	5	8,5	0	0
Thallium	0	0	0	0	0	0	0
TOC	38			38	64,4	38	64,4
Sulfat	10			10	16,9	10	16,9

Die in der Praxis erreichbare Verwertungsquote in den verschiedenen Zuordnungsklassen Z0/Z0* bzw. BM-0/BM-0* wird durch die Stoffkombinationen limitiert, da jedes Material alle Zuordnungswerte einer Qualitätsklasse einhalten muss, um dieser zugeordnet werden zu können. Diese Auswertung ist insbesondere für die Novelle der BBodSchV durchaus komplex, weil zusätzlich beachtet werden muss, ob eine Eluatwertüberschreitung auch maßgeblich ist. Dies ist nur dann der Fall, wenn gleichzeitig der einfache Vorsorgewert bis maximal zum Doppelten überschritten ist (vgl. Kapitel 2.2, Regelungen zu Tabelle 4 in Anlage 1 der Novelle BBodSchV). Um die Auswertungen nachhalten und Parameterkombinationen identifizieren zu können, die zum Ausschluss führen, ist eine Auswertung über Sortierung (nach Konzentrationen aufsteigend für jeden Parameter) und Eliminierung der Proben mit Überschreitungen nicht möglich. Die Auswertung erfolgte deshalb anhand von Excel-Worksheets für jede Kombination aus Methode (Feststoffanalytik, *WF*-10 Schütteleluat, *WF* 2-Schütteleluat, Säulenversuch und Regelung (LAGA TR Boden Z0/Z0*, VwV Boden Z0/Z0*IIIA/Z0*, BBodSchV BM-0/BG-0, BM-0*/BG-0* in sensiblen Gebieten) mittels einer zeilenweise Bewertung der Zulässigkeiten einer Probe, aus welchen dann die Verteilungen der Anzahl der Proben in verschiedenen Zuordnungsklassen ausgezählt werden. Zur Einschätzung der Bedeutung der TOC-Grenzwerte wurde jeweils mit und ohne Berücksichtigung des TOC bewertet. Für die Novelle BBodSchV wurde zudem unterschieden, ob der Sulfatwert als Grenzwert fungiert. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde die Auswirkung der Regelung zu Tabelle 4 in Anlage 1 der Novelle BBodSchV untersucht, nach der die Eluatwerte für BM-0* nur dann maßgeblich sind, wenn die jeweiligen einfachen Vorsorgewerte tatsächlich überschritten sind (vgl. Kapitel 2.2). Diese Excel-WS sprengen das Berichtsformat, werden aber digital im CD-ROM Anhang 7.3.3 zur Verfügung gestellt. Tabelle 15 zeigt einen Auszug aus einem Worksheet

exemplarisch für die Auswertung des neu erhobenen Datensatzes von 50 Bodenproben nach geplanter Novelle BBodSchV für BM-0* mit Berücksichtigung des TOC (über pdf-Zoom lesbar).

In den nachfolgenden Kapiteln wird für die verschiedenen Laborverfahren und Grenzwertsysteme jeweils das Delta der Anzahlen in den Zuordnungsklassen als absoluter und prozentualer Wert angegeben. Nachfolgend werden dann jeweils in einer zusammenfassenden Tabelle die kumulativen Verwertungsquoten in Prozent angegeben. Die Anzahl der Proben in einer bestimmten Zuordnungs- bzw. Bodenmaterialklasse werden hierzu addiert. Diese so genannten Verwertungsquoten sind für die Beurteilung der Stoffstromverschiebungen relevant.

Tabelle 15: Auszug eines Excel-WS zur Auswertung der limitierenden Parameterkombinationen und Verwertungsquoten am Beispiel des neu erhobenen Datensatzes von 50 Bodenproben für die Klassifizierung BM-0* mit TOC nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV, 2017).

Neu beprobte Böden BW, Bewertung nach Novelle BBodSchV (						0											Werte nur maßgebich wenn VW maximal bis zum Doppelten überschritten																						
Feststoffwert		Zuordnungswerte Novelle BBodSchV (2017):			[1]	n. rel.	n. rel.	n. rel.	[1]	6	n. rel.	0,10	n. rel.	n. rel.	n. rel.	[250]	10(13)	23(43)	2(4)	10(19)	20(41)	20(31)	0,1	0,8	100(210)	0,2	2,0	0,01	n. rel.	20	140	1/1/1,5	120	80	100	0,6	300	1	
				Feststoffwerte organische Parameter und Stoffe									WF 2 - Säulenkurzeluate nach DIN 19528																		Feststoffwerte								
Nr.	UM Nr.	Bodenart für Bewertung	Trocken-rückstand	TOC [mg/kg TR]	TOC	Kohlen-wasser-stoffe (C_{10} - C_{22})	Kohlen-wasser-stoffe (C_{10} - C40)	Cyanid ges.	EOX	PAK_{16}	BaP	PCB_6	pH-Wert	elektr. Leitfähig-keit	Chlorid	Sulfat	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom, gesamt	Kupfer	Nickel	Queck-silber	Thallium	Zink	Σ15 EPA PAK	Naphthalin und Methylnaph-thaline, gesamt	PCB_6 und PCB-118	Phenol-index	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom, (ges.)	Kupfer	Nickel	Queck-silber	Zink	Thallium	WF 2- Säulenkurzeluat BM-0* BBodSchV
			%	[mg/kg TR]	Masse-%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		µS/cm	mg/L	mg/L	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mit TOC, ohne Sulfat
				1		20	20	0,01	0,05	0,025	0,025	0,005			1	1	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,02	0,02	0,5	0,01	0,01		5	0,1	0,2	0,05	0,5	0,1	0,5	0,02	1	0,05	
1	29	Sand	98,9	3190,0	0,319	<20	25	0,01	n.b.	<0,025	<0,025	<0,005	7,6	529	52	72	1,0	0,1	<0,01	<0,1	3,5	1,6	<0,02	<0,02	3,8	0,10	<0,01	n. b.	<5	7,4	15,1	0,09	17,7	15,7	30,4	0,04	68	0,14	1
2	30	Lehm/Schluff	97,8	2310,0	0,231	23	44	0,01	n.b.	0,025	<0,025	<0,005	8,1	313	60	14	1,1	0,3	0,02	1,7	2,3	<0,1	<0,02	<0,02	3,0	0,03	<0,01	n. b.	<5	9,9	13,7	0,12	20,5	13,7	30,2	0,02	48	0,16	1
3	31	Sand	95,2	2000,0	0,2	<20	<20	0,04	n.b.	<0,025	<0,025	<0,005	9,0	891	166	33	2,8	0,3	0,04	0,4	3,3	1,5	<0,02	0,02	7,7	0,01	<0,01	n. b.	<5	5,6	12,7	0,26	26,2	6,9	24,7	0,01	53	0,26	1
4	31	Sand	96,9	904,0	0,0904	<20	<20	0,01	n.b.	0,482	0,046	<0,005	8,0	93	4	5	1,6	0,0	<0,01	2,0	2,3	<0,1	<0,02	<0,02	4,8	0,04	<0,01	n. b.	<5	2,6	3,3	0,34	6,8	4,1	10,6	0,04	22	0,13	1
5	32	Sand	99,1	712,0	0,0712	<20	26	<0,01	n.b.	0,000	<0,025	<0,005	7,8	208	4	33	1,5	0,1	<0,01	2,2	1,2	<0,1	<0,02	0,02	3,0	0,03	<0,01	n. b.	<5	20,8	49,1	0,19	20,5	23,4	28,7	0,03	76	0,33	
6	40	Sand	93,5	4619,0	0,4619	<20	21	<0,01	n.b.	0,169	0,030	<0,005	7,7	145	1	20	2,4	13,8	0,04	3,0	5,0	0,3	<0,02	<0,02	10,0	<0,01	<0,01	n. b.	<5	8,8	10,7	0,21	11,9	7,6	14,4	0,02	37	0,11	1
7	42	Sand	94,9	1499,0	0,1499	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,9	242	3	25	0,6	0,1	<0,01	2,3	0,8	0,6	0,03	<0,02	9,7	0,03	0,55	n. b.	<5	9,6	18,6	0,42	27,1	25,0	41,9	0,02	78	0,41	1
8	43	Sand	91,8	668,0	0,0668	<20	21	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	9,6	2980	26	2135	1,4	0,1	<0,01	4,9	1,5	0,4	0,14	0,04	8,5	0,06	0,11	n. b.	<5	5,9	17,4	0,02	18,1	4,8	24,1	0,01	61	0,23	1
9	45	Sand	94,6	709,0	0,0709	<20	49	0,02	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	9,6	5080	464	2085	1,8	0,0	0,07	6,8	0,8	0,4	0,43	0,07	5,2	0,05	0,18	n. b.	<5	4,4	5,4	0,06	18,7	5,8	25,9	0,01	47	0,16	1
10	25	Lehm/Schluff	97,5	2516,0	0,2516	<20	<20	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,9	124	1	15	0,4	0,3	<0,01	1,3	2,2	1,1	0,08	<0,02	4,2	<0,01	<0,01	n. b.	<5	9,5	15,5	0,18	21,3	16,8	34,9	0,02	61	0,20	1
11		Lehm/Schluff	95,2	2076,0	0,2076	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	8,0	175	1	6	0,7	0,1	<0,01	1,4	1,6	<0,1	0,08	<0,02	6,4	<0,01	<0,01	n. b.	<5	12,6	15,9	0,12	23,2	14,7	28,5	0,03	55	0,34	1
12		Lehm/Schluff	98,2	1530,0	0,153	<20	<20	0,00	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,9	183	1	5	0,5	0,1	<0,01	0,8	2,8	0,8	<0,02	0,01	2,8	<0,01	<0,01	n. b.	<5	10,3	13,6	0,17	22,3	12,5	27,6	0,03	46	0,30	1
13		Lehm/Schluff	94,2	911,0	0,0911	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,3	96	4	9	<0,1	0,1	<0,01	1,1	0,6	0,5	0,04	<0,02	4,8	0,09	<0,01	n. b.	<5	13,5	12,1	0,08	32,5	39,3	81,6	0,07	65	0,30	1
14		Lehm/Schluff	91,0	1966,0	0,1966	<20	<20	<0,01	<0,05	0,056	<0,025	<0,005	7,3	110	2	24	0,2	0,2	0,04	16,4	1,2	0,6	<0,02	0,03	51,3	0,06	<0,01	n. b.	<5	22,5	59,9	0,35	28,5	28,8	49,4	0,09	119	0,74	
15		Sand	97,4	1256,0	0,1256	<20	<20	0,02	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,8	134	1	4	<0,1	0,1	<0,01	<0,1	1,5	<0,1	0,06	<0,02	19,8	<0,01	<0,01	n. b.	<5	5,1	9,4	0,07	34,8	48,9	68,4	0,02	52	0,46	1
16		Sand	98,1	923,0	0,0923	<20	<20	0,03	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,8	171	1	3	1,0	0,1	<0,01	0,8	2,2	0,3	0,05	0,02	6,6	<0,01	<0,01	n. b.	<5	12,5	28,8	0,06	23,3	22,0	31,3	0,01	31	0,44	1
17		Sand	98,6	539,0	0,0539	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	8,0	117	1	8	0,3	0,1	<0,01	<0,1	0,9	0,2	0,01	0,06	4,3	1,15	<0,01	n. b.	<5	4,9	8,9	0,52	8,4	10,0	12,4	0,02	62	0,22	1
18		Sand	97,3	1382,0	0,1382	<20	<20	0,02	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	6,9	47	11	3	0,6	0,2	0,06	0,2	3,1	3,3	0,04	0,03	6,1	0,03	0,12	n. b.	<5	10,8	25,8	0,50	35,2	31,4	80,6	0,06	65	0,30	1
19	3	Sand	95,1	2640,0	0,264	<20	<20	0,02	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	8,0	202	11	5	0,5	0,2	0,03	0,2	4,7	0,7	0,02	0,02	35,7	0,13	<0,01	n. b.	<5	6,0	6,6	0,07	30,9	6,4	51,8	0,01	62	0,42	1
20	9	Lehm/Schluff	94,6	9611,0	0,9611	<20	<20	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,5	1855	3	1038	0,5	0,4	0,04	<0,1	1,0	18,5	0,20	0,10	24,0	0,20	<0,01	n. b.	<5	38,7	11,7	0,03	19,3	12,7	45,6	0,03	54	0,14	
21	7	Lehm/Schluff	94,4	4529,0	0,4529	<20	<20	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,7	272	11	39	1,1	0,4	0,01	0,5	5,1	1,1	0,05	0,01	8,2	0,11	<0,01	n. b.	<5	19,9	15,8	0,04	17,1	13,0	25,2	0,03	67	0,13	1
22	8	Sand	96,3	15295,0	1,5295	80	123	0,02	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,5	951	2	428	0,4	0,2	0,03	<0,1	1,5	8,7	0,02	0,08	10,0	0,03	<0,01	n. b.	<5	10,2	17,5	0,03	23,7	19,4	38,7	0,02	63	0,12	
23	14	Ton	97,6	1665,0	0,1665	<20	<20	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,8	203	5	10	0,3	0,2	0,05	1,0	1,6	0,2	0,04	0,05	47,0	0,20	0,06	n. b.	<5	23,4	45,6	1,14	56,0	18,6	63,0	0,08	140	0,41	
24	36	Lehm/Schluff	96,6	2060,0	0,206	<20	22	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,7	220	2	10	0,4	0,1	<0,01	1,0	0,8	<0,1	0,07	0,02	12,0	0,34	0,13	n. b.	<5	11,9	16,7	0,23	26,0	24,2	41,7	0,04	75	0,28	1
25	41	Lehm/Schluff	97,4	10650,0	1,065	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	6,9	110	2	5	0,7	0,3	<0,01	<0,1	4,0	1,5	0,09	0,02	10,0	0,13	<0,01	n. b.	<5	17,4	13,2	0,24	21,9	18,8	31,4	0,05	60	0,17	
26	13	Sand	97,1	647,0	0,0647	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,7	110	1	2	4,2	0,1	<0,01	<0,1	3,4	<0,1	<0,02	0,01	3,9	0,31	0,05	n. b.	<5	6,5	3,5	0,17	9,0	5,9	9,6	0,02	19	0,06	1
27	37	Lehm/Schluff	98,8	2790,0	0,279	<20	<20	<0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,8	210	1	17	0,4	0,1	<0,01	1,2	0,7	<0,1	<0,02	0,02	5,2	0,22	<0,01	n. b.	<5	35,8	14,2	0,11	20,7	11,5	38,7	0,03	72	0,15	
28	49	Sand	95,6	2410,0	0,241	<20	<20	0,01	<0,05	0,000	<0,025	<0,005	7,9	197	9	2	9,2	0,8	<0,01	<0,1	5,2	1,1	0,08	0,11	2,8	0,19	0,04	n. b.	<5	81,0	41,1	0,41	14,9	19,1	22,6	0,03	84	2,91	
29	11	Ton	94,4	4360,0	0,436	<20	<20	0,02	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,7	181	2	7	4,2	0,2	0,06	<0,1	4,5	0,6	0,03	0,01	3,7	0,15	0,03	n. b.	<5	13,2	23,4	0,16	24,9	23,0	37,2	0,04	81	0,36	1
30	11	Sand	89,8	2130,0	0,213	<20	<20	<0,02	<0,05	0,163	0,025	<0,005	7,8	190	1	11	0,4	0,1	<0,01	<0,1	2,1	<0,1	<0,02	<0,02	4,4	0,19	0,10	n. b.	<5	11,2	15,2	0,19	21,4	13,4	27,1	0,02	51	0,28	1
31	17	Sand	98,2	7740,0	0,774	<20	31	0,01	<0,05	14,595	2,190	<0,005	7,6	225	13	25	8,6	0,5	<0,01	0,8	15,4	0,9	0,49	0,16	6,8	0,53	0,01	n. b.	<5	56,2	30,1	0,18	13,6	24,8	10,2	0,71	94	0,39	
32	16	Lehm/Schluff	98,2	2570,0	0,257	<20	<20	<0,01	<0,05	0,066	<0,025	<0,005	7,8	223	1	6	0,7	0,2	<0,01	<0,1	4,2	<0,1	0,05	0,02	1,1	0,13	<0,01	n. b.	<5	13,6	16,7	0,21	28,6	24,0	47,1	0,05	72	0,32	1
33	18	Lehm/Schluff	97,6	2670,0	0,267	<20	<20	0,02	<0,05	0,105	<0,025	<0,005	8,0	282	3	70	0,8	0,2	0,01	0,9	2,8	<0,1	<0,02	<0,02	2,5	0,15	<0,01	n. b.	<5	13,0	21,6	0,22	24,8	19,5	38,0	0,03	60	0,19	1
34		Lehm/Schluff	95,4	4620,0	0,462	<20	22	0,01	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,5	1127	27	578	0,6	0,1	<0,01	<0,1	<0,1	4,1	<0,02	0,03	9,1	0,05	0,04	n. b.	<5	125,0	26,3	0,09	44,9	17,5	96,5	0,05	108	0,47	
35		Sand	95,4	3610,0	0,361	<20	22	<0,02	<0,05	0,246	0,027	<0,005	7,9	264	6	23	0,7	0,2	<0,01	1,4	0,3	<0,1	0,04	<0,02	4,5	0,12	0,04	n. b.	<5	214,0	92,9	0,73	57,0	38,1	135,0	0,15	189	1,93	
36		Sand	98,3	7420,0	0,742	42	62	0,01	<0,05	0,039	<0,025	<0,005	7,6	755	7	315	0,4	0,1	<0,01	<0,1	<0,1	5,7	0,23	0,08	8,7	0,06	0,11	n. b.	<5	12,2	8,3	0,20	26,3	22,5	43,9	0,03	77	0,34	1
37		Sand	98,34	2764,0	0,2764	<20	<20	<0,05	<0,050	0,264	0,025	<0,005	7,8	40	38	15	2,1	0,3	<0,01	1,3	4,0	<0,1	<0,02	<0,02	2,9	<0,01	<0,010	n. b.	<5	8,0	17,5	0,12	28,7	16,0	32,4	0,02	49	0,25	1
38		Sand	98,45	13720,0	1,372	<20	26	<0,05	0,24	2,392	0,238	<0,005	7,6	253	2	18	3,4	0,2	0,04	0,8	11,4	9,4	0,07	<0,02	4,5	<0,01	<0,010	n. b.	<5	6,4	38,0	0,24	22,2	13,9	18,9	0,14	78	0,24	
39	50	Sand	97,92	9094,0	0,9094	<20	<20	<0,05	<0,050	0,000	<0,025	<0,005	7,9	308	20	6	2,3	0,5	0,03	1,2	10,2	1,3	<0,02	0,05	6,4	0,02	<0,010	n. b.	<5	25,0	23,8	0,35	20,2	14,6	21,1	0,10	68	0,44	
40	26	Sand	98,69	4614,0	0,4614	<20	<20	<0,05	<0,050	0,927	0,089	<0,005	9,1	685	19	6	5,1	2,2	0,06	5,8	8,0	3,0	<0,02	0,08	23,5	0,38	<0,010	n. b.	<5	4,9	7,8	0,20	10,6	10,4	12,6	0,02	19	0,28	1
41	19	Lehm/Schluff	98,01	5688,0	0,5688	<20	<20	<0,05	<0,050	<0,025	<0,025	<0,005	8,2	209	9	5	1,3	0,6	0,03	0,9	5,0	<0,1	<0,02	0,01	19,1	<0,01	<0,010	n. b.	<5	7,7	13,6	0,18	16,4	8,3	16,8	0,03	36	0,19	1
42	20	Sand	96,37	4355,0	0,4355	<20	57	<0,05	0,05	3,797	0,218	<0,005	7,8	162	1	3	0,9	0,7	<0,01	0,5	4,7	<0,1	<0,02	0,05	9,6	1,97	<0,010	n. b.	<5	19,8	35,5	0,43	21,9	17,1	26,0	0,05	109	0,44	1
43		Sand	99,09	5970,0	0,597	<20	54	<0,05	0,07	4,253	0,397	<0,005	7,8	176	2	8	12,2	3,7	0,23	1,4	6,7	<0,1	<0,02	0,04	26,0	0,13	<0,010	n. b.	<5	10,2	254,0	6,69	23,3	22,0	17,6	0,18	1520	0,16	
44		Sand	97,72	23090,0	2,309	36	163	<0,05	0,56	84,828	5,630	0,200	8,1	755	3	302	2,1	0,3	0,04	1,0	8,9	<0,1	<0,02	0,10	6,1	0,44	<0,010	n. b.	<5	15,3	412,0	9,09	42,9	163,0	81,8	0,14	241	0,13	
45		Sand	97,68	9447,0	0,9447	30	119	<0,05	0,28	5,807	0,557	0,200	7,9	586	18	199	8,4	0,3	0,03	2,5	122,0	4,7	0,07	0,05	4,7	2,52	0,07	n. b.	<5	9,7	120,0	0,97	21,5	61,4	27,9	0,24	467	0,16	
46		Sand	99,1	1435,0	0,1435	<20	38	<0,05	0,37	0,037	<0,025	<0,005	7,8	134	1	8	2,1	0,2	<0,01	0,6	5,3	<0,1	<0,02	0,01	2,8	1,01	0,02	n. b.	<5	4,5	9,8	0,06	17,9	10,7	15,3	0,03	63	0,29	1
47	47	Lehm/Schluff	86,2	6008,0	0,6008	<20	16	<0,05	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	7,8	182	2	2	3,2	4,9	<0,01	1,3	9,2	1,0	<0,02	0,03	12,6	0,34	0,08	n. b.	<5	79,3	565,0	0,35	26,2	18,4	30,2	0,05	111	0,85	
48	47	Sand	90,6	1470,0	0,147	<20	<20	<0,05	<0,05	<0,025	<0,025	<0,005	8,0	112	1	1	1,1	0,3	0,03	0,6	1,4	<0,1	<0,02	<0,02	3,6	0,03	<0,010	n. b.	<5	47,8	605,0	0,36	23,2	13,4	26,9	0,01	125	0,58	
49	48	Sand	99,5	9151,0	0,9151	<20	<20	<0,05	0,15	<0,025	<0,025	<0,005	8,1	100	1	2	6,2	1,2	<0,01	1,4	3,4	<0,1	<0,02	<0,02	4,3	0,16	0,02	n. b.	<5	4,0	6,6	0,06	12,6	5,7	10,1	0,01	15	0,10	1
50		Sand	99,5	629,0	0,0629	<20	<20	<0,05	0,11	<0,025	<0,025	<0,005	7,9	73	1	2	10,6	0,1	<0,01	0,7	1,8	<0,1	0,16	0,17	4,6	0,35	0,07	n. b.	<5	63,4	8,6	0,04	14,1	2,7	6,4	0,36	17	0,50	
			86,15	539,00	0,05	22,90	16,13	0,00	0,05	0,000	0,025	0,200	6,9	40	1	1	0,2	0,0	0,01	0,2	0,3	0,2	0,01	0,01	1,1	0,01	0,01	0,000	0,000	2,6	3,3	0,02	6,8	2,7	6,4	0,01	15	0,06	31
			99,54	23090,00	2,31	79,70	163,00	0,04	0,56	84,828	5,630	0,200	9,6	5080	464	2135	12,2	13,8	0,23	16,4	122,0	18,5	0,49	0,17	51,3	2,52	0,55	0,000	0,000	214,0	605,0	9,09	57,0	163,0	135,0	0,71	1520	2,91	62
			96,36	4291,24	0,43	42,04	49,48	0,01	0,23	5,631	0,789	0,200	7,9	460	21	153	2,3	0,7	0,05	2,0	6,2	2,6	0,10	0,05	9,8	0,30	0,10			23,8	57,5	0,55	23,6	20,8	35,9	0,07	108	0,38	
			97,38	2605,00	0,26	36,00	30,70	0,01	0,20	0,169	0,154	0,200	7,8	203	3	10	1,1	0,2	0,04	1,2	2,9	1,1	0,07	0,03	6,1	0,13	0,07			11,6	16,3	0,19	22,1	16,4	29,5	0,03	64	0,28	
			98,36	6290,40	0,63	49,22	58,88	0,02	0,33	3,797	0,525	0,200	8,0	540	14	45	3,3	0,4	0,06	2,1	5,1	3,6	0,14	0,08	10,4	0,34	0,11			23,7	38,6	0,37	28,5	24,0	45,9	0,07	97	0,44	
			98,92	9463,40	0,95	64,46	119,80	0,02	0,43	5,807	2,027	0,200	8,1	897	28	326	6,9	0,8	0,06	3,8	9,0	6,3	0,22	0,10	23,6	0,53	0,14			56,9	95,6	0,54	34,8	32,1	69,6	0,14	127	0,51	

4 Ergebnisse der Laborexperimente und Materialklassifizierungen

4.1 Untersuchung der 59 Rückstellproben der LUBW

4.1.1 Materialcharakterisierung

Eine detailliert Beschreibung der Proben findet sich in LfU (2005). Tabelle 16 fasst die durch die 59 LUBW-Proben repräsentierten geologischen Formationen und die Probenzuordnung zu den Hautbodenarten Sand, Lehm/Schluff und Ton gemäß LfU (2005) zusammen.

Tabelle 16: Zuordnung der 59 LUBW-Rückstellproben zu geologischen Formationen und Hauptbodenarten (aus LfU, 2005)

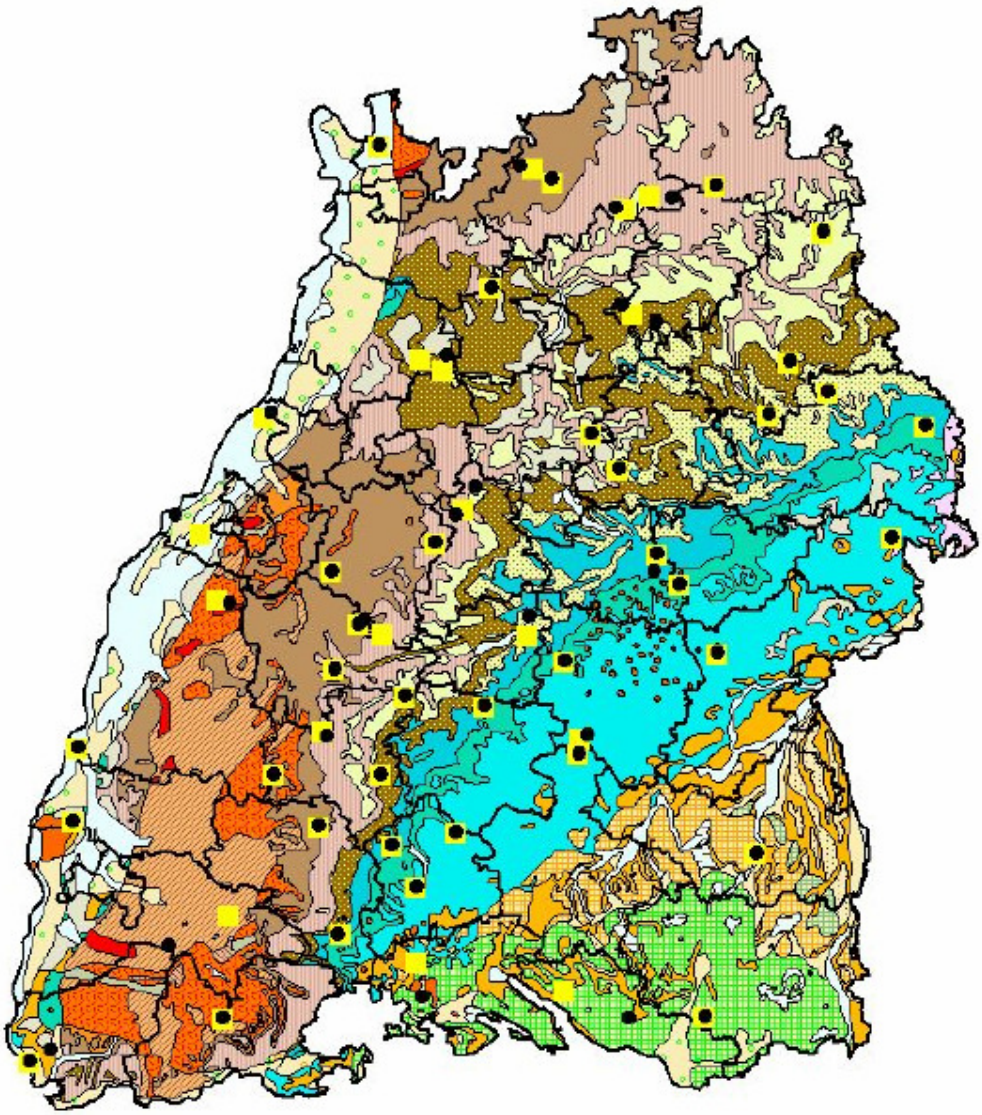
Nr.	Geologische Formation nach Schulkarte	Bodenart
1	Muschelkalk	Lehm/Schluff
2	Unterkeuper (Lettenkeuper)	Lehm/Schluff
3	Unterjura	Lehm/Schluff
4	Unterjura	Lehm/Schluff
5	Löss und Lehm	Lehm/Schluff
6	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
7	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
8	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Ton
9	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Ton
10	Unterkeuper (Lettenkeuper)	Lehm/Schluff
11	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
12	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
13	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
14	Muschelkalk	Lehm/Schluff
15	Oberjura und Jura ungegliedert	Lehm/Schluff
16	Unterjura	Ton
17	Höherer Mittel- und Oberkeuper	Lehm/Schluff
18	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
19	Junge Talfüllung	Sand
20	Wurmzeitliche Schotter (Niederterasse)	Lehm/Schluff
21	Buntsandstein	Lehm/Schluff
22	Buntsandstein	Lehm/Schluff
23	Muschelkalk	Lehm/Schluff
24	Muschelkalk	Lehm/Schluff
25	Junge Talfüllung	Lehm/Schluff
26	Muschelkalk	Lehm/Schluff
27	Buntsandstein	Lehm/Schluff
28	Buntsandstein	Lehm/Schluff
29	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
30	Buntsandstein	Lehm/Schluff
31	Buntsandstein	Lehm/Schluff
32	Unterkeuper (Lettenkeuper)	Lehm/Schluff

Fortsetzung Tabelle 16: Zuordnung der 59 LUBW-Rückstellproben zu geologischen Formationen und Hauptbodenarten (aus LfU, 2005)

Nr.	Geologische Formation nach Schulkarte	Bodenart
33	Gneise, vergneiste Gesteine und Migmatite	Sand
34	Jüngere vulkanische Gesteine	Lehm/Schluff
35	Junge Talfüllung	Lehm/Schluff
36	Granite und andere Plutonite	Lehm/Schluff
37	Granite und andere Plutonite	Lehm/Schluff
38	Muschelkalk	Lehm/Schluff
39	Tieferer Mittelkeuper, Keuper ungegliedert	Lehm/Schluff
40	Unterjura	Lehm/Schluff
41	Buntsandstein	Lehm/Schluff
42	Unterjura	Lehm/Schluff
43	Oberjura und Jura ungegliedert	Lehm/Schluff
44	Oberjura und Jura ungegliedert	Lehm/Schluff
45	Würmzeitliche Moränensedimente	Lehm/Schluff
46	Quartäre Sedimente (ungegliedert)	Lehm/Schluff
47	Junge Talfüllung	Lehm/Schluff
48	Granite und andere Plutonite	Sand
49	Oberjura und Jura ungegliedert	Lehm/Schluff
50	Mitteljura	Lehm/Schluff
51	Mitteljura	Ton
52	Unterjura	Ton
53	Unterjura	Ton
54	Unterjura	Ton
55	Oberjura und Jura ungegliedert	Lehm/Schluff
56	Rißzeitliche Moränensedimente	Lehm/Schluff
57	Würmzeitliche Moränensedimente	Lehm/Schluff
58	Würmzeitliche Moränensedimente	Lehm/Schluff
59	Oberjura und Jura ungegliedert	Ton

Abbildung 11 zeigt die geologische Schulkarte Baden-Württemberg mit den Herkunftsorten der 59 Rückstellproben aus LfU (2005).

Abbildung 11: Geologische Schulkarte Baden-Württemberg mit den angefahrenen 53 Bodenaushubdeponien (gelbe Vierecke) und den Herkunftsorten der 59 Rückstellproben von Bodenaushubmaterialien (schwarze Punkte) aus LfU (2005).



Die 59 LUBW-Proben verteilen sich wie folgt auf die Hauptbodenarten:

- Sand: 3 Proben
- Lehm/Schluff: 48 Proben
- Ton: 8 Proben

4.1.2 Nachuntersuchung der 59 Rückstellproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach LAGA TR Boden 2004

Kapitel 7.1.1 in Anhang 7 zeigt Korrelationen der Konzentrationen der Orientierungsparameter und der regelungsrelevanten Stoffe und Parameter im *WF* 10-Eluat der GIU GmbH aus den Wiederholuntersuchungen der 59 Rückstellproben mit den Ergebnissen aus LfU (2005).

Nicht einstufungsrelevante Abweichungen:

Orientierungsparameter - pH-Wert: 2 Proben, die nach LUBW-Messung außerhalb des „Orientierungsfensters“ liegen, sind nach GIU-Messung unauffällig (vgl. Abbildung 13).

Orientierungsparameter - elektrische Leitfähigkeit: 10 Proben, die nach LUBW-Messung unterhalb des Orientierungswertes liegen, sind nach GIU-Messung aufgrund der Höherbefunde auffällig, aber nicht einstufungsrelevant (vgl. Abbildung 13).

Für Chlorid, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Nickel, Quecksilber, Zink werden auch bei den Wiederholuntersuchungen nur geringe Konzentrationsniveaus weit unterhalb der Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden 2004 bzw. VwV Boden 2007 gefunden. Auffällig sind Höherbefunde der GIU GmbH im Bereich der Bestimmungsgrenzen: Hierbei handelt es sich um Abweichungen aufgrund besserer (kleinerer) Bestimmungsgrenzen der GIU GmbH.

Für Cyanide (ges.) und Phenolindex liegen keine Messergebnisse der LUBW aus dem Jahr 2005 vor. Die Nachuntersuchungen des Phenolindex durch die GIU GmbH haben für alle 59 Rückstellproben Werte < der Bestimmungsgrenze von 5 µg/L ergeben.

Einstufungsrelevante Abweichungen:

Sulfat nach LAGA TR Boden (Z0/Z0* = 20 mg/L): 5 Proben sind aufgrund Höherbefunden der GIU > Z0/Z0*, 1 Probe aufgrund Minderbefund GIU < Z0/Z0* (vgl. Abbildung 14).

Sulfat nach VwV Boden (Z0/Z0* = 50 mg/L): 1 Probe aufgrund Höherbefunde der GIU > Z0/Z0*, 1 Probe aufgrund Minderbefund GIU < Z0/Z0*(vgl. Abbildung 14).

Kupfer: Abweichung für Probe 8 (126/1, tieferer Mittelkeuper) aufgrund Höherbefund der GIU im *WF* 10-Eluat nach LAGA TR Boden (vgl. Abbildung 17). Diese ist allerdings nicht einstufungsrelevant, weil diese Probe ohnehin wegen Überschreitung des Feststoffgehaltes (Z0*: 80 mg/kg, Messung: 98 mg/kg) > Z0* eingestuft war.

Nachfolgende Tabelle 17 zeigt die Einstufungen der 59 LUBW-Proben nach LAGA TR Boden 2004 auf der Grundlage der Messergebnisse der LUBW aus dem Jahr 2005 (vgl. Tabelle 9 in LfU, 2005).

Tabelle 18 zeigt die Einstufungen nach LAGA TR Boden 2004 auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005, (LfU, 2005) und der Nachuntersuchung der 59 LUBW-Proben durch die GIU GmbH in *WF* 10-Eluaten. Die Unterschiede sind alleine auf die Höherbefunde von Sulfat in Eluaten der GIU GmbH zurückzuführen (siehe oben, 5 Höherbefunde, 1 Minderbefund, netto 4 “ungünstigere“ Einstufungen).

Tabelle 17: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach LAGA TR Boden 2004 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf Grundlage der Messungen der LUBW aus dem Jahre 2005 (vgl. Tabelle 9 in LfU, 2005)

Parameter	Anzahl n Proben über Z0 nach LAGA TR Boden 2004 [ ]				Anteil	n Proben über Z0*	Quote
	Sand (3 Proben)	Lehm/Schluff (48 Proben)	Ton (8 Proben)	Summe	[%]	[ ]	[%]
Arsen	2	10	2	14	23,7	13	22,0
Blei	2	1	1	4	6,8	0	0
Cadmium	0	2	0	2	3,4	2	3,4
Chrom, (ges.)	2	5	0	7	11,9	0	0
Kupfer	1	3	1	5	8,5	1	1,7
Nickel	3	8	0	11	18,6	0	0
Quecksilber	1	2	0	3	5,1	1	1,7
Zink	3	2	0	5	8,5	0	0
Thallium	0	0	0	0	0	0	0
TOC		38		38	64,4	38	64,4
Sulfat		10		10	16,9	10	16,9

Tabelle 18: Nachuntersuchung im *WF* 10-Eluat durch GIU GmbH: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach LAGA TR Boden 2004 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist.

Parameter	Anzahl n Proben über Z0 nach LAGA TR Boden 2004 [ ]				Anteil	n Proben über Z0*	Quote
	Sand (3 Proben)	Lehm/Schluff (48 Proben)	Ton (8 Proben)	Summe	[%]	[ ]	[%]
Arsen	2	10	2	14	23,7	13	22,0
Blei	2	1	1	4	6,8	0	0
Cadmium	0	2	0	2	3,4	2	3,4
Chrom, (ges.)	2	5	0	7	11,9	0	0
Kupfer	1	3	1	5	8,5	1	1,7
Nickel	3	8	0	11	18,6	0	0
Quecksilber	1	2	0	3	5,1	1	1,7
Zink	3	2	0	5	8,5	0	0
Thallium	0	0	0	0	0	0	0
TOC		35		35	59,3	35	59,3
Sulfat		14		14	23,7	14	23,7

Tabelle 19 zeigt die aus dem tabellarischen Auswerteverfahren (siehe Kapitel 3.9.2) resultierenden Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach LAGA TR Boden 2004 mit und ohne Berücksichtigung des TOC-Wertes nach LAGA TR Boden von 0,5 M.-%. Es werden jeweils das Delta der Anzahlen in den Zuordnungsklassen angegeben (Beispiel: 28 von 59 Proben hal-

ten die Z0-Werte ein, 7 von 59 Proben überschreiten die Z0-Kriterien und halten die Z0*-Kriterien ein. 24 von 59 Proben überschreiten die Z0*-Kriterien. Die Summe der Anteile ergibt die Gesamtzahl der untersuchten Proben von n= 59).

Tabelle 19: Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach LAGA TR Boden 2004 ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 0,5 M.-%. Grün: Änderungen gegenüber Messungen der LUBW aus dem Jahr 2005 (vgl. LfU, 2005) aufgrund von Höherbefunden von Sulfat durch GIU GmbH in den Nachuntersuchungen von *WF* 10-Eluaten.

Z-Klassen LAGA TR Boden 2004	Anzahl n Proben (mit TOC-Wert von 0,5 M.-%) [ ]	proz. Anteil (59 = 100%) (mit TOC-Wert von 0,5 M.-%) [%]
Z0	28 (10) **25 (12)**	48 (17) **42 (20)**
Z0*	7 (2) **6 (0)**	12 (3) **10 (0)**
>Z0*	24 (47) **28 (47)**	40 (80) **48 (80)**

4.1.3 Nachuntersuchung der 59 Rückstellproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach VwV Boden 2007

Tabelle 20 zeigt die Einstufungen nach VwV Boden 2007 auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 (vgl. LfU, 2005) und der Nachuntersuchung der 59 LUBW-Proben durch die GIU GmbH in *WF* 10-Eluaten.

Tabelle 20: Nachuntersuchung im *WF* 10-Eluat durch GIU GmbH: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach VwV Boden 2007 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist. Grün: Änderungen gegenüber Bewertungen in LfU, 2005, die sich auf die LAGA TR Boden 2004 beziehen (aufgrund höherer zulässiger Sulfatkonzentrationen nach VwV Boden 2007).

Parameter	Anzahl n Proben über Z0 nach VwV Boden 2007 [ ]				Anteil	n Proben über Z0*	Quote
	Sand (3 Proben)	Lehm/Schluff (48 Proben)	Ton (8 Proben)	Summe	[%]	[ ]	[%]
Arsen	2	10	2	14	23,7	13	22,0
Blei	2	1	1	4	6,8	0	0
Cadmium	0	2	0	2	3,4	2	3,4
Chrom, (ges.)	2	5	0	7	11,9	0	0
Kupfer	1	3	1	5	8,5	1	1,7
Nickel	3	8	0	11	18,6	0	0
Quecksilber	1	2	0	3	5,1	1	1,7
Zink	3	2	0	5	8,5	0	0
Thallium	0	0	0	0	0	0	0
TOC		-		-	-	-	-
Sulfat		**3**		**3**	**5,0**	**3**	**5,0**

Tabelle 21 zeigt die aus dem tabellarischen Auswerteverfahren (siehe Kapitel 3.9.2) resultierenden Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007. Die deutlich höheren Anzahlen und prozentualen Anteile von Bodenproben in günstigeren Klassen nach VwV Boden 2007 gegenüber LAGA TR Boden 2004 sind auf das Fehlen eines TOC-Grenzwertes und auf den höheren Z0/Z0*-Wert von Sulfat von 50 mg/L nach VwV Boden gegenüber 20 mg/L nach LAGA TR Boden zurückzuführen.

Tabelle 21: Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007 (auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU, 2005 und der Nachuntersuchungen der GIU GmbH im *WF* 10-Eluat).

Z-Klassen VwV Boden 2007	Anzahl n Proben [ ]	proz. Anteil (59 = 100%) [%]
Z0	31	53
Z0*IIIA	8	14
Z0*	9	15
>Z0*	19	32

4.1.4 Untersuchung der 59 Rückstellproben im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV, 2017)

Kapitel 7.1.2 in Anhang 7 zeigt Korrelationen der Konzentrationen der Orientierungsparameter und der regelungsrelevanten Stoffe und Parameter im *WF* 2-Schütteleluat mit den Ergebnissen aus dem *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH. Cyanide (ges.) wurden durch GIU GmbH nicht untersucht, weil nach geplanter Novelle der BBodSchV keine Materialwerte für Cyanide (ges.) festgelegt sind. Es liegen keine Messergebnisse in *WF* 10-Eluaten der LUBW aus dem Jahr 2005 vor. Phenole und Phenolindex: Alle Messwerte in *WF* 10- und *WF* 2-Eluaten der GIU GmbH sind < der Bestimmungsgrenze von 5 µg/L. Nach geplanter Novelle BBodSchV werden keine Materialwerte für Phenole festgelegt.

Nicht einstufungsrelevante Abweichungen:

Orientierungsparameter - pH-Wert: 1 Probe, die im *WF* 10-Eluat außerhalb des „Orientierungsfensters“ liegt, ist nach Messung im *WF* 2-Eluat unauffällig (vgl. Abbildung 19).

Für Chlorid, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Kupfer (mit der Ausnahme eines Ausreißerwertes), Nickel (mit der Ausnahme eines Ausreißerwertes), Quecksilber, Thallium und Zink (mit der Ausnahme eines Ausreißerwertes) werden nach beiden Verfahren und Grenzwertesystemen nur geringe Konzentrationsniveaus weit unterhalb der Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden 2004 bzw. VwV Boden 2007 im *WF* 10-Eluat sowie der Eluatwerte BM-0* nach Novelle BBodSchV in *WF* 2-Eluaten gefunden.

Quecksilber: 1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert nach BBodSchV (Abbildung 24) im *WF* 2-Eluat bei gleichzeitiger Einhaltung des Z0-/Z0*- Wertes nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 im *WF* 10-Eluat. Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV ist diese Überschreitung nicht maßgeblich bzw. einstufungsrelevant, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert eingehalten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Einstufungsrelevante Abweichungen:

Sulfat nach Novelle BBodSchV (Eluatwert 250 mg/L): 3 Proben überschreiten den Eluatwert im *WF* 2-Eluat (vgl. Abbildung 20 unten), was für BM-0* nicht zwingend einstufungsrelevant ist, weil Sulfat nach Novelle BBodSchV nicht zwingend als Grenzwert fungiert (siehe Fußnote 1 in Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2, für BM-0 existiert kein Sulfateluatwert).

Σ15 EPA PAK: 2 Proben überschreiten den BM-0*-Wert für die Σ15 EPA PAK im *WF* 2-Eluat von 0, 2 µg/L (vgl. Abbildung 26). Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV ist diese Überschreitung nur in einem Fall maßgeblich, weil nur hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert überschritten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Tabelle 22 zeigt die Einstufungen nach Novelle BBodSchV der 59 LUBW-Proben auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 (LfU, 2005) und der *WF* 2-Schütteleluate der GIU.

Tabelle 22: Anzahl und prozentualer Anteil der 59 Bodenproben der LUBW, bei welchen der BM-0 bzw. BM-0*-Wert nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017) des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU, 2005 und der Messungen der GIU GmbH im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529). Grün: Änderungen gegenüber Bewertungen in LfU, 2005, die sich auf LAGA TR Boden 2004 beziehen (in erster Linie aufgrund abweichender Feststoffgrenzwerte nach Novelle BBodSchV).

Parameter	Anzahl n Proben über BM-0 nach geplanter Novelle BBodSchV *WF* 2-Schütteleluat [ ]				Anteil [%]	n Proben über BM-0* [ ]	Quote [%]
	Sand (3 Proben)	Lehm/Schluff (48 Proben)	Ton (8 Proben)	Summe			
Arsen	2	7	2	11	18,6	10	17,0
Blei	2	1	1	4	6,8	0	0
Cadmium	0	2	0	2	3,4	2	3,4
Chrom, (ges.)	2	5	0	7	11,9	0	0
Kupfer	1	3	1	5	8,5	1	1,7
Nickel	3	8	0	11	18,6	0	0
Quecksilber	0	4	0	4	6,8	2	3,4
Zink	3	2	0	5	8,5	0	0
Thallium	0	0	0	0	0	0	0
TOC		[29]		[29]	[49,1]	[29]	[49,1]
Sulfat		-		-	-	-	-

Tabelle 23 zeigt die aus dem tabellarischen Auswerteverfahren (siehe Kapitel 3.9.2) resultierenden Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Materialklassen nach Novelle BBodSchV. Die höheren Anzahlen und prozentualen Anteile von Bodenproben in günstigeren Bodenmaterialklassen nach geplanter Novelle BBodSchV gegenüber VwV Boden 2007 und gegenüber LAGA TR Boden 2004 sind auf das Fehlen eines TOC-Grenzwertes und das Fehlen eines Grenzwertes für Sulfat im Eluat nach Novelle BBodSchV zurückzuführen (Sulfat fungiert nach Novelle BBodSchV nicht zwingend als Grenzwert, siehe Fußnote 1 in Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2, für BM-0 existiert kein Sulfateluatwert).

Tabelle 23: Verteilungen der 59 LUBW-Proben auf die verschiedenen Bodenmaterialklassen nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017) ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 1 M.-% (auf der Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU, 2005 und der Messungen der GIU GmbH im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529).

BM-Klassen BBodSchV 2017 *WF* 2-Schütteleluat	Anzahl n Proben [mit TOC-Wert von 1 M.-%] [ ]	proz. Anteil (59 = 100%) [mit TOC-Wert von 1 M.-%] [%]
BM-0 nach §8 (2)	34 [19]	58 [32]
BM-0* in sensiblen Gebieten nach §8 (5)	8 [3]	14 [5]
BM-0*nach §8 (3)	9 [3]	15 [5]
>BM-0* nach §8 (3)	16 [37]	27 [63]

4.1.5 Untersuchung der LUBW-Proben im ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV)

Kapitel 7.1.3 in Anhang 7 zeigt Korrelationen der Konzentrationen der Orientierungsparameter und der regelungsrelevanten Stoffe und Parameter im *WF* 2-Schütteleluat mit den Ergebnissen aus dem Säuleneluat der GIU GmbH. Die regelungsrelevante kumulative Konzentration im *WF* 2-Säuleneluat wurde jeweils aus den ausführlichen Säulenversuchen gemäß dem Berechnungsverfahren nach DIN 19528 berechnet.

Cyanide (ges.) wurden durch GIU GmbH nicht untersucht, weil nach geplanter Novelle der BBodSchV keine Materialwerte für Cyanide (ges.) festgelegt sind. Phenole und Phenolindex: Alle Messwerte in *WF* 2- Schüttel- und Säuleneluaten der GIU GmbH sind < der Bestimmungsgrenze von 5 µg/L. Nach geplanter Novelle BBodSchV werden keine Materialwerte für Phenole oder Phenolindex festgelegt.

<u>Nicht einstufungsrelevante Abweichungen:</u>

Für die Orientierungsparameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und die Stoffe Chlorid, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Nickel, Quecksilber (mit einer Ausnahme, nicht einstufungsrelevant, da Einhaltung des einfachen Vorsorgewertes), Thallium und Zink werden nach beiden Verfahren nur geringe Konzentrationsniveaus unterhalb der Eluatwerte für BM-0/BM-0* nach Novelle BBodSchV gefunden.

Arsen: 1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert für Arsen im Säuleneluat, während dieser Wert im *WF* 2-Schütteleluat eingehalten wird (vgl. Abbildung 29, oben). Die Abweichung ist für die Gesamteinstufung neutral, weil ohnehin der einfache Vorsorgewert von Arsen im Feststoff der zugehörigen Probe deutlich überschritten ist.

Kupfer: 1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert von Kupfer im Säuleneluat, während dieser Wert im *WF* 2-Schütteleluat eingehalten wird (vgl. Abbildung 31, oben). Die Abweichung ist aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV nicht maßgeblich, weil der einfache Vorsorgewert von Kupfer im Feststoff der zugehörigen Probe nicht überschritten ist (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Σ15 EPA PAK: 2 Proben überschreiten den BM-0*-Wert für die Σ15 EPA PAK im *WF* 2-Schütteleluat, während dieser im Säuleneluat eingehalten wird, für eine weiter Probe ist es umgekehrt (Abbildung 34). Nur in einem Fall ist die Abweichung im *WF* 2-Schütteleluat relevant, weil zugleich der einfache Vorsorgewert im Feststoff der zugehörigen Probe überschritten ist, für die Gesamtbewertung aber neutral, weil die Probe bereits wegen anderer Überschreitungen “durchfällt“. Im anderen Fall ist die Abweichung aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV nicht maßgeblich, weil

der einfache Vorsorgewert im Feststoff der zugehörigen Proben nicht überschritten ist (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Einstufungsrelevante Abweichungen:

Sulfat nach Novelle BBodSchV (Eluatwert 250 mg/L): 1 Probe überschreitet den Eluatwert von Sulfat im *WF* 2-Schütteleluat, während dieser im Säuleneluat eingehalten wird (Abbildung 28, unten). Die Abweichung ist nicht zwingend einstufungsrelevant, weil Sulfat nach Novelle BBodSchV nicht zwingend als Grenzwert fungiert (siehe Fußnote 1 in Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2, für BM-0 existiert kein Sulfateluatwert).

Die wenigen Abweichungen zwischen *WF* 2-Schütteleluat und Säuleneluat sind für die Gesamtbewertung neutral. Es ergeben sich identische Einstufungen. Lediglich wenn Sulfat einstufungsrelevant wäre (hängt von weiteren Randbedingungen im Einzelfall ab, siehe Fußnote 1 in Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2) würde sich nach dem Säuleneluat in einem Fall eine günstigere Einstufung ergeben.

4.1.6 Vergleich der Verwertungsquoten der 59 LUBW-Proben nach LAGA TR Boden (2004), VwV Boden (2007) und Novelle BBodSchV (MantelV 2017)

In Tabelle 24 werden zusammenfassend die kumulativen Verwertungsquoten in Prozent angegeben. Hierzu wurden die Anzahlen der Proben in einer bestimmten Zuordnungs- bzw. Bodenmaterialklasse (siehe vorhergehende Kapitel) addiert. Die Verwertungsquoten sind für die Beurteilung der Stoffstromverschiebungen relevant.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben sind der TOC-Wert von 1 Massenprozent und der Eluatwert von Sulfat von 250 mg/L nicht zwingend einstufungsrelevante Grenzwerte. Ob eine Überschreitung dieser Werte einstufungsrelevant ist, hängt von weiteren Randbedingungen ab, die im Einzelfall zu beurteilen sind (vgl. Regelung zu TOC in Kapitel2.2.1, Tabelle 2, Fußnote 3 und zu Sulfat in Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, Fußnote 1). Tabelle 24 vergleicht deshalb die Verwertungsquoten für verschiedene Annahmen (die genannten Randbedingungen treten nie oder immer ein) um die Relevanz verschiedener Randbedingungen, die im Einzelfall greifen, einschätzen zu können.

Um die Relevanz des Hinweises zu Tabelle 4 in Anlage1 der Novelle BBodSchV (Eluatwerte mit Ausnahme von Sulfat nur maßgeblich, wenn für den betreffenden Stoff der jeweilige Vorsorgewert nach Tabelle 1 oder 2 der Novellen BBodSchV überschritten wird, vgl. auch Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, Fußnote 2 und 3) einschätzen zu können, wird abweichend von der geplanten Novelle BBodSchV die Annahme geprüft, dass die Eluatwerte immer maßgeblich sind (siehe kursive Werte für die kumulativen Verwertungsquoten).

Tabelle 24: Vergleich der kumulativen Verwertungsquoten der 59 LUBW-Proben nach LAGA TR Boden 2004, VwV Boden 2007 und geplanter Novelle BBodSchV (Kabinettsfassung MantelV, 2017) auf Grundlage der Feststoffanalysen der LUBW aus dem Jahr 2005 in LfU (2005), der Nachuntersuchungen im *WF* 10-Schütteleluat und der Messungen im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und im Säuleneluat nach DIN 19528 (Messungen der GIU GmbH).

Kumulative prozentuale Anteile der Proben in verschiedenen Zuordnungsklassen / Bodenmaterialklassen [%]	**LAGA TR Boden**		**VwV Boden**	**Novelle BBodSchV *[Annahme, dass Eluatwerte immer maßgeblich sind]***			
					Randbedingungen im Einzelfall		
	o. TOC 0,5 M.-%	**m. TOC 0,5 M.-%**	**o. TOC 1 M.-%**	**o. TOC 1 M.-%**	**m. TOC 1 M.-%**	**m. Sulfat und o. TOC 1 M.-%**	**m. Sulfat und m. TOC 1 M.-%**
***WF* 10 – Schütteleluat nach DIN 38414-4, 10/1984, 2015-12-01 zurückgezogen**							
Z 0	42	20	53	-	-	-	-
Z 0* IIIA und besser	-	-	66	-	-	-	-
Z 0*und besser	53	20	68	-	-	-	-
> Z0*	47	80	32	-	-	-	-
***WF* 2 – Schütteleluat nach DIN 19529 (2012)**							
BM-0 nach §8 (2)	-	-	-	57	32	-	-
BM-0* in sensiblen Gebieten nach §8 (5) und besser	-	-	-	71	37	-	-
BM-0* nach §8 (3) und besser	-	-	-	72 *[71]*	37 *[36]*	69 *[68]*	36 *[34]*
> BM-0* nach §8 (3)	-	-	-	28 *[29]*	63 *[64]*	31 *[32]*	64 *[66]*
***WF* 2 – Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), Werte berechnet aus ausf. Säulenversuch**							
BM-0 nach §8 (2)	-	-	-	57	32	-	-
BM-0* in sensiblen Gebieten nach §8 (5) und besser	-	-	-	71	37	-	-
BM-0* nach §8 (3) und besser	-	-	-	72 *[71]*	37 *[36]*	71 *[70]*	38 *[36]*
> BM-0* nach §8 (3)	-	-	-	28 *[29]*	63 *[64]*	29 *[30]*	62 *[64]*

Folgenabschätzung der Novelle BBodSchV für Bodenmaterialien auf der Grundlage des Datensatzes der 59 LUBW-Proben und unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen

Für die Einstufung von Bodenmaterial und Baggergut in die Klassen BM-0 und BM-0* bleiben auch nach Einführung neuer Untersuchungsmethoden und neuen Eluatwerten im *WF* 2-Eluat für BM-0* nach geplanter Novelle BBodSchV die Feststoffgehalte (einfache und doppelte Vorsorgewerte) für die Einstufung maßgeblich.

Für die Einstufung BM-0 gilt: Die absoluten Verwertungsquoten in der Klasse BM-0 gegenüber Z0 bezogen auf die Gesamtheit der 59 LUBW-Proben steigen um rund 4 % gegenüber VwV Boden, 2007 und 15 % gegenüber LAGA TR Boden 2004 (Delta der Verwertungsquoten nach VwV/LAGA bzw. geplanter Novelle der BBodSchV), weil nach Novelle BBodSchV für BM-0 kein Parameter im Eluat gemessen und maßgeblich wird (vgl. Kapitel 2.2). Ganz wesentlich ist hier, dass Sulfat kein Grenzwert für BM-0 ist. Bzgl. der Feststoffgehalte wirken sich der höhere bodenartspezifische Arsenwert für Lehm/Schluff von 20 mg/kg statt bisher 15 mg/kg und der höhere bodenartspezifische Quecksilberwert für Sand von 0,3 mg/kg statt 0,2 mg/kg nach geplanter Novelle BBodSchV gegenüber VwV Boden 2007 und LAGA TR Boden 2004 erhöhend auf die absoluten Verwertungsquoten aus. Die niedrigeren bodenartspezifischen Quecksilberwerte für Lehm/Schluff und Ton von 0,3 mg/kg nach geplanter Novelle BBodSchV statt 0,5 µg/L bzw. 1 mg/kg nach aktuellen Reglungen wirken sich dagegen kaum aus.

Für die Einstufung BM-0* gilt: Die Eluatwerte für BM-0* im *WF* 2-Eluat wirken sich auf die Einstufung kaum aus. Dies ist dadurch begründet, dass die Eluatwerte nur dann maßgeblich sind, wenn der jeweilige einfache Vorsorgewert tatsächlich überschritten ist. Außerdem werden diese durch diesen Datensatz in der Regel eingehalten. Ganz maßgeblich ist hier wiederum, dass Sulfat nicht zwingend ein Grenzwert, also nicht zwingend einstufungsrelevant ist (bei Überschreitung des Wertes von Sulfat im Eluat ist die Ursache zu prüfen. Handelt es sich um naturbedingt erhöhte Sulfatkonzentrationen, ist eine Verwertung innerhalb der betroffenen Gebiete möglich. Außerhalb dieser Gebiete ist über die Verwertungseignung im Einzelfall zu entscheiden). Hierdurch und wegen des höheren bodenartspezifischen Arsenwertes für Lehm/Schluff von 20 mg/kg statt bisher 15 mg/kg ergeben sich gegenüber VwV Boden 2007 nach geplanter Novelle BBodSchV um 4 % und gegenüber LAGA TR Boden 2004 um 19% höhere Verwertungsquoten bezogen auf die Gesamtheit der 59 LUBW-Proben in der Klasse BM-0*. Entsprechend müssten nach geplanter Novelle BBodSchV 4 % bzw. 19 % weniger Bodenmaterialien von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien verschoben werden.

Relevanz des TOC-Wertes: Ganz maßgeblich für die Einstufung der 59-LUBW-Proben ist der TOC-Wert von 1 Massenprozent. Dieser ist nach geplanter Novelle der BBodSchV nur im Einzelfall einstufungsrelevant. Unter der Annahme, dass die Einstufungsrelevanz immer gegeben ist, würden die Verwertungsquoten in den verschiedenen Zuordnungsklassen und Bodenmaterialklassen, aufgrund der auffällig hohen TOC-Werte der LUBW-Proben, bezogen auf die Gesamtheit der 59 LUBW-Proben, gegenüber dem Standardfall der Novelle BBodSchV (ohne TOC) um rund 25 % (BM-0) bzw. 35 % (BM-0*) zurückgehen bzw. zu einer entsprechenden prozentualen Verschiebung in die nächst höhere Klasse oder von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien führen.

Relevanz der *WF* 2-Eluatwerte für BM-0*: Zieht man die *WF* 2- Eluatwerte immer als maßgeblich für die Einstufung heran, ergeben sich für diesen Datensatz kaum Änderungen, weil die Eluatwerte bei *WF* 2 in der Regel eingehalten werden.

Relevanz methodischer Effekte verschiedener Elutionsverfahren: Aufgrund der insgesamt geringen Konzentrationen in den *WF* 2-Eluaten der 59 LUBW-Proben wirken sich die unterschiedlichen Elutionsverfahren nur geringfügig auf die Einstufung aus. Lediglich aufgrund der etwas geringeren Sulfatkonzentrationen im Säulenversuch nach DIN 19528 (2009) gegenüber DIN 19529 (2012) würden sich um 2 Prozent höhere Verwertungsquoten nach den Säulenversuchsergebnissen ergeben, wenn Sulfat immer einstufungsrelevant wäre.

4.2 Untersuchung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien

4.2.1 Materialcharakterisierung

CD-ROM-Anhang 7.3.1 zeigt die Probenahmeprotokolle der IBE GmbH und der GIU GmbH und die im geotechnischen Labor der IBE GmbH bestimmten Korngrößenverteilungen der 50 neu beschafften Proben. Eine nicht anonymisierte Probenahmeliste mit Hoch- und Rechtswerten sowie Bereitstellern wurde dem UM BW zur Verfügung gestellt. Tabelle 25 listet die durch die 50 neu beschafften Bodenmaterialien repräsentierten geologischen Formationen, Auffüllungen und Baustellenmaterialien, die Ergebnisse der Kornverteilungsanalysen und die daraus resultierenden Zuordnungen zu den Hautbodenarten Sand, Lehm/Schluff und Ton. Abbildung 12 zeigt die Karte Baden-Württembergs mit den eingetragenen Probenahmestellen.

Tabelle 25: Zuordnung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien zu geologischen Formationen und zu Hauptbodenarten aufgrund der Analysen der Kornverteilungen.

lfd. Nr.	Bez. in Karte	Geologische Formation nach Angaben des LGRB vom 12.09.2016 *Angaben Probennehmer (IBE GmbH, GIU GmbH)*	Kornverteilung nach Analyse (IBE GmbH, vgl. Anhang)	Bodenart
1	1	Unterkeuper, (Lösslehm*), Kanalaushub (Keuper?)*	G, u, s, t'	Sand
2	2	Gipskeuper, *Löß*	U,t	Lehm/Schluff
3	3.A	Oberjura und/oder fluviatile Sedimente, *OberJura jol*	G, u*	Sand
4	3.B	Oberjura und/oder fluviatile Sedimente, *KSt. Jura STS/FSS*	G, s', u'	Sand
5	4	*"Stadtboden" Verfüllmaterial aus dem Bahnhofsbau. Sandig, kiesig mit Schluff (A, S + G, u)*	G, s, u'	Sand
6	12	Auensedimente, *Neckarkies*	G, s, u'	Sand
7	13	Gipskeuper, Unterkeuper, Quartär, Auffüllungen, *Gipskeuper, Unterkeuper*	G, u*, s	Sand
8	14	he1 (Psilonotenton), ko (Rhät), km5 (Knollenmergel), ggf. km4 (Stubensandstein), *Km3u sulfatführend*	G, s	Sand
9	16	km1MGH (Mittlerer Gipshorizont), km1BB (Bleiglanzbankschichten), km1DRM (Dunkelrote Mergel), km1BH (Bochinger Horizont bzw. Weinsberger Schichten), z. T. ausgelaugt als auch v.a . unausgelaugt, z.T. mit Anhydrit im Sulfatgestein	G, s	Sand
10	23	Löss	U, t	Lehm/Schluff
11	30	Unterkeuper, Oberer Muschelkalk, Lösslehm, *Lößlehm, Neckarkies*	U, s, g , t	Lehm/Schluff
12	31	Unterkeuper, Oberer Muschelkalk, Lösslehm, Löß	U, t	Lehm/Schluff

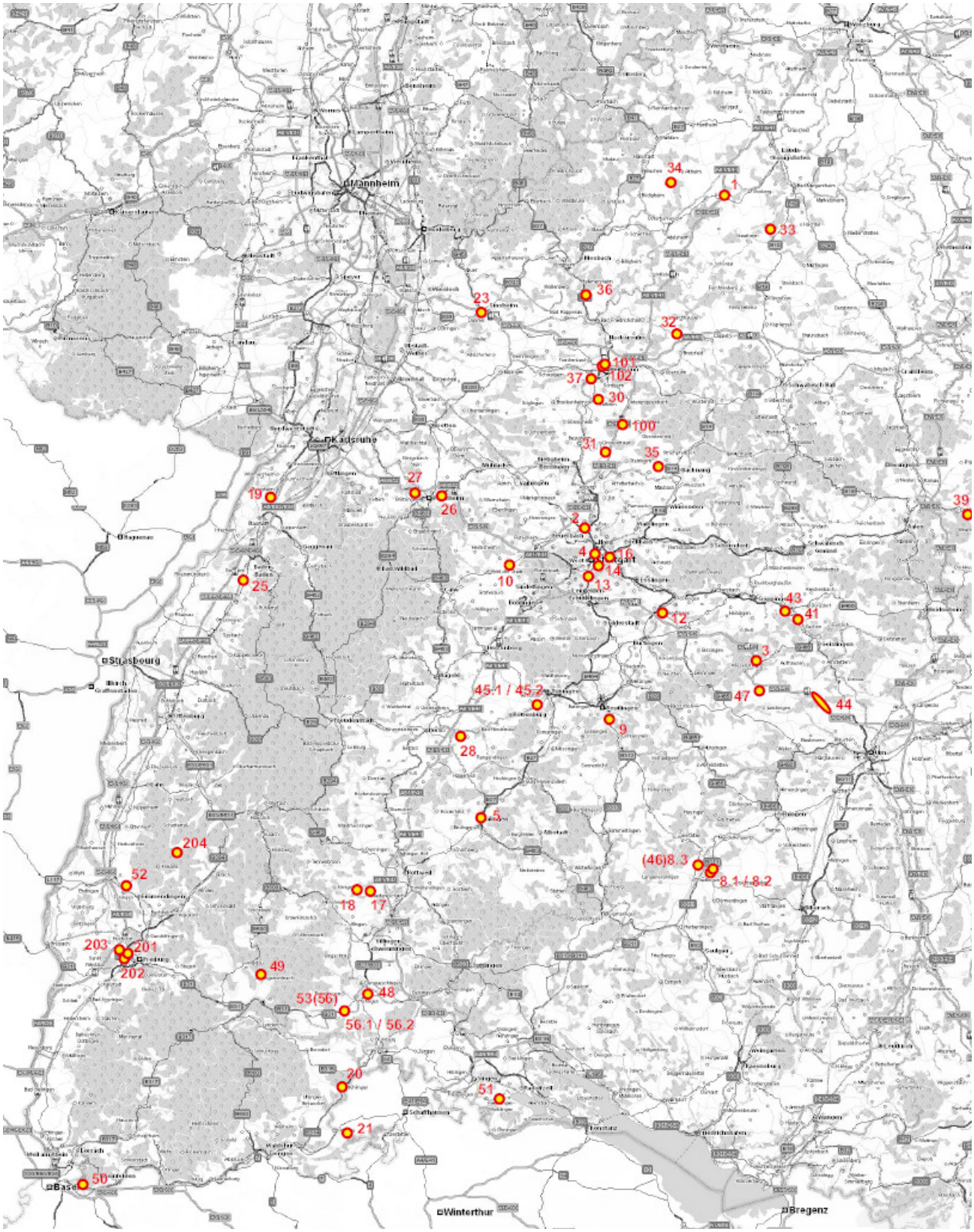
Fortsetzung Tabelle 25: Zuordnung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien

lfd. Nr.	Bez. in Karte	Geologische Formation nach Angaben des LGRB vom 12.09.2016 *Angaben Probennehmer (IBE GmbH, GIU GmbH)*	Kornverteilung nach Analyse (IBE GmbH, vgl. Anhang)	Bodenart
13	32	Unterkeuper, Oberer Muschelkalk, Lösslehm, *Bunte Mergel, Keuper*	U, g, t	Lehm/Schluff
14	33	Mittlerer Muschelkalk, Lösslehm, *ZV Muka-Mittlere*	U, t	Lehm/Schluff
15	34	Mittlerer Muschelkalk, *ZV Muka-Obere*	G, u, s'	Sand
16	35.A	Unterkeuper, Oberer Muschelkalk, *Grundgips*	G, u, s, t'	Sand
17	35.B	Unterkeuper, Oberer Muschelkalk, *Vorsieb gelb*	G, s, u'	Sand
18	36	Unterkeuper, Oberer Muschelkalk, *ZV Keuper*	G,u*,s',t'	Sand
19	37	Quartär, Gipskeuper, *Grabenfeldformation KmGr*	S, g, u, t'	Sand
20	39.A	Quartär, Braunjura (Sonninien-Schichten/ Eisensandstein-Serie)	U, g	Lehm/Schluff
21	41	Quartär, Opalinuston	U, t, s, g	Lehm/Schluff
22	43	Quartär, Opalinuston	G, u', s'	Sand
23	47	*Alblehm (Quartär) mit joM (zersetzt) und Bohnerzen*	T, u, g, s	Ton
24	8.1	*Donau Aue, kiesige und bindige teilweise moorige Böden*	U, T, s'; Ton, tlw. schluffig	Lehm/Schluff
25	8.2	*Donau Aue, kiesige und bindige teilweise moorige Böden*	U, t, s; Ton, Moorbo-den	Lehm/Schluff
26	(46) 8.3	Schotter evtl. Moräne (?)	G, s; Kies, teilweise lehmig/schluffig	Sand
27	9	Schotter (qNT)	U,t*, g', s', Kies, teil-weise schluffig/ lehmig	Lehm/Schluff
28	20	*Oberer Muschelkalk*	G, x*, u, s'; kiesige bindiger Boden	Sand
29	45.1	Quartär (?)	T, u*, s'; Ton, teilweise schluffig	Ton
30	45.2	Quartär (?)	G, s', u', t'	Sand
31	49	Granit, evtl. Auensedimente	G, s, u'; Kies	Sand

Fortsetzung Tabelle 25: Zuordnung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien.

lfd. Nr.	Bez. in Karte	Geologische Formation nach Angaben des LGRB vom 12.09.2016 *Angaben Probennehmer (IBE GmbH, GIU GmbH)*	Kornverteilung nach Analyse (IBE GmbH, vgl. Anhang)	Bodenart
32	51	*Beckenschluff (Wb)*	U, t*, s	Lehm/Schluff
33	52	Quartär	U, s', t'	Lehm/Schluff
34	56.1	Opalinuston - Unterjura	U, G, s'	Lehm/Schluff
35	56.2	Opalinuston - Unterjura	G, x, s', t', u'	Sand
36	5	*Unterjura (Posidonienschiefer)*	G, s', u'	Sand
37	100	*Keuper, Grabfeld-Formation (Gipskeuper), Tonstein, meist dolomitisch und gipshaltig, rotbraun, violett, grün, grau; Gipsstein, Anhydrit, grau und weißgrau, Dolomit-steinlagen, mikritisch, grau, tonig; Schichtverband im ausgelaugten Zustand z. T. aufgelockert*	G, u, s, t'	Sand
38	201	*Stadtboden mit Bauschuttrestmassen*	G, u, s, t'	Sand
39	21	*Auenlehm/Talauenschotter der Wutach*	G, s, u, t'	Sand
40	28	*Oberer und Mittlerer Muschelkalk*	G, u, s, t'	Sand
41	50	*Rheinwiese/Rheinablagerungen (sandig), Decklehm, Auffüllmaterial*	U, s, t	Lehm/Schluff
42	48	*Auensedimente*	G, u, s', t'	Sand
43	202	*Stadtboden mit Bauschuttrestmassen*	G, s, u'	Sand
44	101	*Stadtboden, Auesedimente mit Bauschuttrestmassen*	G, s, u, t'	Sand
45	102	*Stadtboden, Neckarkies mit Bauschuttrestmassen*	G, u, s	Sand
46	203	*Stadtboden mit Bauschuttrestmassen*	G, s	Sand
47	18.1	*Unterer Muschelkalk mit Bleiglanzbank*	U, g, t	Lehm/Schluff
48	18.2	*Unterer Muschelkalk mit Bleiglanzbank*	G, u', s'	Sand
49	19	*Quartär/Tertiär, Niederterrasse*	S, g'	Sand
50	204	*Quarzporphyr*	G, u', s', t'	Sand

Abbildung 12: Karte Baden-Württemberg mit Probenahmestellen der 50 neu beschafften Böden.



Die 50 neu beschafften Bodenmaterialien verteilen sich wie folgt auf die Hauptbodenarten:

- Sand: 32 Proben
- Lehm/Schluff: 16 Proben
- Ton: 2 Proben

An dieser Stelle wird nochmals betont, dass die Zuordnung der 50 Proben zu den Hauptbodenarten Sand, Lehm/Schluff und Ton im Auftrag des AG anhand der Siebanalysen erfolgte. Im Gegensatz dazu wurden beim Datensatz der LUBW, die Bodenproben grob per Bodenansprache zugeordnet (vgl. ausführliche Diskussion in Kapitel 3.9). Dies kann dazu führen, dass beim LUBW-Datensatz die Bodenart Sand eher unterrepräsentiert (3 Proben) und beim neu erhobenen Datensatz mit 32 Proben überrepräsentiert wird. Die unterschiedlichen nach BBodSchV gleichermaßen zulässigen Herangehensweisen bei der Probenzuordnung können die Klassifizierung dahingehend beeinflussen, dass die 50 neuen Bodenproben im Hinblick auf die Klasse BM-0 aufgrund der niedrigeren bodenartspezifischen Vorsorgewerte für Sand strenger bewertet werden.

Der Auftragnehmer (AN) wurde damit beauftragt, die Zuordnung zu den Hauptbodeneinheiten auf der Grundlage der Kornverteilungskurven durchzuführen, weil im Streitfall in der Praxis, dieses Laborergebnis als gerichtsfeste Größe herangezogen würde und immer eine Beurteilung auf der sicheren Seite erfolgt (Sand statt Lehm/Schluff und/oder Lehm/Schluff statt Ton).

4.2.2 Untersuchungsergebnisse zur laborinternen Reproduzierbarkeit der Elutionsverfahren

Im Auftrag des UM wurde für 10 % der neu beprobten Bodenmaterialien (5 aus 50 Bodenmaterialproben) die laborinterne Reproduzierbarkeit der GIU GmbH für alle Elutionsverfahren in Dreifachversuchsansätzen überprüft. Für die jeweiligen Dreifachversuchsansätze wurden 5 Proben (Nr. 20, 22, 25, 31, 45, vgl. Tabelle 25) auf Basis der Ergebnisse des ersten Versuchsansatzes (Durchführung im Dezember 2016) ausgewählt. Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl der Proben waren möglichst große Unterschiede der Konzentrationsniveaus von Sulfat in Eluaten und relevante Eluatkonzentrationen der Σ15 EPA PAK und der Schwermetalle Arsen, Kupfer, Nickel und Quecksilber. Die Versuchsansätze 2 und 3 wurden an Rückstellproben im Juli 2017 durchgeführt. Hierbei ist zu beachten, dass zwischen den beiden letzteren Versuchsansätzen 2 und 3 (die gleichzeitig in Parallelversuchen durchgeführt wurden) und dem ersten Versuchsansatz ein Zeitraum von 7 Monaten liegt. Bei Ergebnisunterschieden zwischen dem ersten Versuchsansatz und den beiden letzteren Versuchsansätzen kann folglich auch eine Alterierung der Rückstellproben eine Rolle spielen. Die nachfolgende Tabelle 26 listet deshalb neben den berechneten Mittelwerten und Wiederholvariationskoeffizienten für alle drei Versuchsansätze auch die Ergebnisse für eine separate Betrachtung der beiden Versuchsansätze 2 und 3.

Tabelle 26 zeigt Kenndaten der Konzentrationswerte für Stoffe bzw. Parameter, die in allen Eluaten der verschiedenen Methoden mindestens ein Konzentrationsniveau von 50 % der Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA (2017) bzw. der methodenspezifischen Prüfwerte gemäß Tabelle 1 in Kapitel 2.1 bzw. der Tabelle 2 im Begründungstext der geplanten Novelle der BBodSchV (vgl. Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017) aufweisen. Zur besseren Einschätzung der Wiederholvariationskoeffizienten dieser Studie werden in der letzten Spalte auch verfügbare Verfahrenskenndaten für die jeweiligen Stoffe aus Ringversuchen der DIN 19528 (2009, vgl. Tabellen A.1 und A.2 in Anhang A) und DIN 19529 (2012, vgl. u.a. Tabelle B.4) genannt.

Tabelle 26: Kenndaten der Reproduzierbarkeit der hier durchgeführten Elutionsverfahren, berechnet aus den Ergebnissen von Dreifachversuchsansätzen mit 10 % der Bodenproben. Abkürzungen: SV *WF* 2kum. berechnet: aus dem ausführlichen Säulenversuch berechnete kumulative Konzentration im *WF* 2-Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), Schütteltest *WF* 2: *WF* 2-Eluat nach DIN 19529 (2012), Schütteltest *WF* 10: *WF* 10-Eluat nach DIN 38414-4, 10/1984 2015-12-01 zurückgezogen.

Parameter, Probennummer	Elutionsmethode	Mittelwerte *M* [µg/L] Sulfat [mg/L] aus		Wiederholvarations-koeffizienten CV_r [%] für		CV_r aus Ring-versuchen mit Bodenmaterial nach DIN 19528 (2009) bzw. DIN 19529 (2012) [%]
		Ansätzen 1-3	Ansätzen 2-3	Ansätze 1-3	Ansätze 2-3	
Sulfat, P 20	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	884	887	12	17	-
	Schütteltest *WF* 2	1433	1624	23	0,2	-
	Schütteltest *WF* 10	442	554	45	11	-
Sulfat, P 22	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	489	523	12	1,5	-
	Schütteltest *WF* 2	1120	1039	13	1	-
	Schütteltest *WF* 10	188	223	33	7	-
Sulfat, P 45	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	165	170	26	34	-
	Schütteltest *WF* 2	197	204	9	8	-
	Schütteltest *WF* 10	58	58	6	8	-
Antimon, P 31	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	9,1	7,6	28	4	-
	Schütteltest *WF* 2	8,7	7,2	31	3	-
	Schütteltest *WF* 10	3,8	2,2	72	1	-
Arsen, P 31	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	5,7	4,5	36	11	-
	Schütteltest *WF* 2	6,0	6,0	7	10	-
	Schütteltest *WF* 10	8,1	6,8	30	17	-
Arsen, P 45	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	7,4	7,8	19	22	-
	Schütteltest *WF* 2	7,0	7,0	2	3	-
	Schütteltest *WF* 10	5,4	5,6	13	16	-
Kupfer, P 45	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	52	45	27	24	9
	Schütteltest *WF* 2	74	53	53	10	25
	Schütteltest *WF* 10	24	17	50	4	-
Nickel, P 20	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	6,1	6,2	11	16	19
	Schütteltest *WF* 2	11	8,7	32	20	25
	Schütteltest *WF* 10	1,8	1,8	21	29	-
Nickel, P 22	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	33	36	31	33	19
	Schütteltest *WF* 2	21	19	17	3	25
	Schütteltest *WF* 10	2,68	2,8	22	27	-

Fortsetzung Tabelle 26: Kenndaten der Reproduzierbarkeit der hier durchgeführten Elutionsverfahren.

Parameter, Probennummer	Elutionsmethode	Mittelwerte *M* [µg/L] Sulfat [mg/L]		Wiederholvarationskoeffizienten CV_r [%]		CV_r aus Ringversuchen mit Bodenmaterial aus DIN 19528 (2009) DIN 19529 (2012) [%]
		Ansätze 1-3	Ansätze 2-3	Ansätze 1-3	Ansätze 2-3	
Quecksilber, P 20	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	0,13	0,07	85	5	-
	Schütteltest *WF* 2	0,23	0,04	145	39	-
	Schütteltest *WF* 10	0,12	0,06	91	13	-
Quecksilber, P 31	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	0,17	0,14	35	8	-
	Schütteltest *WF* 2	0,21	0,18	18	0,4	-
	Schütteltest *WF* 10	0,37	0,19	83	18	-
Quecksilber, P 45	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	0,05	0,06	39	13	-
	Schütteltest *WF* 2	0,11	0,10	17	12	-
	Schütteltest *WF* 10	0,07	0,07	17	16	-
Selen, P 20	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	49	42	25	16	-
	Schütteltest *WF* 2	69	73	13	13	-
	Schütteltest *WF* 10	18	20	23	4	-
Selen, P 22	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	22	22	15	20	-
	Schütteltest *WF* 2	38	32	27	2	-
	Schütteltest *WF* 10	6,1	6,6	15	7	-
Vanadium, P 45	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	20	24	34	15	-
	Schütteltest *WF* 2	31	32	8	6	-
	Schütteltest *WF* 10	25	26	9	7	-
Σ15 EPA PAK, P 31	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	0,60	0,73	36	11	10
	Schütteltest *WF* 2	2,43	1,18	91	49	19
	Schütteltest *WF* 10	1,22	0,74	69	23	-
Σ15 EPA PAK, P 45	SV *WF* $2_{kum.\ berechnet}$	0,33	0,16	88	14	10
	Schütteltest *WF* 2	1,07	0,83	39	14	19
	Schütteltest *WF* 10	0,38	0,40	12	10	-

Die Wiederholvariationskoeffizienten (CV_r) für alle 3 Versuchsansätze sind in der Regel deutlich höher als diejenigen für die beiden gleichzeitig durchgeführten Versuchsansätze 2 und 3, was vermutlich auf Alterierungsprozesse und Trocknungseffekte in den Rückstellproben zurückzuführen ist (Ergebnisse der gleichzeitig in den Versuchsansätzen 2 und 3 untersuchten Rückstellproben liegen nahe beieinander und unterscheiden sich teils deutlich von der vor 8 Monaten untersuchten Probe). Bei allen Elutionsverfahren werden CV_r von 10 bis 50 % (Sulfat i.d.R. 10 bis 20 %, Schwermetalle i.d.R. 10 bis 30 %, Σ15 EPA PAK i.d.R. 10 bis 30 % gefunden. Diese Ergebnisse liegen im oberen Bereich der Ringversuchsergebnisse. Beim Vergleich mit den Ringversuchsergebnissen ist zu berücksichtigen, dass im Ringversuch mit optimal homogenisierten Bodenmaterialien mit relativ hohen Konzentrationsniveaus und einer hohen Anzahl (*n)* von Einzelwerten von *n* = 20 bis 40 versus *n* = 3 in dieser Studie erwartungsgemäß etwas bessere Reproduzierbarkeiten erzielt werden. Insgesamt sind die hier gefundenen Reproduzierbarkeiten als sehr gut zu bezeichnen.

4.2.3 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach LAGA TR Boden 2004

Tabelle 27 zeigt die Einstufungen nach LAGA TR Boden 2004 für die 50 neu beschafften Bodenproben auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der *WF* 10-Schütteleluate der GIU GmbH.

Tabelle 27: Anzahl und prozentualer Anteil der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach LAGA TR Boden 2004 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH).

Parameter	Anzahl n Proben über Z0 nach LAGA TR Boden 2004 [ ]				Anteil	n Proben über Z0*	Quote
	Sand (32 Proben)	Lehm/Schluff (16 Proben)	Ton (2 Proben)	Summe	[%]	[ ]	[%]
Arsen	13	7	1	21	42	17	34
Blei	7	1	0	8	16	4	8
Cadmium	8	0	0	8	16	2	4
Chrom, (ges.)	5	0	0	5	10	0	0
Kupfer	10[1]	0	0	10	20	1	2
Nickel	23	2	0	25	50	1	2
Quecksilber	7[1]	0	0	7	7	0	0
Zink	20	0	0	20	40	2	4
Thallium	10	1	0	11	22	3	6
TOC	13			13	26	13	26
Sulfat	11			11	22	11	22
Chlorid	3			3	6	3	6

1: bei einer Probe war zusätzlich zum Vorsorgewert auch der Eluatwert überschritten

Tabelle 28 zeigt die aus dem tabellarischen Auswerteverfahren (siehe Kapitel 3.9.2) resultierenden Verteilungen der 50 neu beschafften Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach LAGA TR Boden 2004 ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 0,5 M.-%.

Tabelle 28: Verteilung der 50 neu beschafften Bodenproben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach LAGA TR Boden 2004 ohne und mit Berücksichtigung des TOC-Wertes von 0,5 M.-% (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH).

Z-Klassen LAGA TR Boden 2004	Anzahl n Proben (mit TOC-Wert von 0,5 M.-%) [ ]	proz. Anteil (50 = 100%) (mit TOC-Wert von 0,5 M.-%) [%]
Z0	12 (10)	24 (20)
Z0*	11 (10)	22 (20)
>Z0*	27 (30)	54 (60)

4.2.4 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 10-Schütteleluat und Bewertung nach VwV Boden 2007

Tabelle 29 zeigt die Einstufungen nach VwV Boden 2007 für die 50 neu beschafften Bodenproben auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der *WF* 10-Schütteleluate der GIU GmbH.

Tabelle 29: Anzahl und prozentualer Anteil der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen der Z0- bzw. Z0*-Wert nach VwV Boden 2007 des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH).

Parameter	Anzahl n Proben über Z0 nach VwV Boden 2007 [ ]				Anteil	n Proben über Z0*	Quote
	Sand (32 Proben)	Lehm/Schluff (16 Proben)	Ton (2 Proben)	Summe	[%]	[ ]	[%]
Arsen	13	7	1	21	42	17	34
Blei	7	1	0	8	16	4	8
Cadmium	8	0	0	8	16	2	4
Chrom, (ges.)	5	0	0	5	10	0	0
Kupfer	10	0	0	10	20	1	2
Nickel	23	2	0	25	50	1	2
Quecksilber	7	0	0	7	7	0	0
Zink	20	0	0	20	40	2	4
Thallium	10	1	0	11	22	3	6
TOC	-			-	-	-	-
Sulfat	8			8	16	8	16
Chlorid	3			3	6	3	6

Tabelle 30 zeigt die aus dem tabellarischen Auswerteverfahren (siehe Kapitel 3.9.2) resultierenden Verteilungen der 50 neu beschafften Proben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007. Die deutlich höheren Anzahlen und prozentualen Anteile von Bodenproben in günstigeren Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007 gegenüber LAGA TR Boden 2004 sind auf das Fehlen eines TOC-Grenzwertes und auf den höheren Z0/Z0*-Wert von Sulfat von 50 mg/L nach VwV Boden gegenüber 20 mg/L nach LAGA TR Boden zurückzuführen.

Tabelle 30: Verteilung der 50 neu beschafften Bodenproben auf die verschiedenen Zuordnungsklassen nach VwV Boden 2007 (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH).

Z-Klassen VwV Boden 2007	Anzahl n Proben [ ]	proz. Anteil (59 = 100%) [%]
Z0	13	26
Z0* IIIA	10	20
Z0*	12	24
>Z0*	25	50

4.2.5 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV)

Kapitel 7.2.1 in Anhang 7 zeigt Korrelationen der Konzentrationen der Orientierungsparameter und der regelungsrelevanten Stoffe und Parameter im *WF* 2-Schütteleluat mit den Ergebnissen aus dem *WF* 10-Schütteleluat der GIU GmbH.

Cyanide (ges.) wurden durch GIU GmbH nicht untersucht, weil nach geplanter Novelle der BBodSchV keine Materialwerte für Cyanide (ges.) festgelegt sind. Phenole und Phenolindex: Alle Messwerte in *WF* 10- und *WF* 2-Eluaten der GIU GmbH sind < der Bestimmungsgrenze von 5 µg/L. Nach geplanter Novelle BBodSchV werden keine Materialwerte für Phenole oder Phenolindex festgelegt.

Nicht einstufungsrelevante Abweichungen:

Orientierungsparameter - pH-Wert: Keine methodisch bedingten Abweichungen. Es werden dieselben 3 Proben identifiziert, die außerhalb des „Orientierungsfensters“ liegen (vgl. Abbildung 35).

Für Chlorid, Arsen, Blei, Cadmium und Zink werden nach beiden Verfahren und Grenzwertesystemen nur geringe Konzentrationsniveaus weit unterhalb der Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden 2004 bzw. VwV Boden 2007 sowie der Eluatwerte von BM-0* nach Novelle BBodSchV gefunden.

Chrom, ges.: 1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert nach BBodSchV (Abbildung 40) im *WF* 2-Eluat bei gleichzeitiger Einhaltung des Z0-/Z0*- Wertes nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 im *WF* 10-Eluat. Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV ist diese Überschreitung nicht maßgeblich bzw. einstufungsrelevant, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert eingehalten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Thallium: 2 Proben überschreiten den BM-0*-Wert nach BBodSchV (Abbildung 43). Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV sind diese Überschreitungen nicht maßgeblich bzw. einstufungsrelevant, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert Sand eingehalten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2). In der LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 existieren keine Eluatwerte für Thallium.

Einstufungsrelevante Abweichungen:

Sulfat: 4 Proben überschreiten den Z0-/Z0*- Wert von 20 mg/L nach LAGA TR Boden 2004 und ein Wert den Z0-/Z0*- Wert von 50 mg/L nach VwV Boden 2007 im *WF* 10-Schütteleluat. Die korrespondierenden *WF* 2-Eluatwerte liegen aber noch unterhalb des Sulfateluatwertes von 250 mg/L nach geplanter Novelle BBodSchV (vgl. Abbildung 38). 7 Werte liegen sowohl oberhalb des Z0-/Z0*- Wertes nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007, als auch oberhalb des Eluatwertes von Sulfat im *WF* 2-Eluat nach geplanter Novelle BBodSchV. Die Überschreitungen der Eluatwerte nach geplanter Novelle BBodSchV sind nicht zwingend einstufungsrelevant, weil hier Sulfat nicht zwingend als Grenzwert fungiert (Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, siehe Fußnote 1).

Kupfer: 1 Probe überschreitet den Z0-/Z0*- Wert nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 im *WF* 10-Eluat und den BM-0*-Wert im *WF* 2-Eluat nach BBodSchV (Abbildung 41). Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV ist diese Überschreitung maßgeblich, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert überschritten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Nickel: 1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert im *WF* 2-Eluat nach BBodSchV (Abbildung 42) bei gleichzeitiger Einhaltung des Z0-/Z0*- Wertes nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 im *WF* 10-Eluat. Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV ist diese Überschreitung maßgeblich, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert überschritten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Quecksilber: 12 Proben überschreiten den BM-0*-Wert nach BBodSchV (Abbildung 43) im *WF* 2-Eluat, nur eine Probe überschreitet gleichzeitig den Z0-/Z0*- Wert nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 im *WF* 10-Eluat. Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV sind diese Überschreitungen allerdings nur bei 2 Proben maßgeblich, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert überschritten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2). Bei einer Probe ist alleine der Feststoffgehalt maßgeblich, da dieser den doppelten Vorsorgewert überschreitet.

Σ15 EPA PAK: 14 Proben überschreiten den BM-0*-Wert für die Σ15 EPA PAK im *WF* 2-Eluat von 0, 2 µg/L (vgl. Abbildung 45). Aufgrund der Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV ist diese Überschreitung nur für 3 der 14 Fälle maßgeblich, weil hier gleichzeitig der einfache Vorsorgewert überschritten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2). Nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 gibt es keine Grenzwertefestlegungen für die Σ15 EPA PAK im *WF* 10-Eluat.

Tabelle 31 zeigt die Einstufungen nach Novelle BBodSchV für die 50 neu beschafften Bodenproben auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der *WF* 2-Schütteleluate der GIU GmbH.

Tabelle 31: Anzahl und prozentualer Anteil der 50 neu beschafften Bodenproben, bei welchen der BM-0 bzw. BM-0*-Wert nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017) des jeweiligen Stoffes/Parameters überschritten ist (auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 der GIU GmbH).

Parameter	Anzahl n Proben über BM-0 nach geplanter Novelle BBodSchV *WF* 2-Schütteleluat [ ]				Anteil [%]	n Proben über BM-0* [ ]	Quote [%]
	Sand (32 Proben)	Lehm/Schluff (16 Proben)	Ton (2 Proben)	Summe			
Arsen	13	4	1	18	36	13	26
Blei	7	1	0	8	16	4	8
Cadmium	8	0	0	8	16	2	4
Chrom, (ges.)	5	0	0	5	10	0	0
Kupfer	10	0	0	10	20	1	2
Nickel	23	2	0	25	50	1	2
Quecksilber	2	0	0	2	4	1	2
Zink	20	0	0	20	40	2	4
Thallium	3	0	0	3	6	2	4
TOC		4		4	8	4	8
Sulfat		-		-	-	7	14

Tabelle 32 zeigt die aus dem tabellarischen Auswerteverfahren (siehe Kapitel 3.9.2) resultierenden Verteilungen der 50 neu beschafften Proben auf die verschiedenen Bodenmaterialklassen nach Novelle BBodSchV. Die deutlich höheren Anzahlen und prozentualen Anteile von Bodenproben in günstigeren Klassen nach geplanter Novelle BBodSchV gegenüber VwV Boden 2007 und gegenüber LAGA TR Boden 2004 sind auf das Fehlen von Eluatmessungen (insbesondere Sulfat relevant) für die Klasse BM-0 und auf die Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV zurückzuführen, nach der Überschreitung im *WF* 2-Eluat (Schwermetalle und Organika) nur dann maßgeblich sind, wenn gleichzeitig der jeweilige einfache Vorsorgewert überschritten wird (siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2). Außerdem fungiert der Eluatwert von Sulfat nach geplanter Novelle BBodSchV nicht zwingend als Grenzwert ist also nicht zwingend einstufungsrelevant.

Tabelle 32: Verteilung der 50 neu beschafften Bodenproben auf die verschiedenen Bodenmaterialklassen nach Novelle BBodSchV (MantelV 2017, auf der Grundlage der Feststoffanalysen und der Messungen im *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 der GIU GmbH).

BM-Klassen BBodSchV 2017 *WF* 2-Schütteleluat	Anzahl n Proben [mit TOC-Wert von 1 M.-%] [ ]	proz. Anteil (59 = 100%) [mit TOC-Wert von 1 M.-%] [%]
BM-0 nach §8 (2)	16 [15]	32 [30]
BM-0* in sensiblen Gebieten nach §8 (5)	18 [16]	36 [32]
BM-0*nach §8 (3)	17 [16]	34 [32]
>BM-0* nach §8 (3)	16 [19]	32 [38]

4.2.6 Untersuchung der 50 neu beschafften Bodenproben im *WF* 2- Säulenkurzeluat und im ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 (2009) und Bewertung nach Novelle BBodSchV (Artikel 2, Kabinettsfassung MantelV)

Kapitel 7.2.2 in Anhang 7 zeigt Korrelationen der Konzentrationen der Orientierungsparameter und der regelungsrelevanten Stoffe und Parameter im *WF* 2-Schütteleluat mit den Ergebnissen des *WF* 2-Säulenkurzeluates.

Cyanide (ges.) wurden durch GIU GmbH nicht untersucht, weil nach geplanter Novelle der BBodSchV keine Materialwerte für Cyanide (ges.) festgelegt sind. Phenole und Phenolindex: Alle Messwerte in *WF* 2- Schüttel- und Säuleneluaten der GIU GmbH sind < der Bestimmungsgrenze von 5 µg/L. Nach geplanter Novelle BBodSchV werden keine Materialwerte für Phenole oder Phenolindex festgelegt.

Abweichungen zwischen *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 (2012) und *WF* 2 – Säulenkurzeluat nach DIN 19528 (2009).

Nicht einstufungsrelevante Abweichungen:

Für die Orientierungsparameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und die Stoffe Chlorid, Sulfat, Blei, Cadmium, Chrom, (ges.), Kupfer und Zink werden entweder sehr gute Übereinstimmungen in allen Konzentrationsbereichen oder zwar gewisse Abweichungen aber nach beiden Verfahren nur geringe Konzentrationsniveaus weit unterhalb der Eluatwerte für BM-0 /BM-0* nach Novelle BBodSchV gefunden.

Thallium:2 Proben überschreiten den BM-0*-Wert für Thallium im *WF* 2-Schütteleluat während dieser in den *WF* 2-Säulenkurzeluaten eingehalten wird (vgl. Abbildung 52, unten). Diese methodischen Abweichungen sind nicht einstufungsrelevant, weil die Proben jeweils den einfachen Vorsorgewert von Thallium (Sand) im Feststoff einhalten (vgl. Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV, siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Einstufungsrelevante Abweichungen:

Arsen: 5 Proben überschreiten die BM-0*-Werte für Arsen im *WF* 2-Säulenkurzeluat, während diese Werte im *WF* 2-Schütteleluat eingehalten werden (vgl. Abbildung 49, oben). Nur bei einer Probe wäre diese methodische Abweichung einstufungsrelevant, da bei allen anderen Proben ohnehin der einfache Vorsorgewert von Arsen im Feststoff der zugehörigen Proben deutlich überschritten ist.

Nickel:1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert für Nickel im *WF* 2-Schütteleluat während dieser im *WF* 2-Säulenkurzeluat eingehalten wird (vgl. Abbildung 51, unten). Diese Abweichung ist einstufungsrelevant, weil zugleich der einfache Vorsorgewert überschritten ist (vgl. Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV, siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Quecksilber: 5 Proben überschreiten den BM-0*-Wert für Quecksilber im *WF* 2-Schütteleluat, während dieser im Säuleneluat eingehalten wird. 1 Probe überschreitet den BM-0*-Wert für Quecksilber im *WF* 2-Säulenkurzeluat, während dieser im *WF* 2-Schütteleluat eingehalten wird. Nur für eine Probe sind die methodischen Abweichungen einstufungsrelevant. Hier führt die Überschätzung im *WF* 2-Schütteleluat zu einer ungünstigeren Einstufung. In allen anderen Fällen waren die Eluat nicht einstufungsrelevant, weil zugleich die einfachen Vorsorgewerte eingehalten wurden (vgl. Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV, siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2) oder die Feststoffgehalte bereits oberhalb der doppelten Vorsorgewerte lagen.

Σ15 EPA PAK: 6 Proben überschreiten den BM-0*-Wert für die Σ15 EPA PAK im *WF* 2-Schütteleluat, während dieser im Säuleneluat eingehalten wird, für drei Proben ist es umgekehrt (Abbildung 54). Nur in vier Fällen sind die Eluatkonzentrationen maßgeblich, weil zugleich der einfache Vorsorgewert überschritten ist (vgl. Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV, siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2). Nur in einem Fall ergibt sich eine ungünstigere Bewertung durch das Säulenkurzeluat. Für die Gesamtbewertung ergibt sich also eine nur sehr geringe Abweichung.

Die wenigen Abweichungen zwischen *WF* 2-Schütteleluat und *WF* 2-Säulenkurzeluat spielen für die Gesamtbewertung eine nur geringe Rolle, weil die Eluatwerte in der Regel nicht maßgeblich sind, weil zugleich der einfache Vorsorgewert eingehalten wurde (vgl. Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV, siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2).

Abweichungen zwischen den aus dem ausführlichen Säulenversuch berechneten kumulativen Konzentrationen bei *WF* 2 und dem *WF* 2 – Säulenkurzeluat nach DIN 19528 (2009)

Anhang 7 in Kapitel 7.2.3 zeigt Korrelationen der aus dem ausführlichen Säulenversuch berechneten kumulativen Konzentrationen bis *WF* 2 und im *WF* 2-Säulenkurzeluat für die Orientierungsparameter und die regelungsrelevanten Stoffe und Parameter. Die regelungsrelevante kumulative Konzentration im *WF* 2-Säuleneluat wurde jeweils aus den ausführlichen Säulenversuchen nach dem Berechnungsverfahren gemäß DIN19528 berechnet.

Cyanide (ges.) wurden durch GIU GmbH nicht untersucht, weil nach geplanter Novelle der BBodSchV keine Materialwerte für Cyanide (ges.) festgelegt sind. Phenole und Phenolindex: Alle Messwerte in *WF* 2- Schüttel- und Säuleneluaten der GIU GmbH sind < der Bestimmungsgrenze von 5 µg/L. Nach geplanter Novelle BBodSchV werden keine Materialwerte für Phenole oder Phenolindex festgelegt

Für die Orientierungsparameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und die Stoffe Chlorid, Sulfat, Blei, Cadmium, Thallium, Zink und Naphthalin werden entweder sehr gute Übereinstimmungen in allen Konzentrationsbereichen oder zwar gewisse Abweichungen aber nach beiden Verfahren nur geringe Konzentrationsniveaus weit unterhalb der Eluatwerte für BM-0 /BM-0* nach Novelle BBodSchV gefunden.

Für Chrom, ges., Kupfer, Nickel und Quecksilber sind jeweils bei einer Probe, die berechneten Konzentrationen im *WF* 2-Säuleneluat höher, als bei den gemessenen Säulenkurzeluaten. Diese methodischen Abweichungen sind nicht einstufungsrelevant, da die Eluatwerte nicht maßgeblich sind.

Für Quecksilber sind zugleich bei 2 Proben die gemessenen Konzentrationen in Säulenkurzeluaten höher aber ebenfalls nicht maßgeblich, weil die zugehörigen Vorsorgewerte eingehalten werden.

Arsen: 3 Proben überschreiten die BM-0*-Werte für Arsen im gemessenen *WF* 2-Säuleneluat, während diese Werte im berechneten *WF* 2-Säuleneluat eingehalten werden (vgl. Abbildung 57, oben). Bei einer Probe wird die Konzentration im *WF* 2-Säulenkurzeluat unterschätzt. Bei keiner Probe sind diese methodischen Abweichungen einstufungsrelevant, da ohnehin der einfache Vorsorgewert von Arsen im Feststoff der zugehörigen Proben deutlich überschritten ist.

PAK: 4 Proben überschreiten die BM-0*-Werte für die Σ15 EPA PAK im berechneten *WF* 2-Säuleneluat, während diese Werte im gemessenen *WF* 2-Säuleneluat eingehalten werden (vgl. Abbildung 62, oben). Für 6 Proben resultiert dagegen eine Unterschätzung. Nur in vier Fällen sind die Eluatkonzentrationen maßgeblich, weil zugleich der einfache Vorsorgewert überschritten ist (vgl. Regelung zu Tabelle 4, Anlage 1 Novelle BBodSchV, siehe auch Tabelle 5 in Kapitel 2.2.2). Für die Gesamtbewertung ergibt sich also eine nur sehr geringe Abweichung.

Die wenigen Abweichungen zwischen den aus dem ausführlichen Säulenversuch berechneten kumulativen Konzentrationen bei *WF* 2 und den Ergebnissen der *WF* 2-Säulenkurzeluate spielen für die Gesamtbewertung eine nur geringe Rolle, weil die Eluatwerte in der Regel nicht maßgeblich sind.

4.2.7 Vergleich der Verwertungsquoten der 50 neu beschafften Bodenproben nach LAGA TR Boden (2004), VwV Boden (2007) und Novelle BBodSchV (MantelV 2017)

In Tabelle 33 werden zusammenfassend die kumulativen Verwertungsquoten in Prozent angegeben. Hierzu wurden die Anzahlen der Proben in einer bestimmten Zuordnungs- bzw. Bodenmaterialklasse (siehe vorhergehende Kapitel) addiert. Die Verwertungsquoten sind für die Beurteilung der Stoffstromverschiebungen relevant.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben sind der TOC-Wert von 1 Massenprozent und der Eluatwert von Sulfat von 250 mg/L nicht zwingend einstufungsrelevante Grenzwerte. Ob eine Überschreitung dieser Werte einstufungsrelevant ist, hängt von weiteren Randbedingungen ab, die im Einzelfall zu beurteilen sind (vgl. Regelung zu TOC in Kapitel 2.2.1, Tabelle 2, Fußnote 3 und zu Sulfat in Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, Fußnote 1). Tabelle 33 vergleicht deshalb die Verwertungsquoten für verschiedene Annahmen (genannten Randbedingungen treten nie oder immer ein) um die Relevanz verschiedener Randbedingungen im Einzelfall einschätzen zu können.

Um die Relevanz des Hinweises zu Tabelle 4 in Anlage1 der Novelle BBodSchV (Eluatwerte mit Ausnahme von Sulfat nur maßgeblich, wenn für den betreffenden Stoff der jeweilige Vorsorgewert nach Tabelle 1 oder 2 der Novellen BBodSchV überschritten wird, vgl. auch Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, Fußnote 2 und 3) einschätzen zu können, wird abweichend von der geplanten Novelle BBodSchV die Annahme geprüft, dass die Eluatwerte immer maßgeblich sind (siehe kursive Werte für die kumulativen Verwertungsquoten).

Tabelle 33: Vergleich der kumulativen Verwertungsquoten der 50 neu beschafften Bodenmaterialien nach LAGA TR Boden 2004, VwV Boden 2007 und geplanter Novelle BBodSchV (Kabinettsfassung der MantelV 2017) auf Grundlage der Feststoffanalysen und Messungen im *WF* 10-Schütteleluat, *WF* 2-Schütteleluat nach DIN 19529 und Säuleneluat nach DIN 19528 der GIU GmbH)

Kumulative prozentuale Anteile der Proben in verschiedenen Zuordnungsklassen / Bodenmaterialklassen [%]	LAGA TR Boden		VwV Boden	Novelle BBodSchV *[Annahme, dass Eluatwerte immer maßgeblich sind]*			
					Randbedingungen im Einzelfall		
	o. TOC 0,5 M.-%	m. TOC 0,5 M.-%	o. TOC 1 M.-%	o. TOC 1 M.-%	m. TOC 1 M.-%	m. Sulfat o. TOC 1 M.-%	m. Sulfat m. TOC 1 M.-%
***WF* 10 – Schütteleluat nach DIN 38414-4, 10/1984, 2015-12-01 zurückgezogen**							
Z 0	24	20	26	-	-	-	-
Z 0* IIIA und besser	-	-	46	-	-	-	-
Z 0* und besser	46	40	50	-	-	-	-
> Z0*	54	60	50	-	-	-	-
***WF* 2 – Schütteleluat nach DIN 19529 (2012)**							
BM-0 nach §8 (2)	-	-	-	32	30	-	-
BM-0* in sensiblen Gebieten nach §8 (5) und besser	-	-	-	68	62	-	-
BM-0*nach §8 (3) und besser	-	-	-	66 *[40]*	62 *[40]*	60 *[32]*	56 *[28]*
> BM-0* nach §8 (3)	-	-	-	34 *[60]*	38 *[60]*	40 *[68]*	44 *[72]*
***WF* 2 – Säuleneluat nach DIN 19528 (2009), Werte berechnet aus ausf. Säulenversuch**							
BM-0 nach §8 (2)	-	-	-	32	30	-	-
BM-0* in sensiblen Gebieten nach §8 (5) und besser	-	-	-	68	62	-	-
BM-0*nach §8 (3) und besser	-	-	-	68 *[54]*	62 *[44]*	62 *[48]*	58 *[44]*
> BM-0* nach §8 (3)	-	-	-	32 *[46]*	38 *[56]*	38 *[52]*	42 *[56]*

Folgenabschätzung der Novelle BBodSchV für Bodenmaterialien auf der Grundlage des Datensatzes der 50 neu beschafften Bodenproben und unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen

Für die Einstufung von Bodenmaterial und Baggergut in die Klassen BM-0 und BM-0* bleiben auch nach Einführung neuer Untersuchungsmethoden und Eluatwerten im *WF* 2-Eluat für BM-0* nach Novelle BBodSchV die Feststoffgehalte (einfache und doppelte Vorsorgewerte) maßgeblich.

Für die Einstufung BM-0 gilt: Die absoluten Verwertungsquoten in der Klasse BM-0 gegenüber Z0 bezogen auf die Gesamtheit der 50 neu beschafften Proben steigen um rund 6 % gegenüber VwV Boden 2007 und rund 8 % gegenüber LAGA TR Boden an (Delta der Verwertungsquoten nach VwV/LAGA bzw. geplanter Novelle der BBodSchV), weil nach Novelle BBodSchV für BM-0 kein Parameter im Eluat gemessen und maßgeblich wird (vgl. Kapitel 2.2). Ganz wesentlich ist hier, dass Sulfat kein Grenzwert für BM-0 ist. Bzgl. der Feststoffgehalte wirken sich der höhere bodenartspezifische Arsenwert für Lehm/Schluff von 20 mg/kg statt bisher 15 mg/kg und der höhere bodenartspezifische Quecksilberwert für Sand von 0,3 mg/kg statt 0,2 mg/kg nach geplanter Novelle BBodSchV gegenüber VwV Boden 2007 und LAGA TR Boden 2004 erhöhend auf die absoluten Verwertungsquoten aus. Die niedrigeren bodenartspezifischen Quecksilberwerte für Lehm/Schluff und Ton von 0,3 mg/kg nach geplanter Novelle BBodSchV statt 0,5 µg/L bzw. 1 mg/kg nach aktuellen Reglungen wirken sich dagegen kaum aus.

Für die Einstufung BM-0* gilt: Die Eluatwerte für BM-0* im *WF* 2-Eluat wirken sich auf die Einstufung kaum aus. Dies ist dadurch begründet, dass die Eluatwerte nur dann maßgeblich sind, wenn der jeweilige einfache Vorsorgewert überschritten ist. Ganz maßgeblich ist hier wiederum, dass Sulfat nicht zwingend ein Grenzwert, also nicht zwingend einstufungsrelevant ist. Hierdurch und wegen des höheren bodenartspezifischen Arsenwertes für Lehm/Schluff von 20 mg/kg statt bisher 15 mg/kg ergeben sich gegenüber VwV Boden 2007 nach geplanter Novelle BBodSchV um 16 % und gegenüber LAGA TR Boden 2004 um 20 % höhere Verwertungsquoten bezogen auf die Gesamtheit der 50 neu beschafften Proben in der Klasse BM-0*. Entsprechend müssten nach Novelle BBodSchV 16 % bzw. 20 % weniger Bodenmaterialien von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technischen Bauwerken oder Beseitigung auf Deponien verschoben werden.

Relevanz des TOC-Wertes: Weniger maßgeblich für die Einstufung der 50 neu beschafften Proben ist der TOC-Wert von 1 Massenprozent. Dieser ist nach geplanter Novelle der BBodSchV nur im Einzelfall einstufungsrelevant. Unter der Annahme, dass die Einstufungsrelevanz immer gegeben ist, würden die Verwertungsquoten in den verschiedenen Zuordnungsklassen und Bodenmaterialklassen, bezogen auf die Gesamtheit der 50 neu beschafften Proben nur um rund 2 % (BM-0) bzw. 4 % (BM-0*) bezogen auf den Standardfall der Novelle BBodSchV (ohne TOC) zurückgehen bzw. zu einer entsprechenden prozentualen Verschiebung in die nächst höhere Klasse oder von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien führen. Insgesamt weisen die neu beschafften Bodenproben aufgrund der horizontierten Probenahme deutlich geringere TOC-Werte als die Mischproben der LUBW aus dem Jahr 2005 auf.

Relevanz der *WF* 2-Eluatwerte für BM-0*: Zieht man die *WF* 2- Eluatwerte immer als maßgeblich für die Einstufung heran, ergeben sich für diesen Datensatz deutliche Änderungen: Aufgrund von Überschreitungen in erster Linie der Eluatwerte der Σ15 EPA PAK, von Quecksilber und von Kupfer würden sich um bis zu 26 % niedrigere Verwertungsquoten in der Bodenmaterialklasse BM-0* ergeben bzw. es würden entsprechende Verschiebungen in die nächst höhere Klasse oder von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien resultieren.

Relevanz methodischer Effekte verschiedener Elutionsverfahren: Die unterschiedlichen Elutionsverfahren wirken sich nach Novelle BBodSchV nur geringfügig (+/- 2 %) auf die Einstufung aus, weil die Eluatwerte in der Regel nicht maßgebend sind. Unter der Annahme, dass diese abweichend von der Novelle der BBodSchV für die Einstufung immer maßgeblich wären, resultieren nach dem Schütteleluat nach DIN 19529 (2012) aufgrund der aus der Literatur einschlägig bekannten Überschätzung der Eluatkonzentrationen gegenüber dem Säuleneluat nach DIN 19528 (2009) um bis zu 16 % geringere Verwertungsquoten in der Klasse BM-0* bzw. entsprechend höhere Verschiebungen von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technischen Bauwerken oder Beseitigung auf Deponien.

5 Zusammenfassung und Ausblick

5.1 Einhaltbarkeit der materiellen Anforderungen

In erster Linie war zu beantworten, ob durch die Bestimmungen in der novellierten BBodSchV die Stoffströme im Vergleich zum Status Quo der VwV Boden vom 14. März 2007 verändert werden.

Grundsätzlich gilt für den uneingeschränkt verwertbaren Bereich, derzeit Z0, künftig BM-0:

Unter alleiniger Betrachtung der materiellen Anforderungen kann ohne Messprogramme festgestellt werden, dass alle bisher nach LAGA TR Boden 2004 und VwV Boden 2007 als Z0 eingestuften und zur Verfüllung von Abgrabungen eingesetzten Bodenmaterialien und Baggergut zukünftig mit Sicherheit gleichbleibend oder vermehrt gemäß §8 (2) Novelle BBodSchV (Bodenmaterialien, die die einfachen Vorsorgewerte einhalten) bzw. BM-0 / BG-0 nach EBV eingestuft und damit wie bisher für die Verfüllung von Abgrabungen eingesetzt werden können. Dies liegt darin begründet, dass die Kabinettsfassung der BBodSchV für BM-0 ausschließlich Vorsorgewerte im Feststoff festlegt, die bis auf eine geringfügige Reduzierung des bodenartspezifischen Vorsorgewertes von Quecksilber für Lehm-/Schluff-/Ton-Boden entweder mit den bisherigen Werten identisch oder wie bei Arsen (Lehm/Schluff), Quecksilber (Sand) und Thallium (Sand/Lehm/Schluff) etwas höher als die bisherigen Werte sind. Eluatuntersuchungen entfallen vollständig.

Grundsätzlich gilt für den verwertbaren Bereich, derzeit Z0*, künftig BM-0*:

Bei isolierter Betrachtung der Feststoffgehalte kann ohne Messprogramme festgestellt werden, dass keine Stoffstromverschiebungen für bisher nach LAGA TR Boden 2004 oder VwV Boden 2007 als Z0* eingestufte Materialien zu erwarten sind. Zusätzlich müssen jedoch die *WF* 2-Eluatkonzentrationen von Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, ges., Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink sowie PCB_6 + PCB-118, 15 PAK und Naphthalin sowie Methylnaphthaline bewertet werden, wenn zugleich der einfache Vorsorgewert des jeweiligen Stoffes oder Parameters überschritten ist.

Prüfergebnisse für die Eluatwerte

Standardfall der geplanten Novelle BBodSchV, separate Betrachtung der Relevanz von Randbedingungen für den Einzelfall, Sensitivitätsanalyse einer Maßgeblichkeit von Eluatwerten

Der TOC-Wert von 1 Massenprozent und der Eluatwert von Sulfat von 250 mg/L sind nicht zwingend einstufungsrelevant. Ob eine Überschreitung dieser Werte nach Novelle BBodSchV toleriert werden kann, hängt von weiteren Randbedingungen ab, die nur für den Einzelfall beurteilt werden können. Um die Relevanz verschiedener Randbedingungen im Einzelfall einschätzen zu können, wurden neben der Standardauswertung nach geplanter Novelle der BBodSchV auch verschiedene Annahmen (genannte Randbedingungen treten nie oder immer ein) überprüft.

Um die Relevanz des Hinweises zu Tabelle 4 in Anlage1 der Novelle BBodSchV (Eluatwerte mit Ausnahme von Sulfat nur dann maßgeblich, wenn für den betreffenden Stoff der jeweilige Vorsorgewert nach Tabelle 1 oder 2 der Novellen BBodSchV überschritten wird, vgl. auch Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, Fußnote 2 und 3) einschätzen zu können, wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse abweichend von der geplanten Novelle BBodSchV die Annahme geprüft, dass die Eluatwerte immer maßgeblich sind.

Prüfergebnisse für den Datensatz der 59 LUBW-Proben

Für die Einstufung von Bodenmaterial und Baggergut in die Klassen BM-0 und BM-0* bleiben auch nach Einführung neuer Untersuchungsmethoden und Eluatwerten im *WF* 2-Eluat für BM-0* die Feststoffgehalte (einfache und doppelte Vorsorgewerte) für die Einstufung maßgeblich.

Insgesamt steigen die Verwertungsquoten in der Klasse BM-0 um 4 % gegenüber Z0 nach VwV Boden, 2007 und um 15 % gegenüber Z0 (ohne TOC) nach LAGA TR Boden 2004 an, weil nach Novelle

BBodSchV für BM-0 kein Parameter im Eluat gemessen und maßgeblich wird. Ganz wesentlich ist hier, dass die Novelle BBodSchV für BM-0 im Gegensatz zur aktuellen Sachlage keinen Grenzwert für Sulfat im Eluat festschreibt. Bzgl. der Feststoffgehalte wirken sich der höhere bodenartspezifische Arsenwert für Lehm/Schluff von 20 mg/kg statt bisher 15 mg/kg und der höhere bodenartspezifische Quecksilberwert für Sand von 0,3 mg/kg statt 0,2 mg/kg erhöhend auf die Quoten aus. Die niedrigeren bodenartspezifischen Quecksilberwerte für Lehm/Schluff und Ton von 0,3 mg/kg nach BBodSchV statt 0,5 µg/L bzw. 1 mg/kg nach aktueller Sachlage wirken sich kaum aus.

Die Eluatwerte für BM-0* wirken sich auf die Einstufung kaum aus. Dies ist dadurch begründet, dass die Werte im *WF* 2-Eluat nur dann maßgeblich sind, wen der jeweilige einfache Vorsorgewert tatsächlich überschritten ist. Ganz wesentlich ist hier, dass Sulfat nicht zwingend einstufungsrelevant ist (bei Überschreitung des Wertes von Sulfat im Eluat ist die Ursache zu prüfen. Handelt es sich um naturbedingt erhöhte Sulfatkonzentrationen, ist eine Verwertung innerhalb der betroffenen Gebiete möglich. Außerhalb dieser Gebiete ist über die Verwertungseignung im Einzelfall zu entscheiden). Gegenüber Z0* nach VwV Boden 2007 ergeben sich für BM-0*/BG-0* nach geplanter Novelle BBodSchV um 4 % und gegenüber Z0* (ohne TOC) nach LAGA TR Boden 2004 um 19% höhere Verwertungsquoten bezogen auf die Gesamtheit der 59 LUBW-Proben. Entsprechend müssten nach geplanter Novelle BBodSchV 4 % bzw. 19 % weniger Bodenmaterialien von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien verschoben werden.

Wären immer die Randbedingungen für eine Einstufungsrelevanz eines TOC-Wertes von 1 Massenprozent gegeben, würden die Verwertungsquoten der LUBW-Proben aufgrund der auffällig hohen TOC-Werte gegenüber dem Standardfall der Novelle BBodSchV um 25 % (BM-0) bzw. 35 % (BM-0*) zurückgehen bzw. es käme zu einer entsprechenden Verschiebung in die nächst höhere Klasse oder von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien führen.

Würde man die *WF* 2- Eluatwerte immer zusätzlich als maßgeblich für die Einstufung heranziehen, ergeben sich für diesen Datensatz kaum Änderungen, weil die Eluatwerte bei *WF* 2 in der Regel eingehalten werden.

<u>Prüfergebnis für den Datensatzes der 50 neu beschafften Proben</u>

Auch für die 50 neu beschafften Proben bleiben für die Einstufung die Feststoffgehalte (einfache und doppelte Vorsorgewerte) maßgeblich.

Insgesamt steigen die Verwertungsquoten in der Klasse BM-0 um 6 % gegenüber Z0 nach VwV Boden 2007 und 8 % gegenüber Z0 (ohne TOC) nach LAGA TR Boden an, weil nach Novelle BBodSchV für BM-0 kein Stoff oder Parameter im Eluat gemessen und maßgeblich wird. Ganz wesentlich ist hier, dass die Novelle BBodSchV für BM-0 im Gegensatz zur aktuellen Sachlage keinen Grenzwert für Sulfat im Eluat festschreibt. Bzgl. der Feststoffgehalte wirken sich der höhere bodenartspezifische Arsenwert für die Bodenart Lehm/Schluff von 20 mg/kg statt bisher 15 mg/kg und der höhere bodenartspezifische Quecksilberwert für die Bodenart Sand von 0,3 mg/kg statt 0,2 mg/kg erhöhend auf die Quoten aus. Für diesen neuen Datensatz wirkt sich insbesondere der höhere bodenartspezifische Vorsorgewert für Thallium für die Bodenart Sand von 0,5 mg/kg statt 0,4 mg/kg sowie für die Bodenart Lehm/Schluff von 1 mg/kg statt 0,7 mg/kg erhöhend auf die Quoten aus. Die niedrigeren bodenartspezifischen Quecksilberwerte für die Bodenarten Lehm/Schluff und Ton von 0,3 mg/kg nach BBodSchV statt 0,5 µg/L bzw. 1 mg/kg nach aktuellen Regelungen, wie der VwV Boden 2007, wirken sich dagegen kaum aus.

Die Eluatwerte für BM-0* im *WF* 2-Eluat wirken sich auf die Einstufung kaum aus. Dies ist dadurch begründet, dass die Eluatwerte nur dann maßgeblich sind, wen der jeweilige einfache Vorsorgewert tatsächlich überschritten ist. Ganz maßgeblich ist hier, dass Sulfat nicht zwingend ein Grenzwert, also nicht zwingend einstufungsrelevant ist (siehe oben). Gegenüber VwV Boden 2007 resultieren nach

geplanter Novelle BBodSchV auf Basis der Messergebnisse im *WF* 2-Schütteleluat um 16 % und gegenüber LAGA TR Boden 2004 um 20 % höhere Verwertungsquoten bezogen auf die Gesamtheit der 50 neu beschafften Proben in der Klasse BM-0*. Entsprechend müssten nach Novelle BBodSchV 16 % bzw. 20 % weniger Bodenmaterialien von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technischen Bauwerken oder Beseitigung auf Deponien verschoben werden.

Wären immer die Randbedingungen für eine Einstufungsrelevanz eines TOC-Wert von 1 Massenprozent gegeben, würden die Verwertungsquoten für diesen Datensatz gegenüber dem Standardfall der Novelle BBodSchV nur um rund 2 % (BM-0) bzw. 4 % (BM-0*) zurückgehen bzw. zu einer entsprechenden Verschiebung in die nächst höhere Klasse oder von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien führen. Insgesamt weisen die neu beschafften Bodenproben aufgrund der horizontweisen Probenahme deutlich geringere TOC-Werte als die Mischproben der LUBW aus dem Jahr 2005 auf.

Würde man die *WF* 2- Eluatwerte immer zusätzlich als maßgeblich für die Einstufung heranziehen, dann würden sich aufgrund einiger Überschreitungen der zulässigen Eluatwerte von in erster Linie der Σ15 EPA PAK, Quecksilber und Kupfer bezogen auf das *WF* 2- Schütteleluat um 26 % und bezogen auf das *WF* 2- Säuleneluat um 14 % niedrigere Verwertungsquoten in der Bodenmaterialklasse BM-0* gegenüber dem Standardfall der BBodSchV ergeben bzw. es würden entsprechende Verschiebungen in die nächst höhere Klasse oder von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technische Bauwerke oder Beseitigung auf Deponien resultieren. Es ist dabei aber zu betonen, dass die Überschreitungen der Eluatwerte i.d.R. geringfügig sind und in der Regel noch innerhalb der sonstigen Mess- und Verfahrensunsicherheiten liegen.

5.2 Vergleich der Messergebnisse verschiedener Laborelutionsverfahren

Korrelation zwischen *WF* 2 – Schütteleluaten nach DIN 19529 (2012) und *WF* 2 – Säuleneluaten nach DIN 19528 (2009) und systematische Auswertungen der Verwertungsquoten für beide Testverfahren zeigen für die hier untersuchten 109 Bodenmaterialien in der Regel nur geringe Unterschiede, die oftmals innerhalb der sonstigen Messunsicherheiten liegen. Auch geringe Unterschiede innerhalb der Messunsicherheiten können aber zu Bewertungsunterschieden führen, wenn die Eluatwerte immer maßgeblich wären.

Unterschiede zwischen den aus dem ausführlichen Säulenversuch nach DIN 19528 berechneten kumulativen *WF* 2-Konzentrationen und den im *WF* 2-Säulenkurzeluat gemessenen Konzentrationen treten insbesondere bei der Σ15 EPA PAK auf (5 Überbefunde im berechneten und 4 Minderbefunde im gemessen *WF* 2-Säuleneluat). Diese und die einzelnen Abweichungen bei Arsen, Chrom, (ges.), Kupfer, Nickel und Quecksilber sind aber kaum einstufungsrelevant, weil die Eluatwerte in der Regel nicht maßgeblich waren (einfache Vorsorgewerte wurden eingehalten).

Verlässliche Umrechnungsfaktoren zwischen Konzentrationen in *WF* 2-Eluaten und *WF* 10-Eluaten sind außer für Salze erwartungsgemäß nicht ableitbar. Für Chlorid und Sulfat resultieren hohe Verdünnungsraten zwischen *WF* 2 und *WF* 10 von Faktor 4,4 für die hier untersuchten Bodenmaterialien. Dieser Korrelationsfaktor zeigt ein hinreichend hohes Bestimmtheitsmaß. Korrelationsfaktoren von Kupfer und Chrom, ges. liegen bei 1,6. Arsen zeigt aufgrund der diffusionslimitierten Freisetzung einen Korrelationsfaktor um 1. Die Bestimmtheitsmaße für Schwermetalle sind aufgrund der verschiedenen Bindungsformen und komplexen Freisetzungsmechanismen zu gering für verlässliche Umrechnungen.

Würde man die Eluatwerte immer als maßgeblich für die Einstufung heranziehen, ergeben sich trotz der insgesamt geringen methodischen Abweichungen aufgrund der tendenziellen Überschätzungen der Konzentrationen im Schütteleluat nach DIN 19529 (2012) gegenüber dem Säuleneluat nach DIN 19528 (2009) insbesondere für den Datensatz der 50 neu beprobten Bodenmaterialien folgende Be-

wertungsunterschiede: Nach dem Schütteleluat nach DIN 19529 (2012) würden aufgrund der aus der Literatur einschlägig bekannten Überschätzung der Eluatkonzentrationen gegenüber dem Säuleneluat nach DIN 19528 (2009) um 14 % geringere Verwertungsquoten in der Klasse BM-0* bzw. entsprechend höhere Verschiebungen von der Verfüllung in Richtung Verwertung in technischen Bauwerken oder Beseitigung auf Deponien resultieren. Es ist dabei aber zu betonen, dass die Überschreitungen der Eluatwerte insgesamt i.d.R. geringfügig sind und i.d.R. noch innerhalb der sonstigen Mess- und Verfahrensunsicherheiten liegen.

5.3 Ausblick - Folgeabschätzung und Sensitivität bestimmter materieller Regelungen

Eine Abschätzung der Verschiebungen eines Materialstroms ist auf der Grundlage von Messdatensätzen nur dann möglich, wenn die Auswahl der Proben und der Probenahmestellen geeignet und die Anzahl der Proben hoch genug sind, um die verschiedenen Materialqualitäten des gesamten Materialstroms repräsentativ zu erfassen. Auch dann bleibt noch das Problem des Qualitäts-Mengenbezuges: Wieviel Prozent bzw. welche Mengenanteile des gesamten Materialstroms wird durch welche Proben repräsentiert und hält welche Konzentrationen bzw. Zuordnungs-/ Materialwerte ein und kann damit bestimmten Zuordnungs-/ Materialklassen zugeordnet werden? Zur Beantwortung dieser Frage reicht es nicht aus, die verschiedenen Materialqualitäten eines Materialstromes genau zu kennen, sondern diese müssen auch Mengenanteilen zugeordnet werden können. Außerdem spielen für Stoffstromverschiebungen weitere Faktoren wie Marktpotentiale und weitere Regelungen der Novelle BBodSchV (Öffnungsklauseln, Randbedingungen für eine Untersuchungsfreiheit, Hintergrundwerte, Standorteigenschaften, zulässiger Grundwasserabstand, etc.) eine wichtige Rolle. Deshalb kann der hier erhobene Datensatz nur eine erste Grundlage für weitere Überlegungen zu einer Folgeabschätzung sein.

Unter einer ersten Näherung, dass der neu erhobene Datensatz von 50 Bodenproben repräsentativ für den Materialstrom Boden & Steine ist (bessere Datenkollektive gibt es bislang bundesweit nicht), werden im Folgenden die Konsequenzen der geplanten Novelle BBodSchV untersucht. Bezugsgrößen für die Folgeabschätzung und die Sensitivitätsanalyse sind das Aufkommen von Boden und Steinen von 25,4 Mio. Tonnen/Jahr in BW (vgl. Abfallbilanz BW, 2016) und die materiellen Regelungen der VwV Boden 2007. Es werden ausschließlich die materiellen Anforderungen (Grenzwerte), der neu geschaffene Datensatz von 50 Bodenproben und die Messergebnisse im *WF* 2-Schüzttteleluat zu Grunde gelegt.

5.3.1 Folgeabschätzung für die geplante Novelle BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017 im Vergleich zum Status Quo in Baden-Württemberg:

- Im Vergleich zum Status Quo, der VwV Boden 2007, kann gegenüber Z0 ein um rund 6 % höherer Anteil des Stoffstroms Boden & Steine als BM-0 ohne Einschränkungen eingesetzt werden, was in etwa einer zusätzlichen Menge von 1,5 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht.
- Im Vergleich zum Status Quo, der VwV Boden 2007, kann gegenüber Z0* ein um rund 16 % (Basis: Schütteleluat) höherer Anteil des Stoffstroms Boden & Steine als BM-0* verfüllt werden, was in etwa einer Menge von rund 4 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht.
- Damit fallen im Vergleich zum Status Quo, der VwV Boden 2007, um rund 16 % bzw. rund 4 Mio. Tonnen pro Jahr geringere Mengen des Stoffstroms Boden & Steine zur Verwertung in technischen Bauwerken oder zur Beseitigung auf Deponien an.

5.3.2 Betrachtung der Konsequenzen verschiedener Randbedingungen im Einzelfall der geplanten Novelle BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017:

Wie oben beschrieben sind der TOC-Wert von 1 Massenprozent und der Eluatwert von Sulfat von 250 mg/L nach der geplanten Novelle BBodSchV nicht zwingend einstufungsrelevant. Ob eine Überschreitung dieser Werte toleriert werden kann, hängt von weiteren Randbedingungen ab, die im Einzelfall zu beurteilen sind (vgl. Regelung zu TOC in Kapitel 2.2.1, Tabelle 2, Fußnote 3 und zu Sulfat in Kapitel 2.2.2, Tabelle 5, Fußnote 1). Um die Relevanz verschiedener Randbedingungen im Einzelfall einschätzen zu können wurden verschiedene Annahmen (genannte Randbedingungen treten nie oder immer ein) geprüft:

- Treten die Randbedingungen für eine Einstufungsrelevanz eines TOC-Grenzwertes von 1 Massenprozent immer ein, würde die Verwertungsquote gegenüber VwV Boden (nach VwV ist kein TOC-Grenzwert festgelegt) nur noch um rund 4 % (BM-0, statt 6 %) bzw. 12 % (BM-0*, statt 16 %, (Basis: Schütteleluat) ansteigen, was in etwa einer Menge von 1 bis 3 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht. Wie der LUBW-Datensatz zeigt, kann bei Mischproben mit Oberbodenanteilen mit überdurchschnittlich hohen TOC-Werten, die Verwertungsquote gegenüber VwV Boden allerdings um bis zu 21 % (BM-0) bzw. 31 % (BM-0*, Basis: Schütteleluat) zurückgehen, was in etwa einer Menge von 5 bis 8 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht. Hier stellt sich die Frage, ob in der Praxis eine ordentliche Abtrennung der Oberbodenanteile immer möglich ist.
- Treten die Randbedingungen für eine Einstufungsrelevanz eines Eluatwertes von Sulfat von 250 mg/L immer ein (ohne TOC), würde die Verwertungsquote von BM-0* gegenüber VwV Boden nur noch um 10 % (statt 16 %, Basis: Schütteleluat) steigen, was in etwa einer Menge von 2,5 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht.
- Treten die Randbedingungen für eine Einstufungsrelevanz eines TOC-Grenzwertes und eines Eluatwertes von Sulfat gemeinsam ein, würde die Verwertungsquote von BM-0* gegenüber VwV Boden für den Datensatz der 50 neuen Bodenmaterialien nur noch um 6 % (statt 16 %, (Basis: Schütteleluat) steigen, was in etwa einer Menge von 1,5 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht. Für den Datensatz der 59 LUBW-Proben würden, wegen der auffällig hohen TOC-Werte, die Verwertungsquoten um 32 % sinken, was einer rückläufigen Menge von über 8 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht.

5.3.3 Sensitivität bestimmter materieller Regelungen

Hierbei handelt es sich um Betrachtungen der Konsequenzen möglicher Änderungen der geplanten Novelle BBodSchV im weiteren politischen Abstimmungsverfahren:

Wären Eluatwerte für BM-0* immer zusätzlich maßgeblich, also nicht nur dann, wenn der einfache Vorsorgewert überschritten ist, würde Folgendes resultieren:

- Aufgrund von Überschreitungen des Eluatwertes für die Σ15 EPA PAK (90. Perzentil der Überschreitungen im Schütteleluat: ca. Faktor 2 des Eluatwertes, Säuleneluat: ca. Faktor 1,5) könnten rund 20 % des Stoffstroms Boden & Steine nicht mehr verfüllt werden und müssten in technischen Bauwerken verwertet oder beseitigt werden (Abbildung 45, Abbildung 54, Abbildung 62). Dies entspricht in etwa einer Menge von 5 Mio. Tonnen pro Jahr.
- Aufgrund von Überschreitungen des Eluatwertes für Quecksilber (90. Perzentil der Überschreitungen im Schütteleluat: ca. Faktor 3 des Eluatwertes, Säuleneluat: ca. Faktor 2) könnte rund 26 % des Stoffstroms Boden & Steine nicht mehr verfüllt werden und müssten in technischen Bauwerken verwertet oder beseitigt werden (Abbildung 43, es fällt eine deutliche Überschätzung im *WF* 2-Schütteleluat mit 26 % versus *WF* 2-Säuleneluat mit 13 % auf, siehe Abbildung 52), was in etwa einer Menge von über 6 Mio. Tonnen pro Jahr entspricht.
- Seltene Überschreitungen bei Chrom, ges. (max. um Faktor 1,5), Kupfer (1 Ausreißerwert), Nickel (max. um Faktor 1,5) und Thallium (max. um Faktor 1,5) können im Einzelfall zu einer höheren Einstufung als BM-0* führen. Auch hier könnte im Einzelfall nicht mehr verfüllt werden und es müsste in technischen Bauwerken verwertet oder beseitigt werden.
- Es ist dabei aber zu betonen, dass die Überschreitungen der Eluatwerte oftmals noch innerhalb der sonstigen Mess- und Verfahrensunsicherheiten liegen.

Im Fall einer Einführung eines TOC-Grenzwertes von 1 Massenprozent und eines Grenzwertes für Sulfat im Eluat von 250 mg/L resultieren die bereits oben für die Randbedingungen des Einzelfalls genannten Einschränkungen.

Kumulativ würde im Fall der genannten Abweichungen von der Kabinettsfassung der MantelV um rund 10 Mio. Tonnen bis zu rund 15 Mio. Tonnen mehr Bodenmaterial aus der Verfüllung in Richtung technisches Bauwerk oder Deponie geleitet werden, wobei die Maximalwerte dann auftreten, wenn in der Praxis der humose Oberboden bei Mischproben nicht abgetrennt werden kann (siehe LUBW-Proben). Da jedoch häufig Proben bei mehreren Parametern gleichzeitig Überschreitungen aufweisen (vgl. tabellarische Auswertungen in Kapitel 3.9.2 und CD-ROM-Anhang 7.3.3), wird es sich im Endeffekt um eine geringere Schnittmenge handeln, die aber gleichwohl an einen zweistelligen Millionenbetrag von rund 10 Millionen Tonnen heranreichen könnte.

Die Sensitivitätsanalyse für abweichende materielle Regelungen bezogen auf die geplante Novelle BBodSchV in Artikel 2 der Kabinettsfassung der MantelV vom 03. Mai 2017 zeigt: Der nach aktueller Kabinettsfassung der BBodSchV zu erwartende Trend zu einer Erhöhung des Anteils des Stoffstroms Boden & Steine in Baden-Württemberg in Höhe von 4 Millionen Tonnen, der zusätzlich als BM-0 oder BM-0* verfüllt werden kann, kann durch nur geringfügige Änderungen der materiellen Regelungen, wie der Einführung eines TOC-Grenzwertes von 1 Massenprozent und/oder eines Grenzwertes für Sulfat im Eluat von 250 mg/L und der Einführung aller Eluatwerte für BM-0* als Grenzwerte in das Gegenteil umgekehrt werden: Bei kumulativer Betrachtung aller Änderungen wären dann gegenüber Status Quo der VwV Boden 2007 in Baden-Württemberg statt 4 Millionen Tonnen weniger (Kabinettsfassung) bis zu 10 Millionen Tonnen mehr Boden & Steine zu erwarten, die in technischen Bauwerken verwertet oder auf Deponien beseitigt werden müssten.

6 Quellenverzeichnis

Bleher, D., Dehoust, G., Alwast, H., Thörner, Th., Stuckenholz, T., Grass, V., Susset, B., Ewen, Ch., Albrich, H. (2017): Planspiel Mantelverordnung (Aspekte der Kreislaufwirtschaft und des Bodenschutzes) Planspiel mit dem Ziel einer Gesetzesfolgenabschätzung zu den Auswirkungen der Mantelverordnung.- aktuelle Entwurfsfassung eins UBA-Fachberichtes, FKZ: 3715 33 390 0, www.bmub.de

MantelV (2017): Kabinettsfassung des Bundesministeriums für Umwelt, Natur- und Verbraucherschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung vom 03. Mai 2017, www.bmub.de.

Bundes Bodenschutzgesetz (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten, 1998, Bundesminsiterium der Justiz und für Verbraucherschutz, http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/index.html.

Bundes Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999): http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf.

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 ISO 10381-1:2003-08 Titel (Deutsch): Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von Probenahmeprogrammen (ISO 10381-1:2002)

DIN ISO 10381-2:2003-08 Titel (Deutsch): Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren (ISO 10381-2:2002)

DIN 19698-1:2014-05 Titel (Deutsch): Untersuchung von Feststoffen - Probenahme von festen und stichfesten Materialien - Teil 1: Anleitung für die segmentorientierte Entnahme von Proben aus Haufwerken

DIN 19698-2:2016-12 Titel (Deutsch): Untersuchung von Feststoffen - Probenahme von festen und stichfesten Materialien - Teil 2: Anleitung für die Entnahme von Proben zur integralen Charakterisierung von Haufwerken

DIN EN 932-1:1996-11 Titel (Deutsch): Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Probenahmeverfahren; Deutsche Fassung EN 932-1:1996

DIN 19747:2009-07 Titel (Deutsch): Untersuchung von Feststoffen - Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen

DIN EN 14405 (2014): Charakterisierung von Abfällen - Untersuchung des Elutionsverhaltens - Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom (unter festgelegten Bedingungen); Deutsche Fassung des Normentwurfs FprEN 14405, Ausgabedatum 10/2014, www.beuth.de

DIN CEN/TS 16637-3 (2016): Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 3: Horizontale Perkolationsprüfung im Aufwärtsstrom; Deutsche Fassung CEN/TS 16637-3:2016 – Entwurf 2016/12 veröffentlicht unter www.beuth.de.

DepV (2016): Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV).- Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. März 2016 (BGBl. I S. 382) geändert worden ist

DIN 19529 (2012): Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg. Ausgabe Dezember 2012, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 19528 (2009): Elution von Feststoffen – Perkolationsverfahren 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, Ausgabe Januar 2009, Beuth Verlag, Berlin.

Eberle, S., Freyas, R., Huckele, S., Haag, I. & Rödelsperger, M. (2010): Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung zum BMBF-Förderschwerpunkt "Sickerwasserprognose". Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe 47. ISSN 1434-5765.

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. (2014): On equilibration of pore water in column leaching tests, Waste Management (2014), http://sx.doi.org/10.1016/j.wasteman.2014.02.012.

Grathwohl, P., Susset, B. (2001): Sickerwasserprognose für organische Schadstoffe: Grundlagen und Stand der Forschung. altlastenspektrum 6, 285-293.

Grathwohl, P., van der Sloot, H. (2007): Groundwater Risk Assessment at Contaminated Sites (GRACOS): Test Methods and Modelling Approaches. In Groundwater Science and Policy, Ed.: Quevauviller, P., RSC Publishing, Cambridge

Grathwohl, P., Susset, B. (2009): Comparison of percolation to batch and sequential leaching tests: theory and data. Waste Ma-nagement 29, 2681–2688.

Henzler R., Grathwohl P. (2007): Release of PAHs from solidified recycled construction materials and solid waste. Grundwasser 12 (4), 292-300.

Hjelmar, O., Hyks, J., Wahlström, M., Laine-Ylijoki, L., van Zomeren, A., Comans, R., Kalbe, U., Schocknecht, U., Krüger, O., Grathwohl, P., Wendel, T., Abdelghafour, A., Méhu, J., Shiopu, N., Lupsea, M. (2013): Robustness validation of TS-2 and TS-3 developed by CEN/TC351/WG1 to assess release from products to soil, surface water and groundwater. DHI Business Management Systems, March 2013.

Iden, S.C., Gronwald, N., Peters, A., Durner, W. (2006): Entwicklung eines Verfahrens zur Sickerwasserprognose am Beispiel schwerflüchtiger organischer Schadstoffe aus behandelten Böden. BMBF-Förderkennzeichen 02WP0299. Abschlussbericht, 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

Ilvonen, O., Hoffmann, B., Oppl, R., Spanka, G., Wiens, U., Wurbs, J. (2015): Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus Bauprodukten in Boden, Wasser und Innenraumluft. DIN Mitteilungen 12/2015. http://www.din-mitteilungen.de/cn/J-7CMR15KCHG0ZW5XINNZ13XOL.3/c2VhcmNoX2lzc3VlZGF0ZT0yMDE2LTEyJndvcmtmbG93bmFtZT1jb250ZW50U2VhcmNoUFJUYWIy.html

Ilvonen, O., Kalbe, U., Susset, B., Wurbs, J. (2013): Diskussionspapier zu den Auswirkungen europäisch genormter Säulentests für Bauprodukte und Abfälle auf die deutsche DIN 19528 (Perkolationsverfahren für Feststoffe) und die Ersatzbaustoffverordnung. unveröffentlichtes Diskussionspapier wurde im März 2013 dem UBA, BMUB, DIN und CEN überlassen und im DIN-, CEN-live-link (NA 119-01-02-05 UA N 691) eingestellt.

Kalbe, U., Berger, W., Eckardt, J., Simon, F.G. (2008): Evaluation of leaching and extraction proce-dures for soil and waste. Waste Management 28, 1027–1038.

LAGA M 20 (1997): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln-, Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20.- in 5. Auflage Stand 06.11.2003, die zurückgezogene LAGA M 20, 1997 wurde durch LAGA und Erich Schmidt Verlag unverändert als Teil II und III (Stand 06.11.1997)

zusammen mit dem fortgeschriebenen Allgemeinen Teil (Teil I, Stand 06.11.2003) als 5. Auflage der LAGA M 20 (Stand 06.11.2003) veröffentlicht (vgl. Vorbemerkungen 5. Auflage), laga-online.de.

LAWA (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, www.lawa.de, Januar 2017.

LAGA PN 98 (2001): Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zu-sammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen Stand: Dezember 2001

LfU (2005): Analytische Untersuchungen von Bodenaushub in Baden-Württemberg.- Arbeitsschwerpunkt im Rahmen des umweltpolitischen Schwerpunktes „Recycling von Bauabfällen - ein Beitrag zur Ressourcenschonung in Baden-Württemberg“, Bericht über die 1. Projektphase, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, November 2005

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.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2015): Probenahme- und Analysenkampagne zur Verifizierung der Auswirkungen der Ersatzbaustoffverordnung auf den Einsatz von RC-Baustoffen in Baden-Württemberg, erstellt von SGS Institut Fresenius (November 2015)

Susset, B., van Zomeren van, A, Dijkstra, J. (2015): Vergleich der Grenzwertableitungskonzepte für den Pfad Boden-Grundwasser in Deutschland und den Niederlanden vor dem Hintergrund der Normung von technischen Grundlagen eines europäischen Säulenversuches (DIN CEN/TS 16637-3 des CEN TC 351 WG1) zur Bestimmung der Stofffreisetzung aus Bauprodukten. Gutachten für die EU KOM im Auftrag des CEN TC 351, Übersetzung vom 20.10.2014 aus: Technical principles underlying limit values for release of substances for the percolation test TS3: comparison DE and NL, Englische Originalfassung: http://www.nen.nl/Normontwikkeling/Doe-mee/Normcommissies-en-nieuwe-trajecten/Normcommissies-Bouw/CENTC-351/CENTC-351-EN.htm, Klicken Sie weiter unter News: Report of Susset, Dijktsra and Van Zomeren, deutsche Übersetzung unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/eu-recht-fuer-bauprodukte, Klicken Sie weiter unter: Bewertungskonzepte für Auslaugung in Deutschland und Niederlande

Susset, B. (2004): Materialuntersuchungen und Modellierungen zur Unterscheidung Ungleichgewicht/Gleichgewicht in Säulenversuchen zur Sickerwasserprognose für organische Schadstoffe. Dissertation, Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten TGA 74, University of Tübingen, Germany.

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., Grathwohl, P., Maier, U. (2011): Weiterentwicklung von Kriterien zur Beurteilung des schadlosen und ordnungsgemäßen Einsatzes mineralischer Ersatzbaustoffe und Prüfung alternativer Wertevorschläge- Zwischenbericht zum BMUB-/UBA-Vorhaben 3707 74 301 (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), www.uba.de

Susset, B., Leuchs, W. (2011): Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes Sickerwasserprognose in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden – Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe (Förderkennzeichen UFOPLAN 20574251). Abschlussbericht des Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, Germany. <http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/publikationen/ersatzstoffe.pdf>.

Susset, B., Leuchs, W. (2008): Stofffreisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen und Böden – Ermittlung der Quellstärke-Entwicklung und des Rückhalte- und/oder Abbaupotentials mittels Freilandlysimetern und Laborelutionsmethoden (Förderkennzeichen 02WP0286). Abschlussbericht des Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, Germany. <http://edok01.tib.unihannover.de/edoks/e01fb09/58960421X.pdf>.

Utermann, J. (2011): Hintergrundwerte gelöster Spurenelemente im wässrigen Eluat für Böden aus dem ländlichen Raum. Bodenschutz – Hrsg. König, Bachmann, Utermann BoS 50. Lfg. V/2011, 31 pp.

Van der Sloot, H. A., Heasman, L., Quevallier, Ph., (1997): Harmonization of leaching/extraction tests. Studies in Environmental Science 70, 292 pp.

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., 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., 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 leach-ing test based on existing information. 7th Draft of an internal report of the European Standardisation Organisation CEN/TC 292/WG 2 and 6.

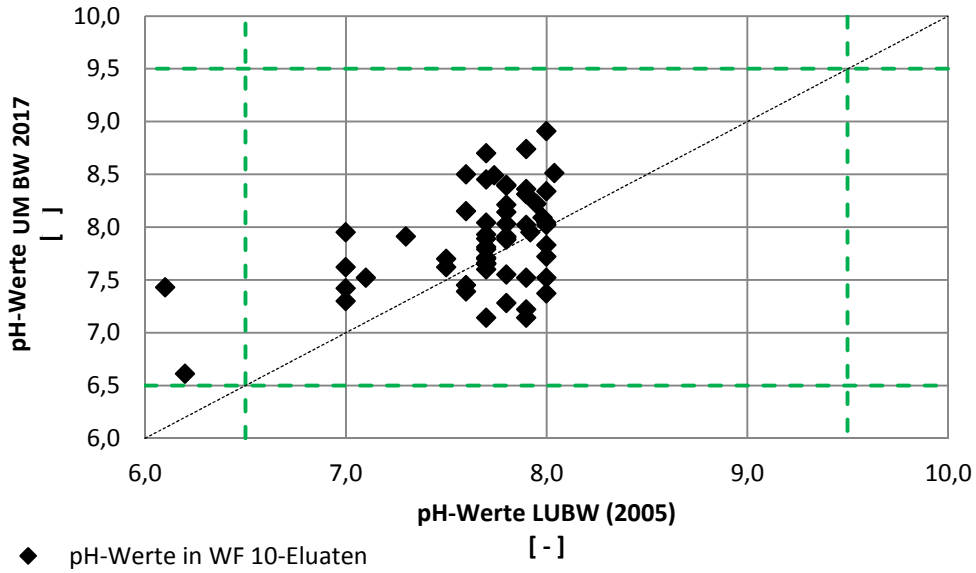
VwV Boden (2007): Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial.-14. März 2007, Akz.: 25-8980.08M20 Land/3.

7 Anhang

7.1 Teil I – Untersuchungsergebnisse für 59 Rückstellproben der LUBW

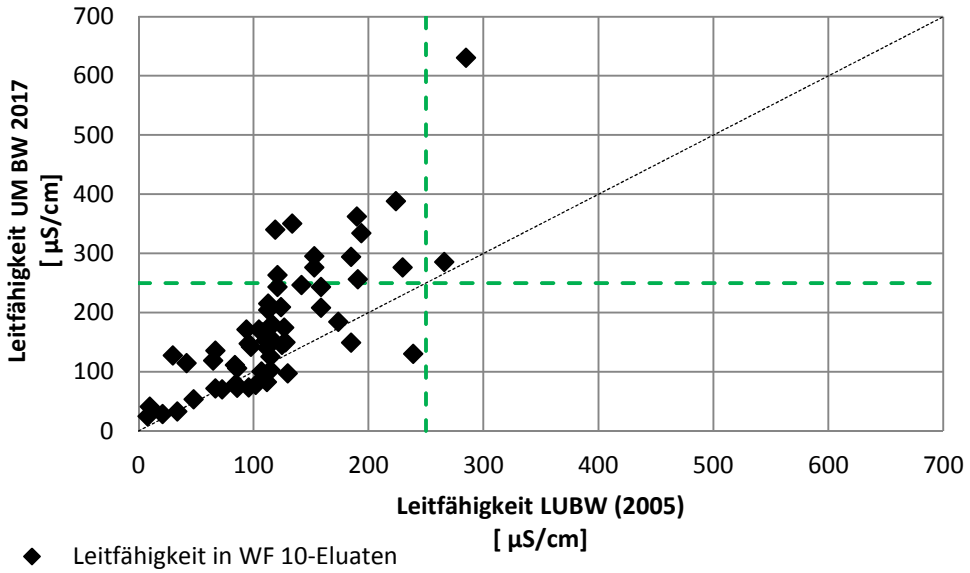
7.1.1 Nachuntersuchungen der 59 Rückstellproben in *WF* 10-Schütteleluaten nach DEV S 4

Abbildung 13: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten.



◆ pH-Werte in WF 10-Eluaten

– – – Orientierungswerte Z0/Z0* LAGA TR Boden (2004) bzw. Z0/Z0*/Z0*IIIA VwV Boden (2007)



◆ Leitfähigkeit in WF 10-Eluaten

– – – Orientierungswerte Z0/Z0* LAGA TR Boden (2004) bzw. Z0/Z0*/Z0*IIIA VwV Boden (2007)

Abbildung 14: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Chlorid und Sulfat: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten.

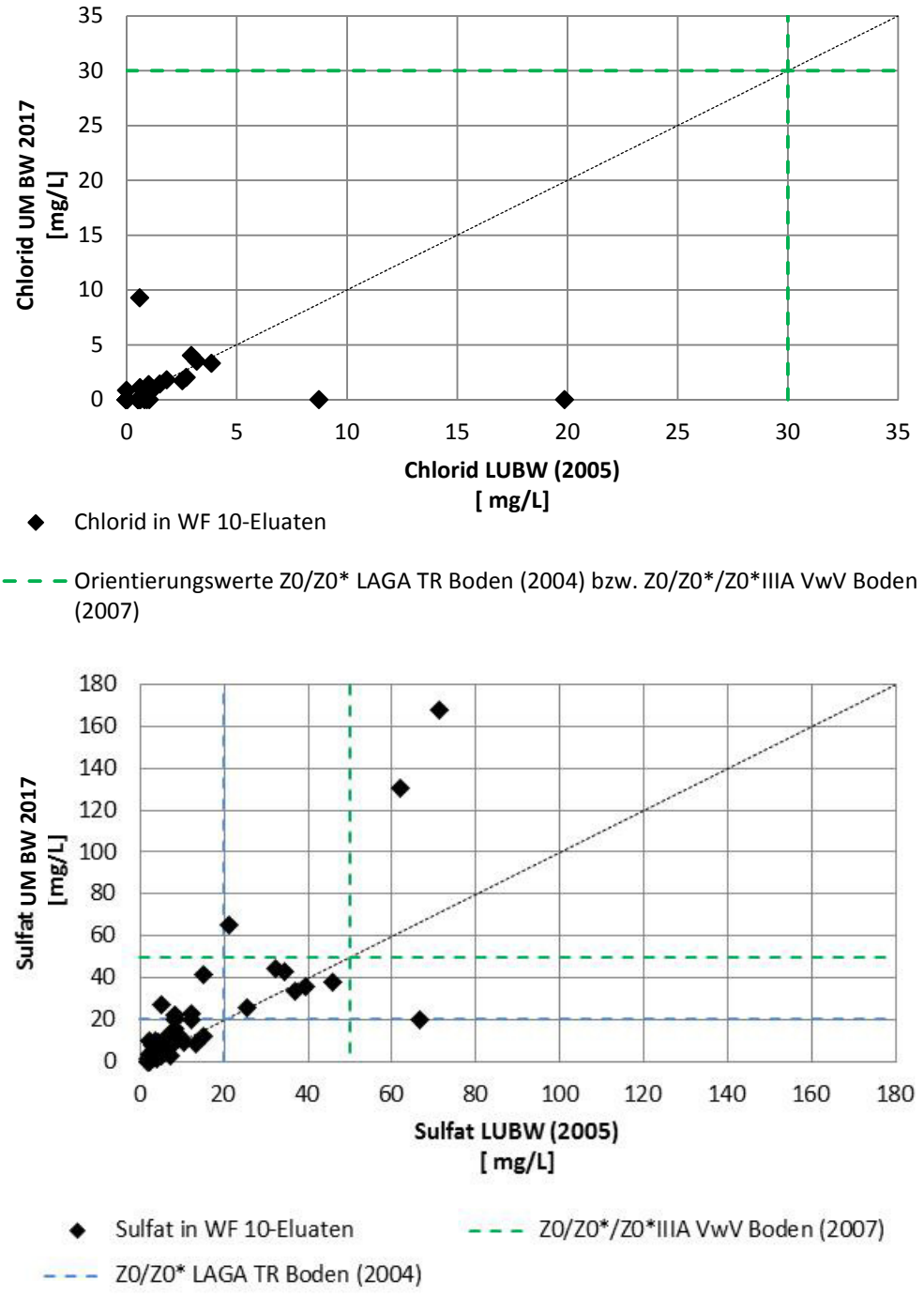


Abbildung 15: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten.

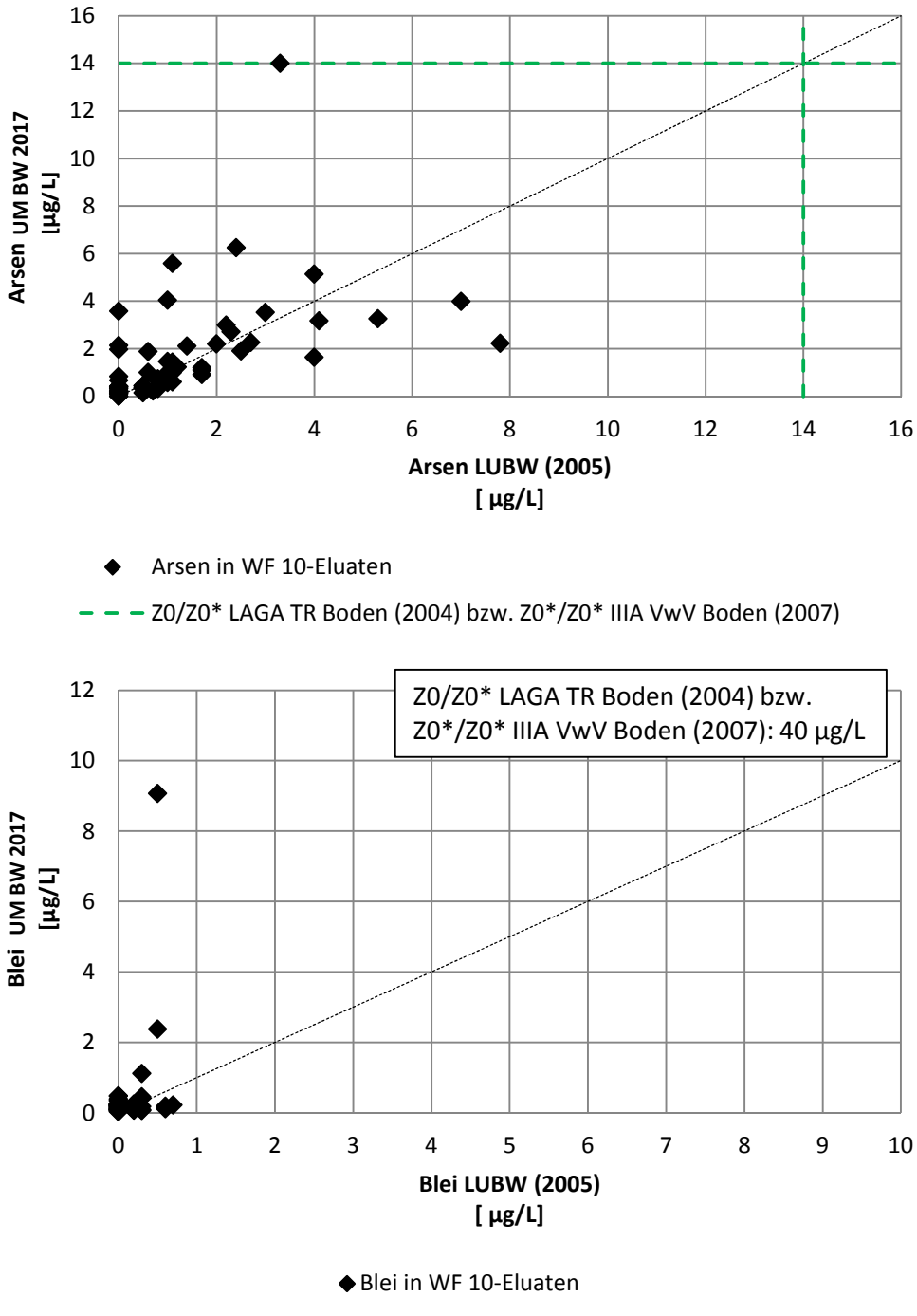
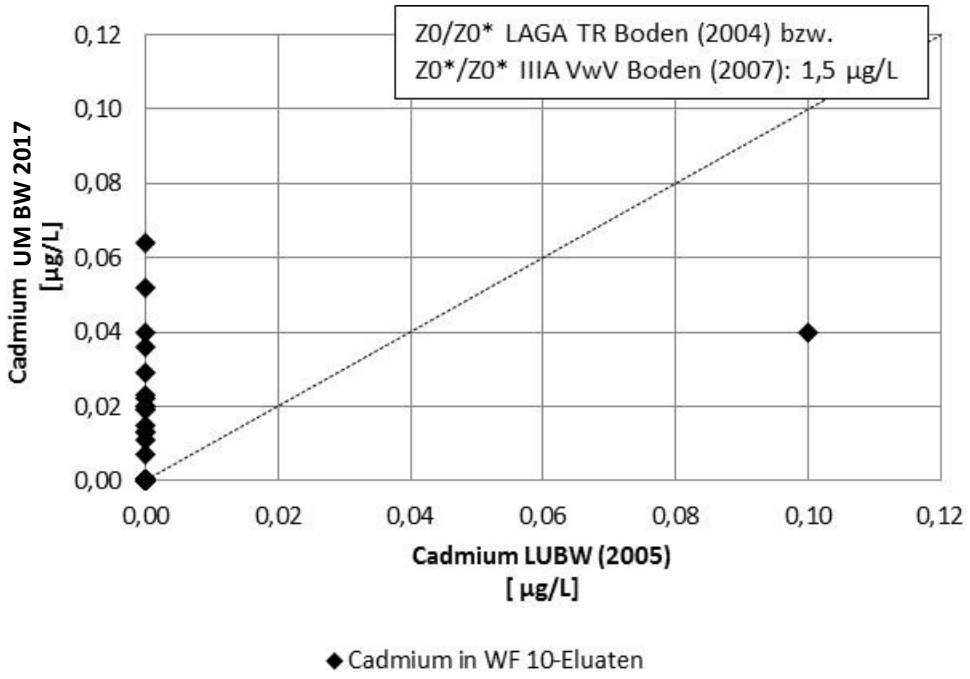


Abbildung 16: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005), hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



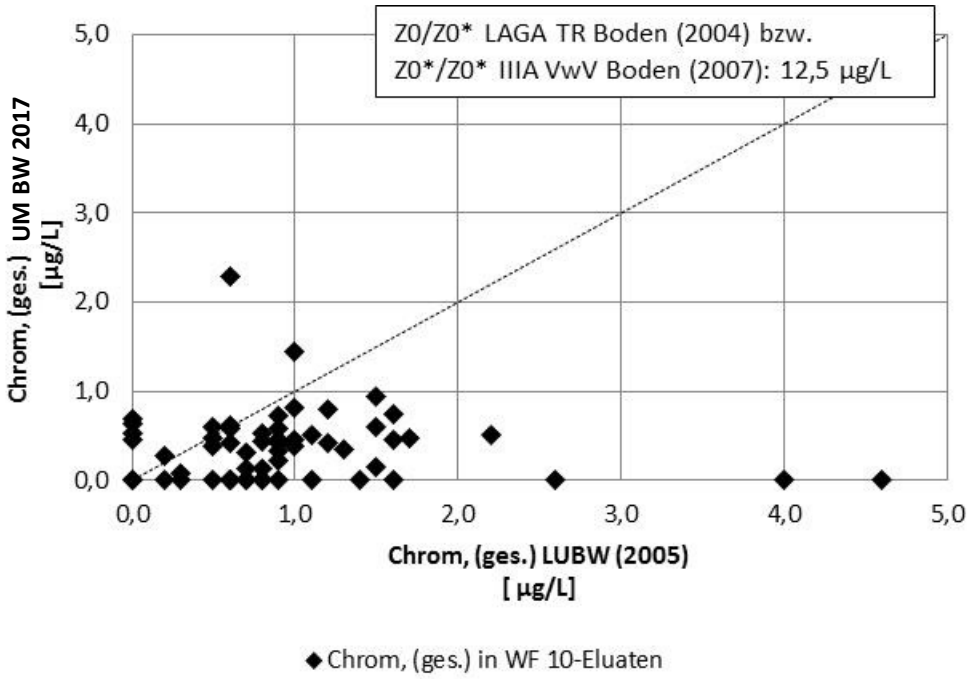


Abbildung 17: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer und Nickel, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LA-GA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten.

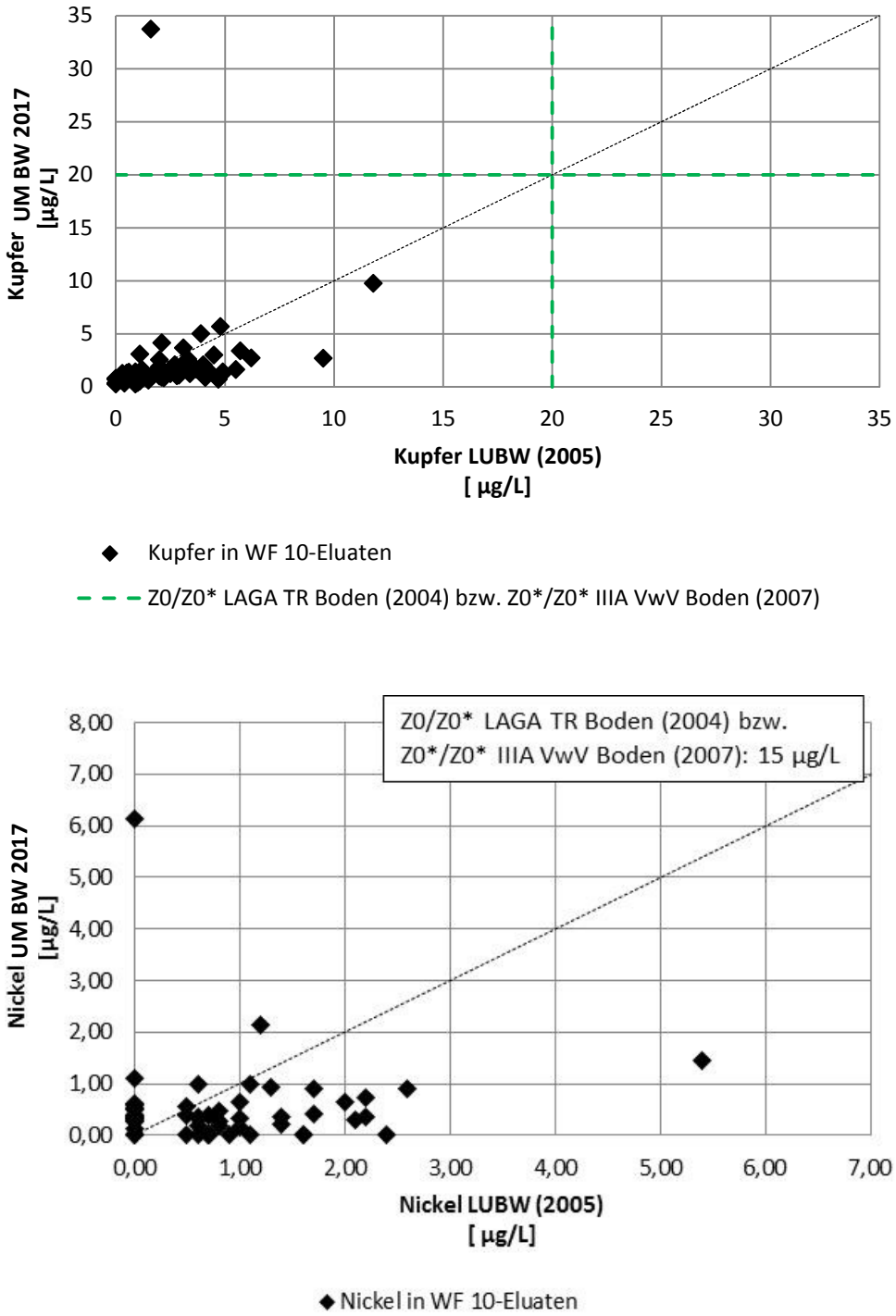
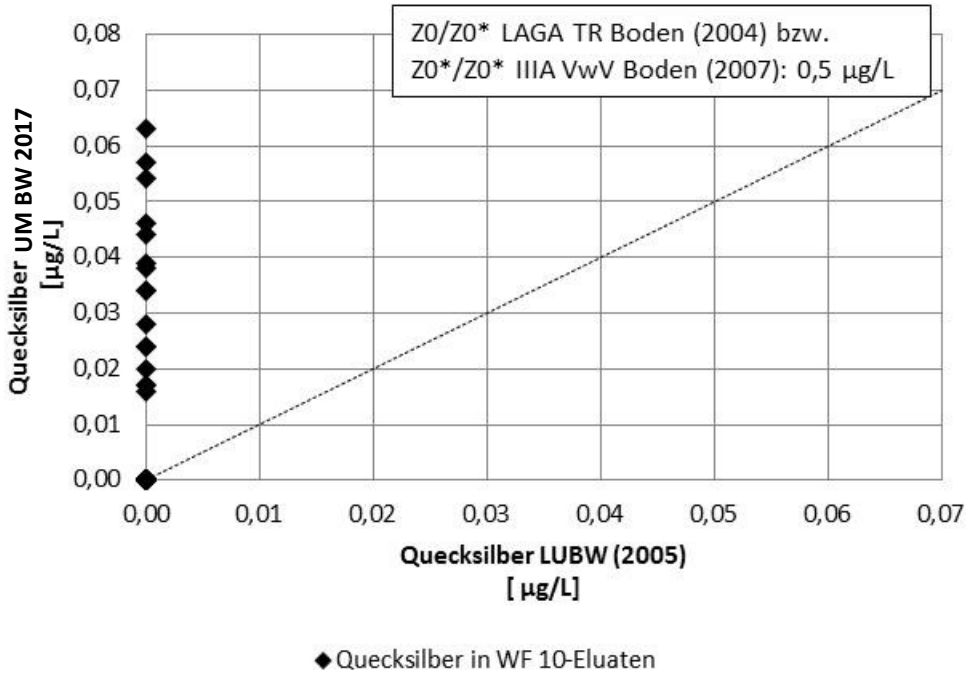
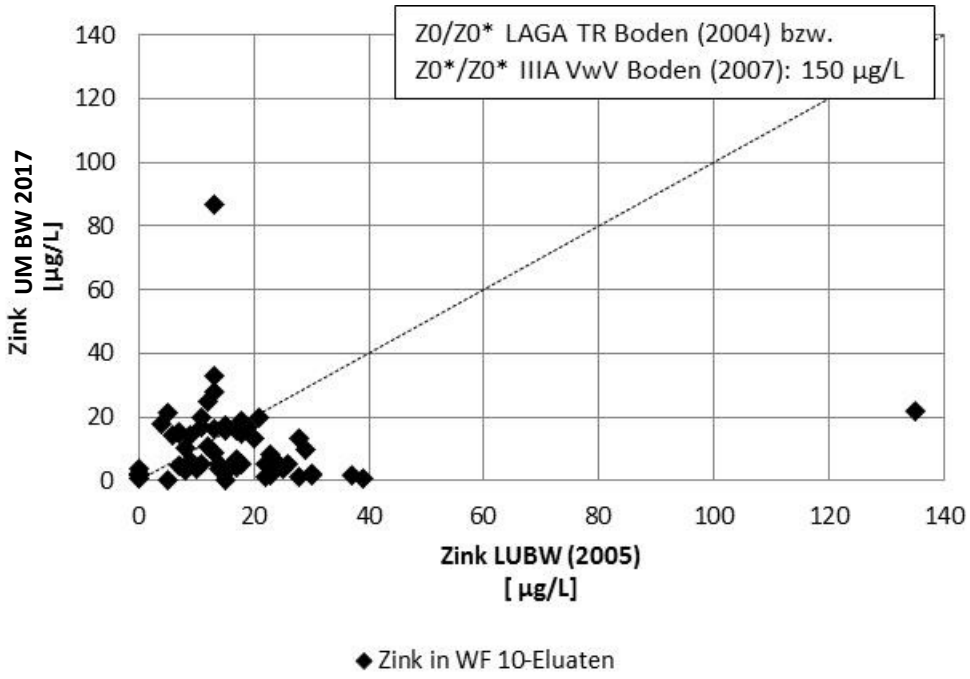


Abbildung 18: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH und der LUBW (LfU, 2005) für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 10-Schüttelversuche nach DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer und Nickel, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.





7.1.2 Untersuchung der 59 Rückstellproben in *WF* 2 – Schütteleluaten nach DIN 19529 (2012)

Abbildung 19: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte Z0/Z0* nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten.

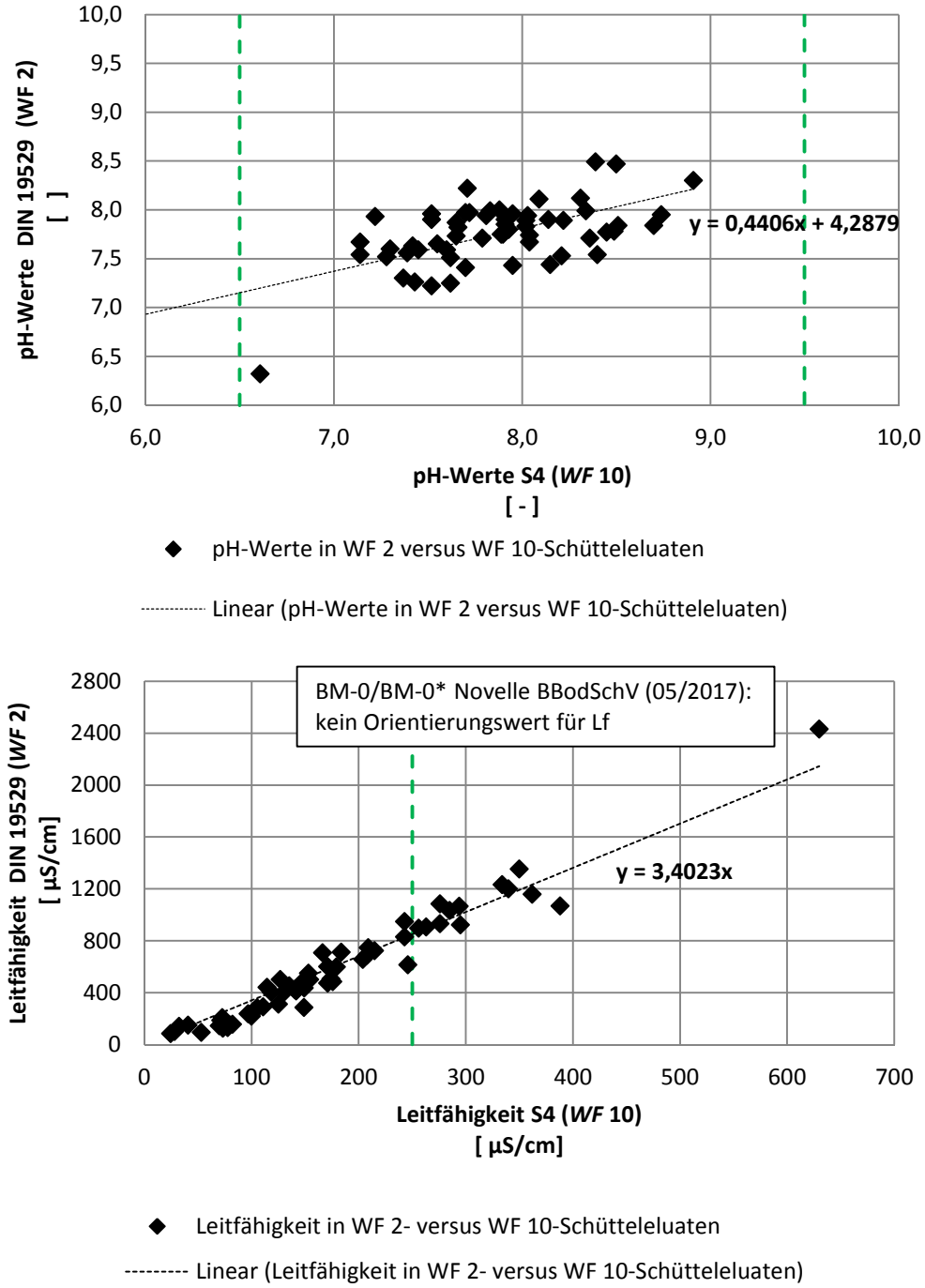


Abbildung 20: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Chlorid und Sulfat: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend Grenzwertcharakter.

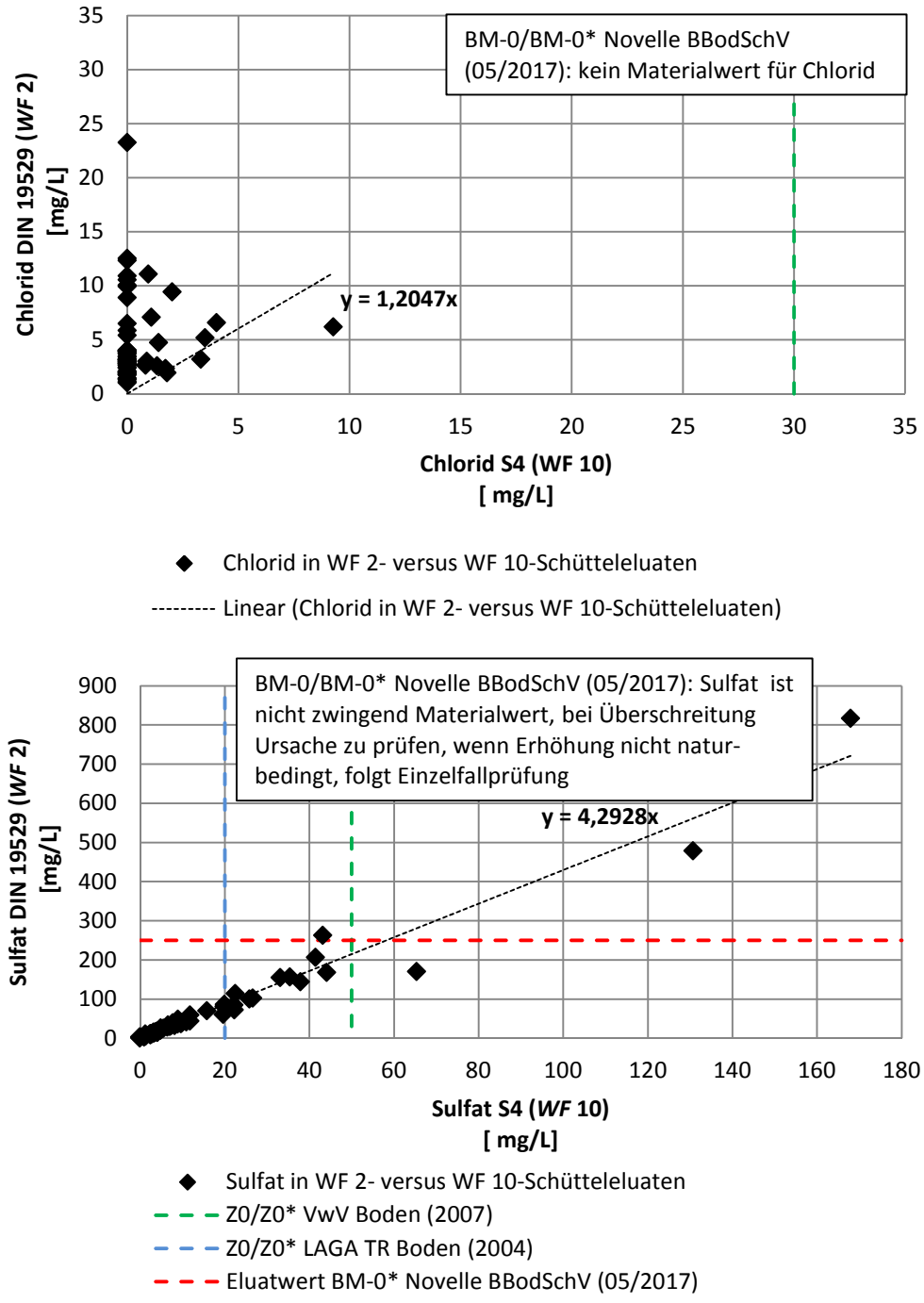
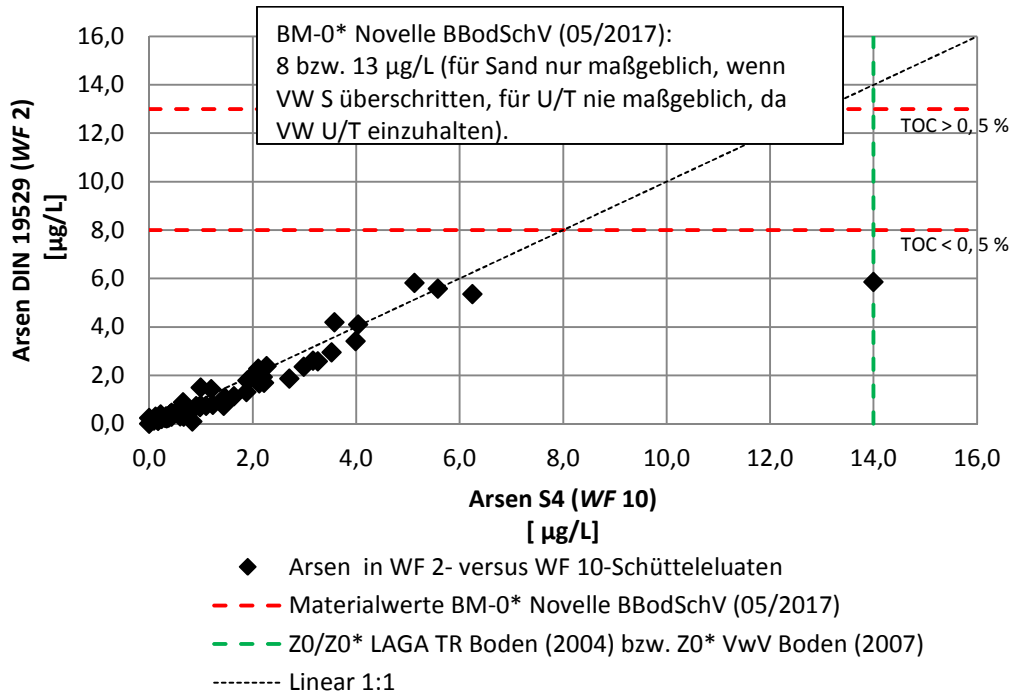


Abbildung 21: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Arsen und Blei: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10 --Eluaten und für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



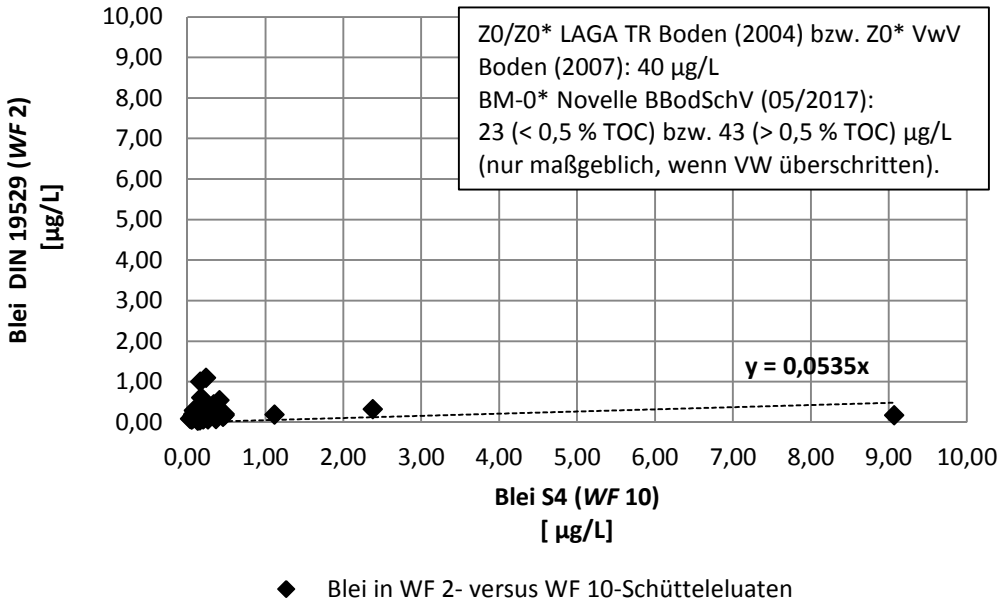
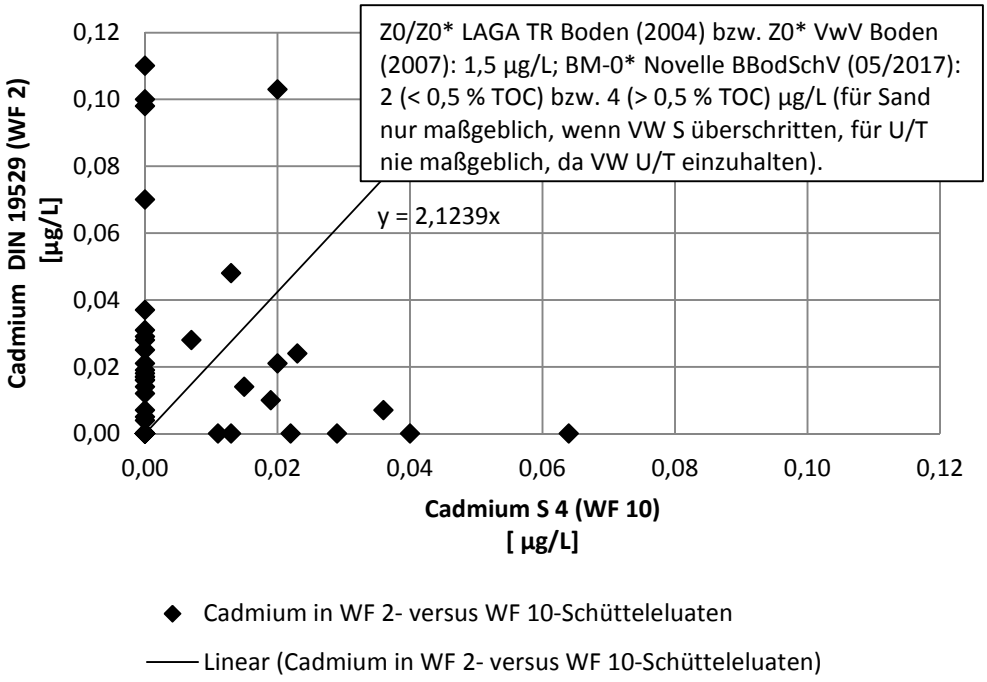


Abbildung 22: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Cadmium und Chrom, (ges.): Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten).



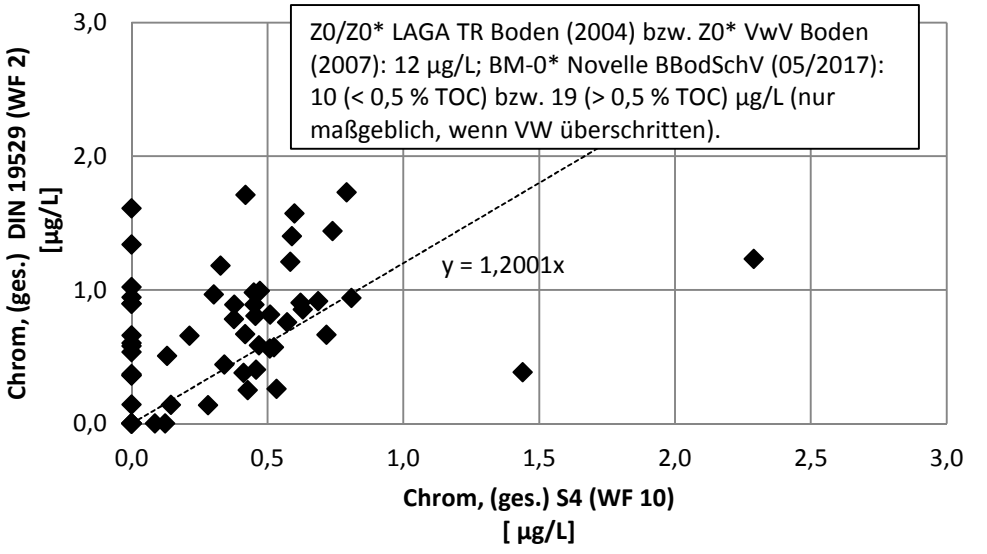
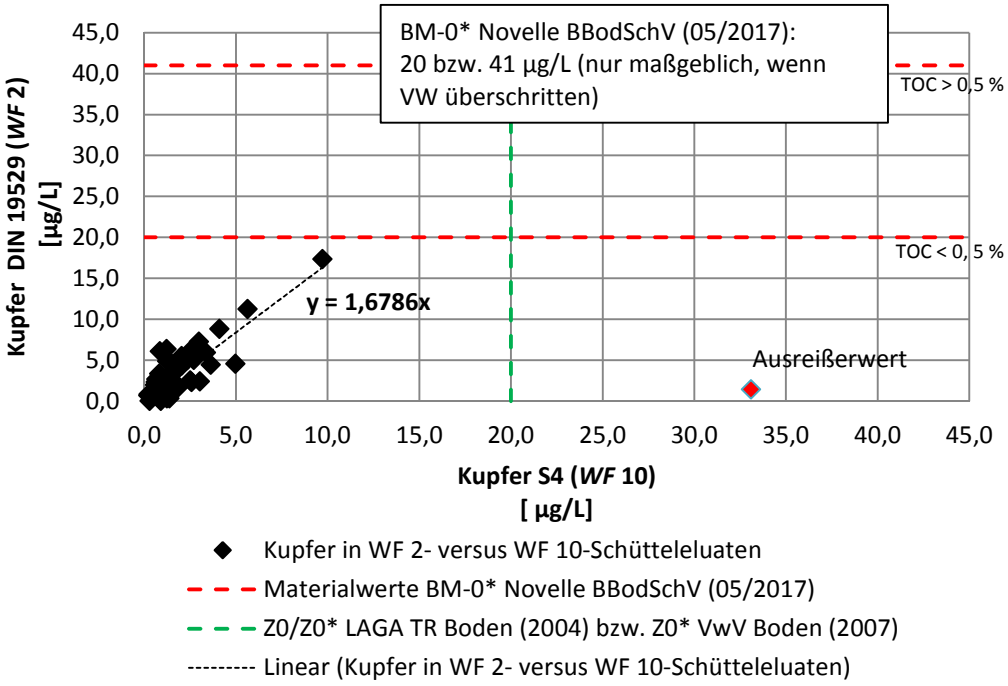


Abbildung 23: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer und Nickel: Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10 --Eluaten und für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



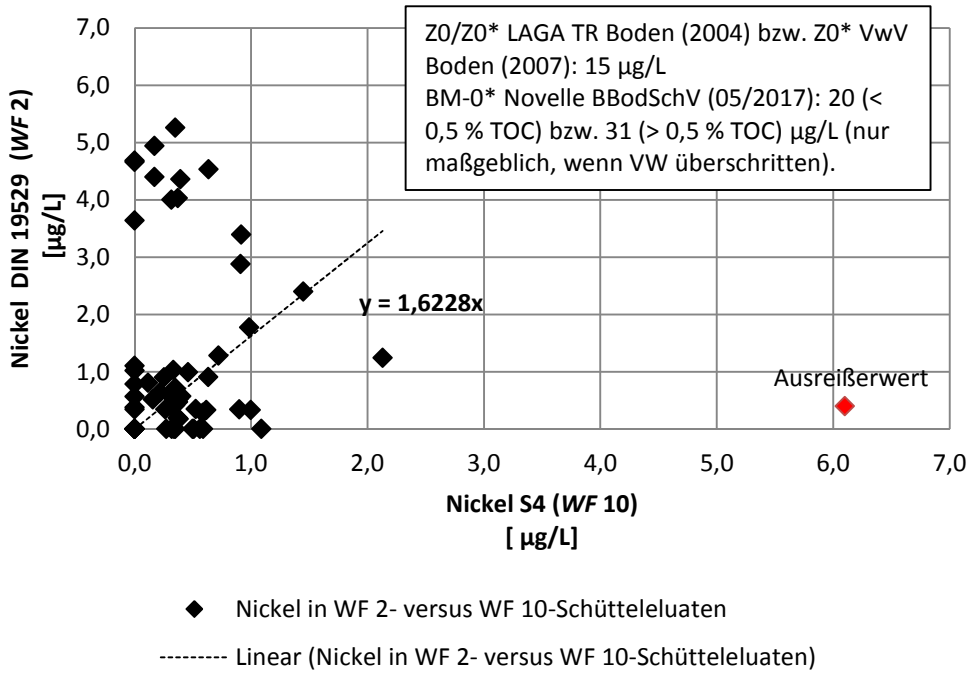
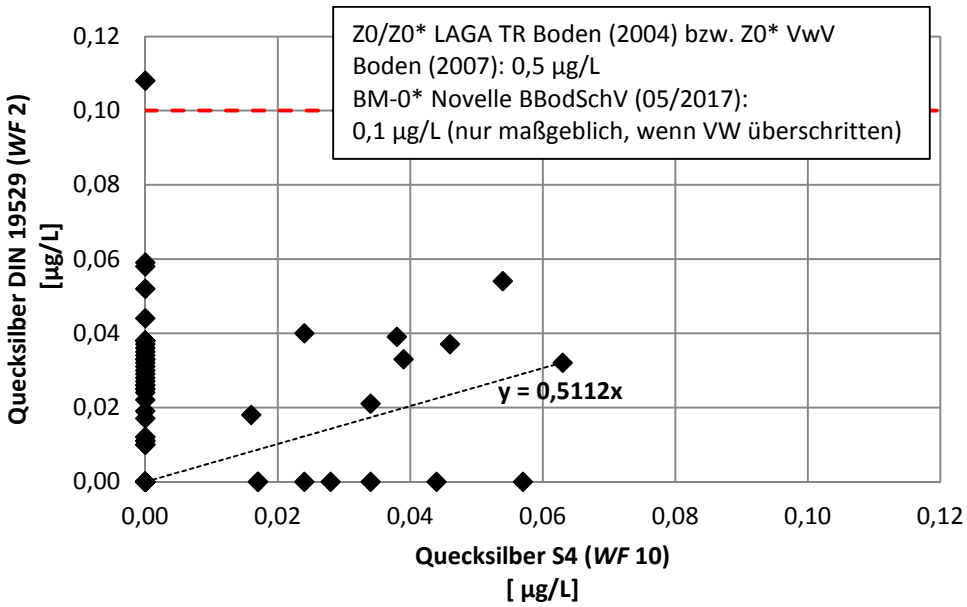


Abbildung 24: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Quecksilber und Thallium: Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Zuordnungswerte nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10 --Eluaten und für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Kein Zuordnungswert für Thallium nach LAGA bzw. VwV in *WF* 10- Eluaten.



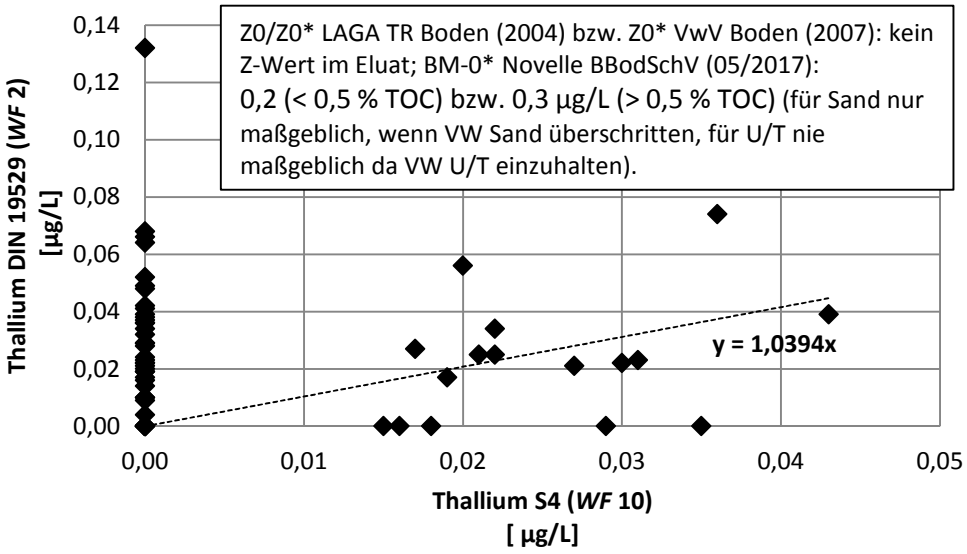


Abbildung 25: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Zink und Cyanide, (ges.): Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten).

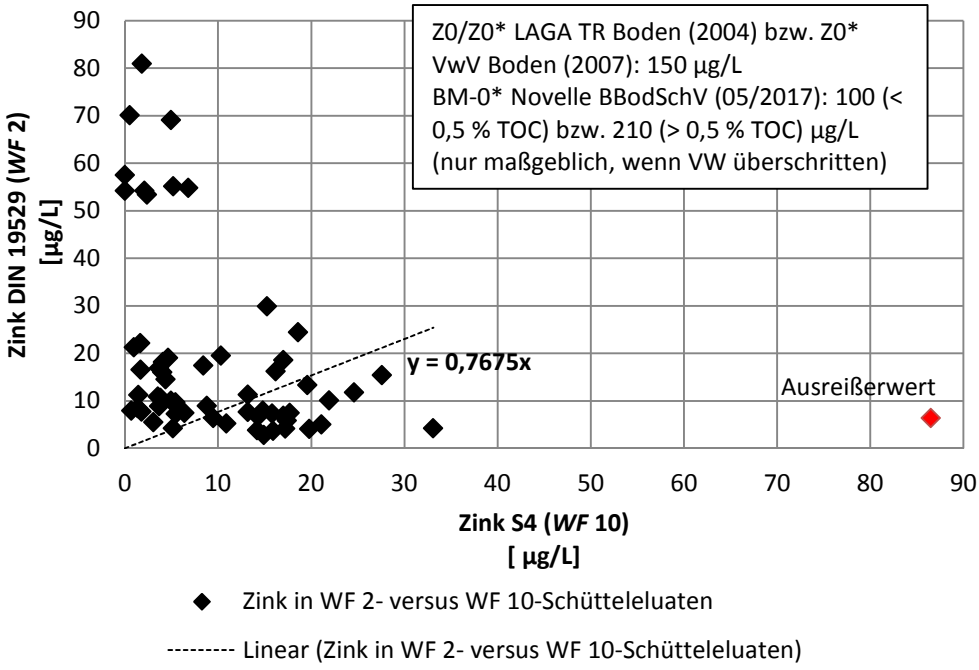
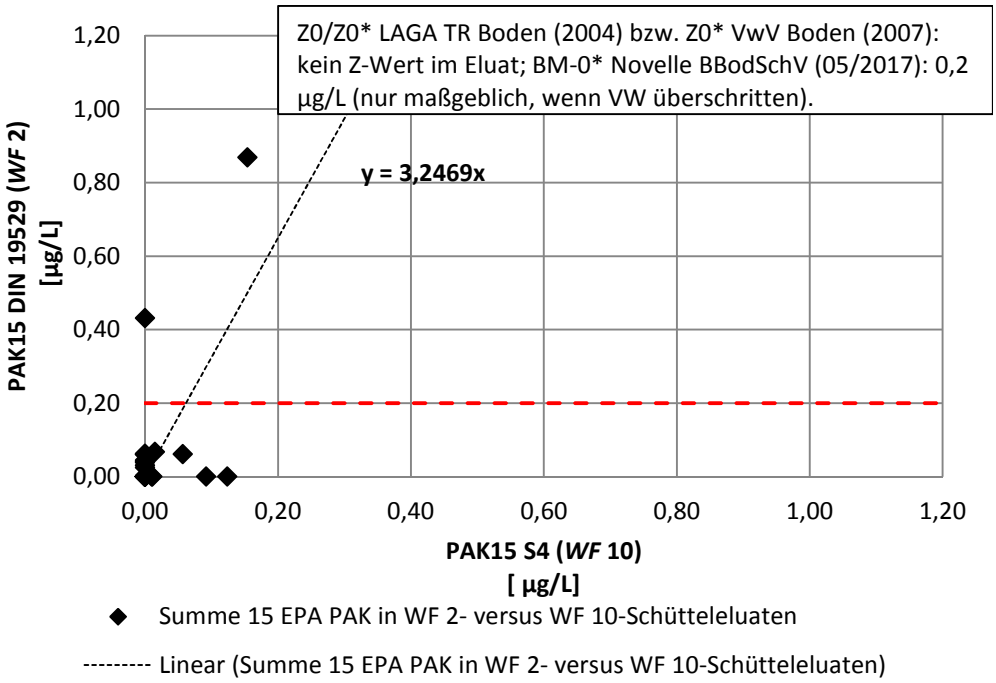
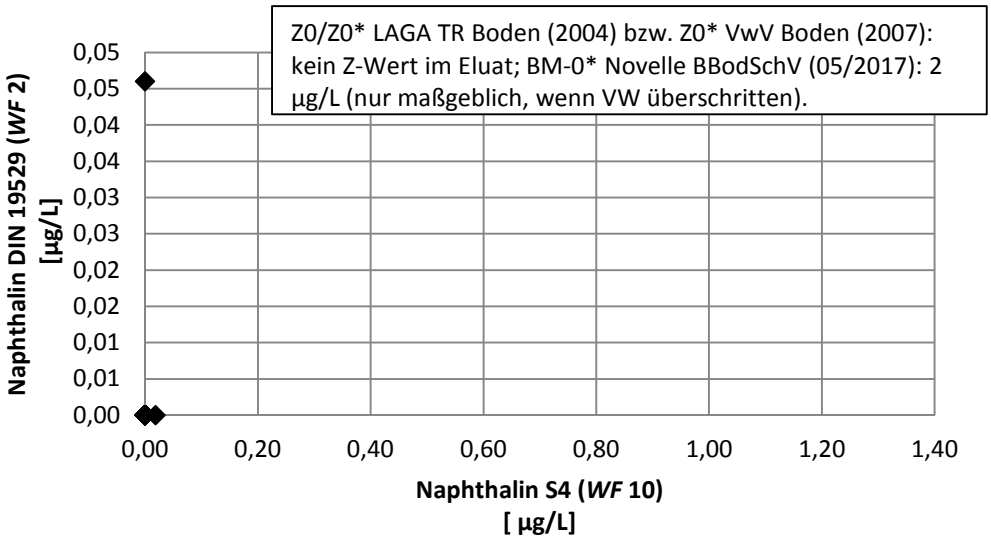


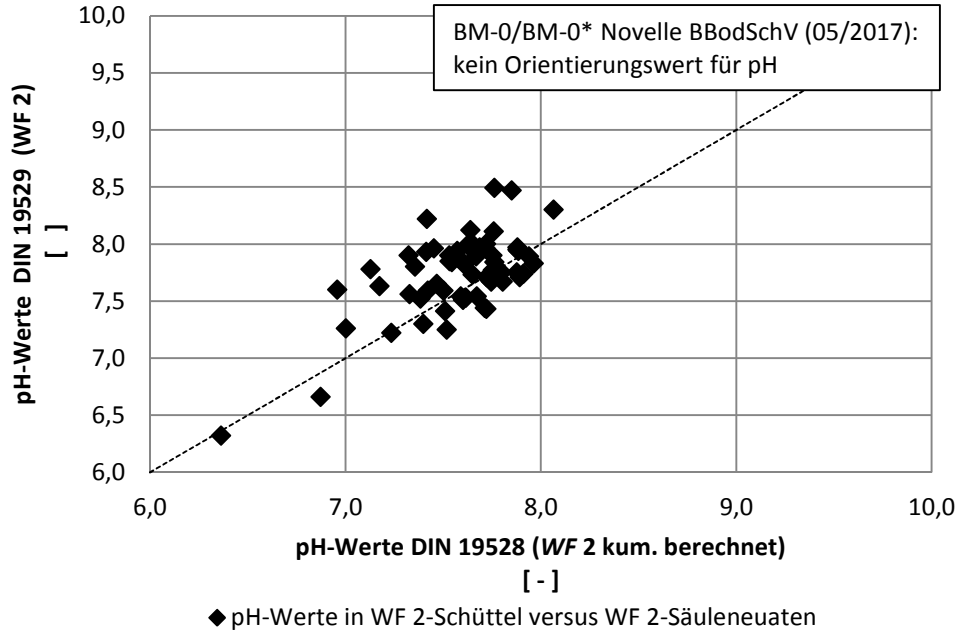
Abbildung 26: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.): Schwarz gepunktet: Regression (Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Kein Zuordnungswert für PAK nach LAGA bzw. VwV in *WF* 10- Eluaten.





7.1.3 Untersuchung der 59 Rückstellproben der LUBW in Säuleneluaten nach DIN 19528

Abbildung 27: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten.



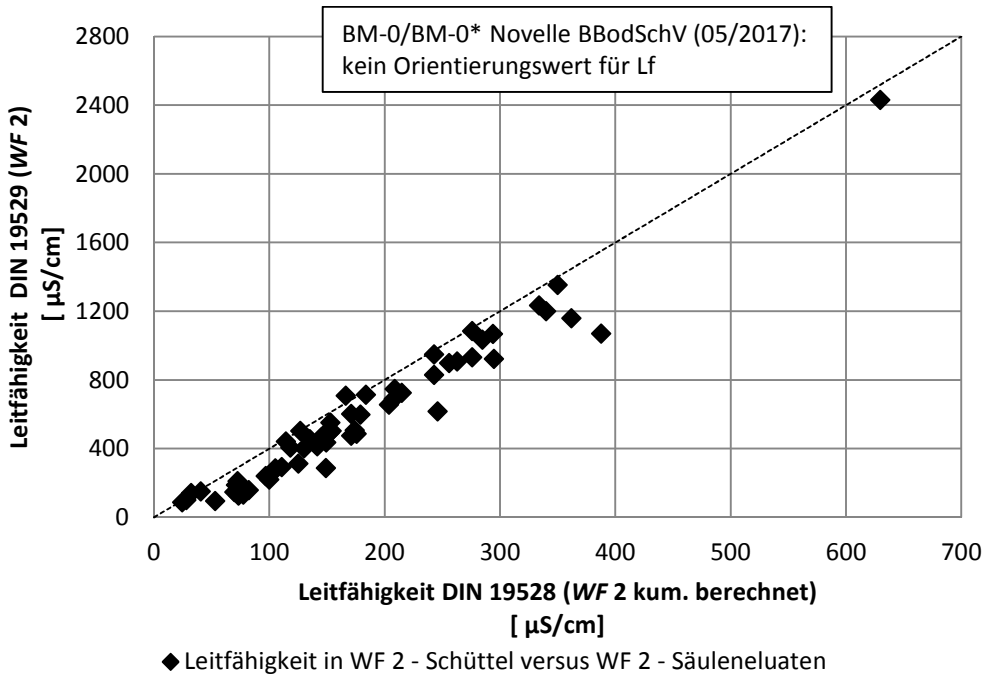
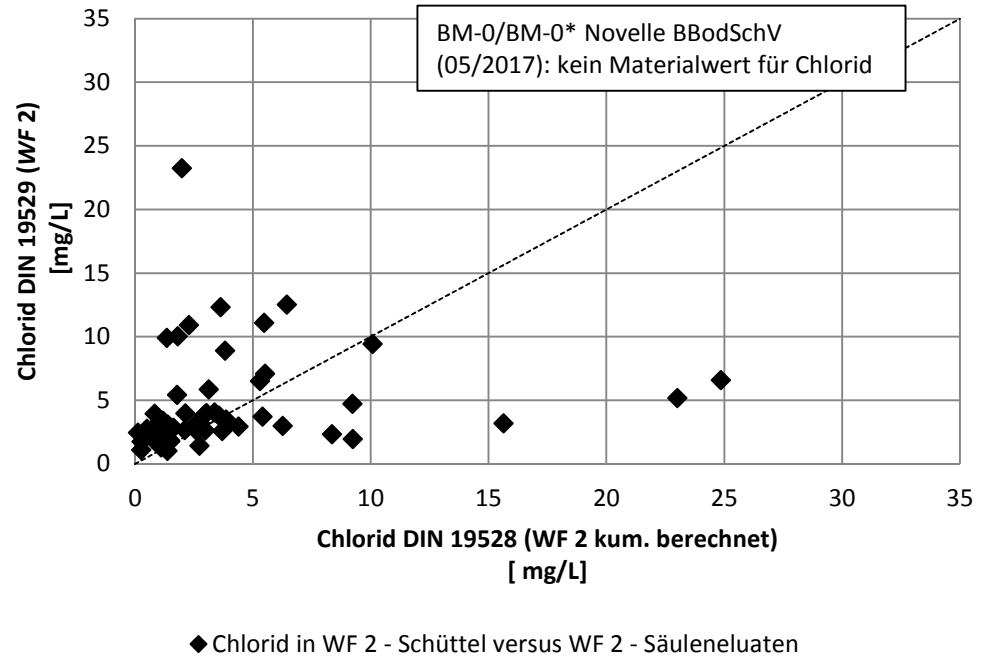


Abbildung 28: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Chlorid und Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten.



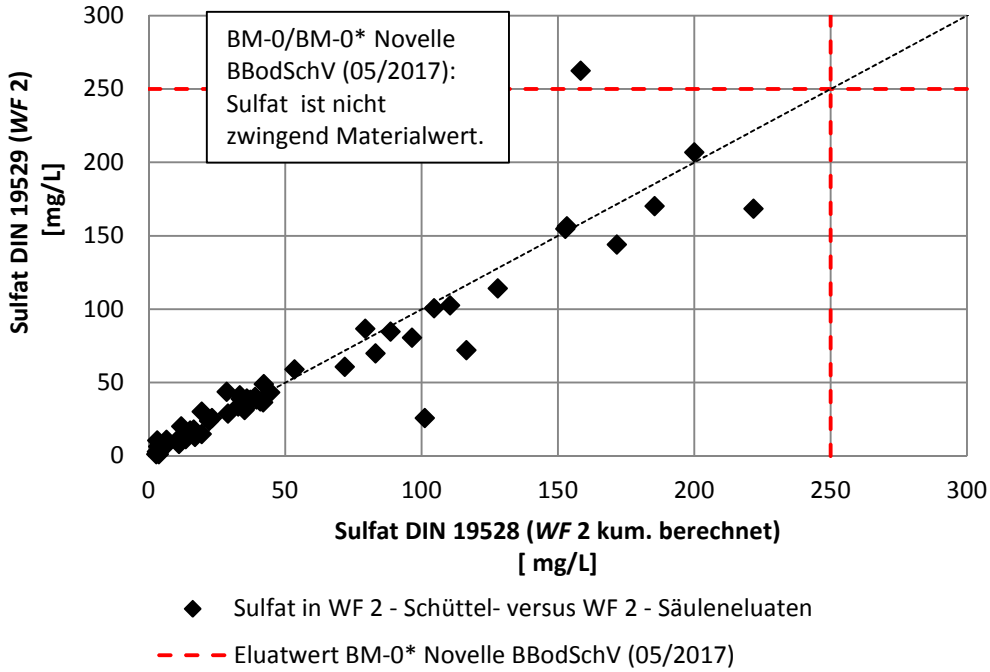
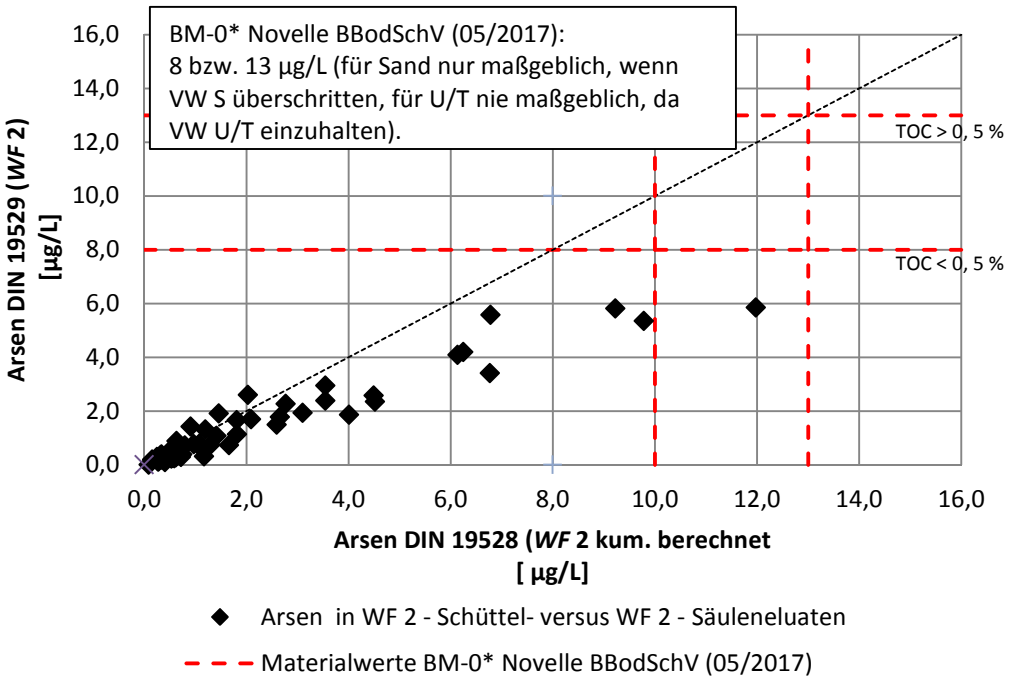


Abbildung 29: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



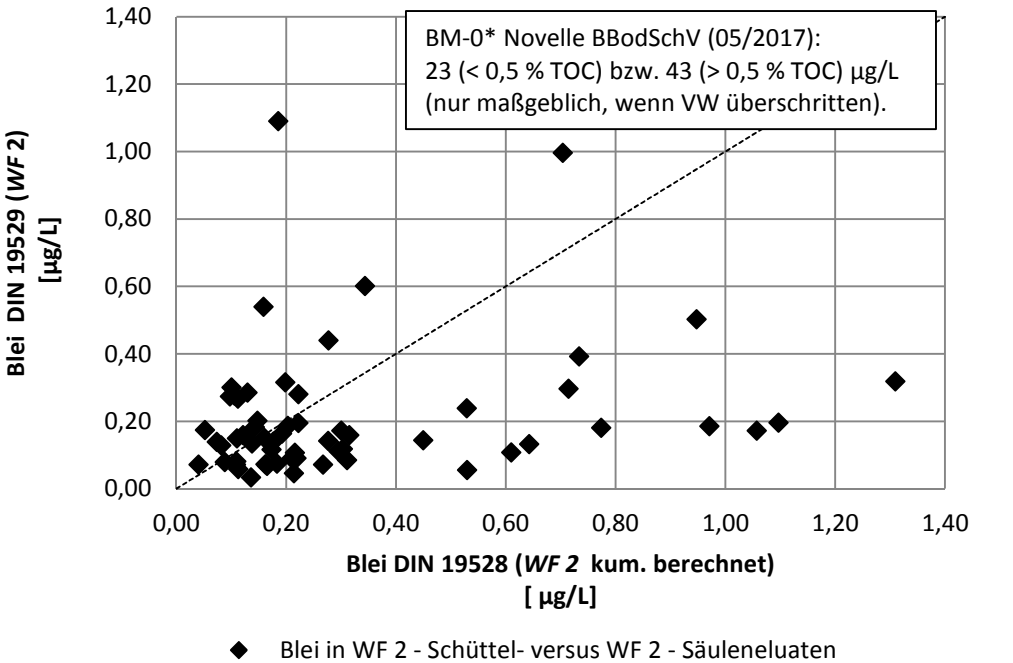
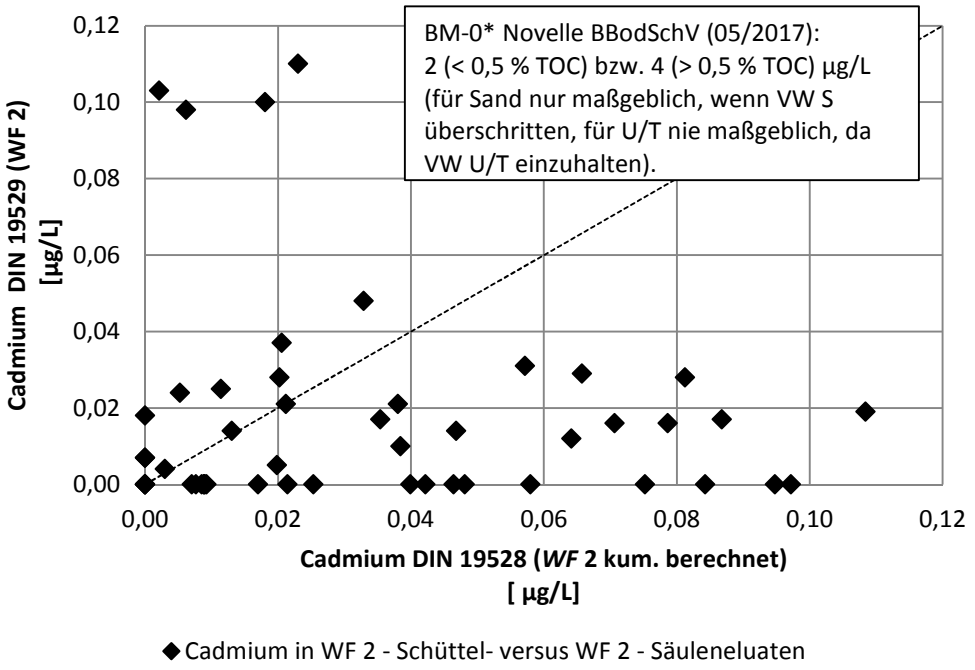


Abbildung 30: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



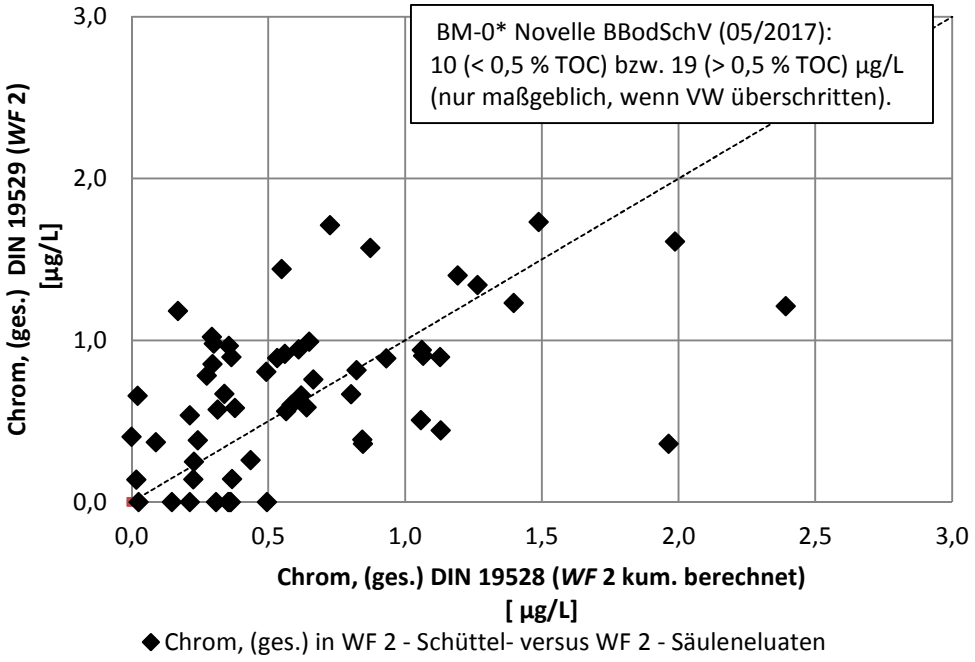
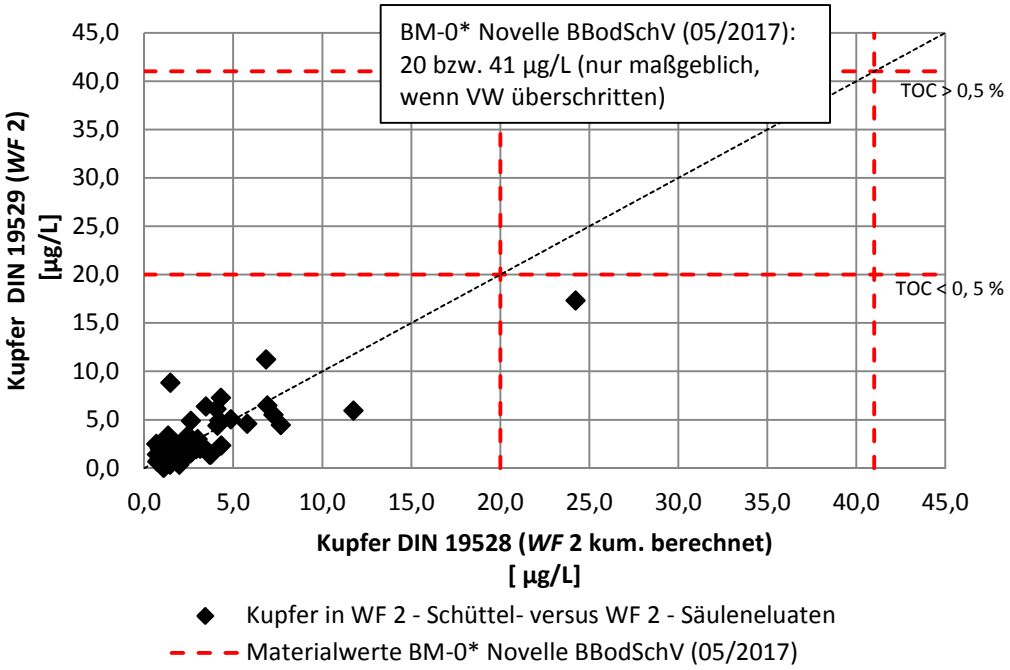


Abbildung 31: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Kupfer und Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



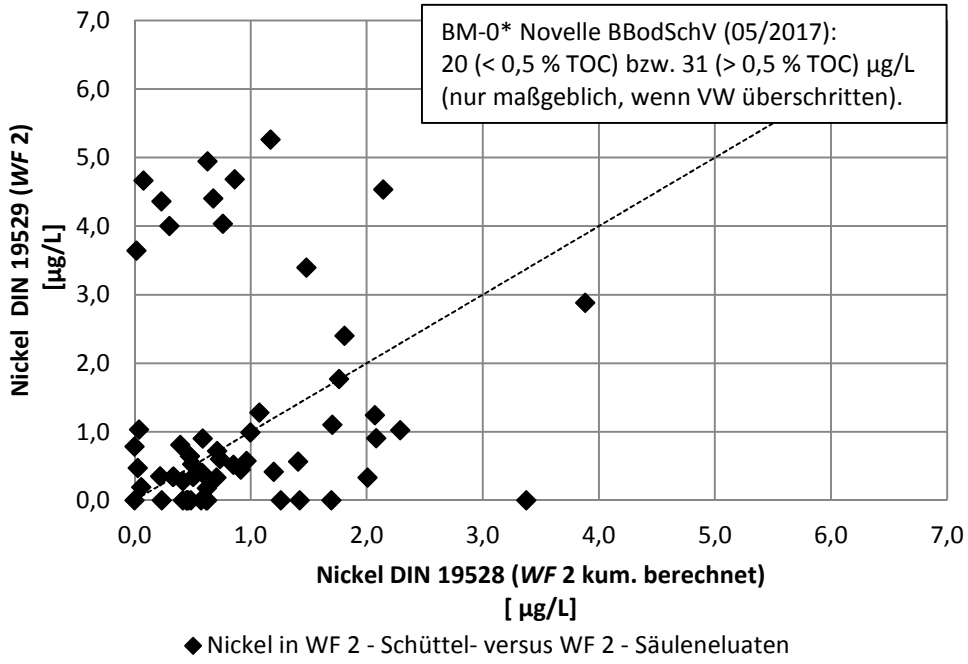
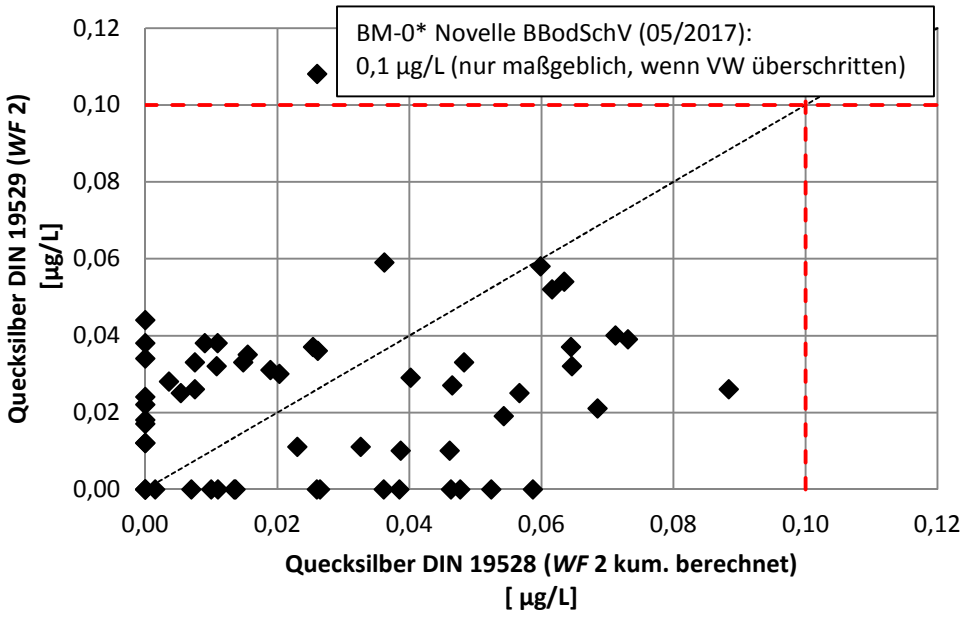


Abbildung 32: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



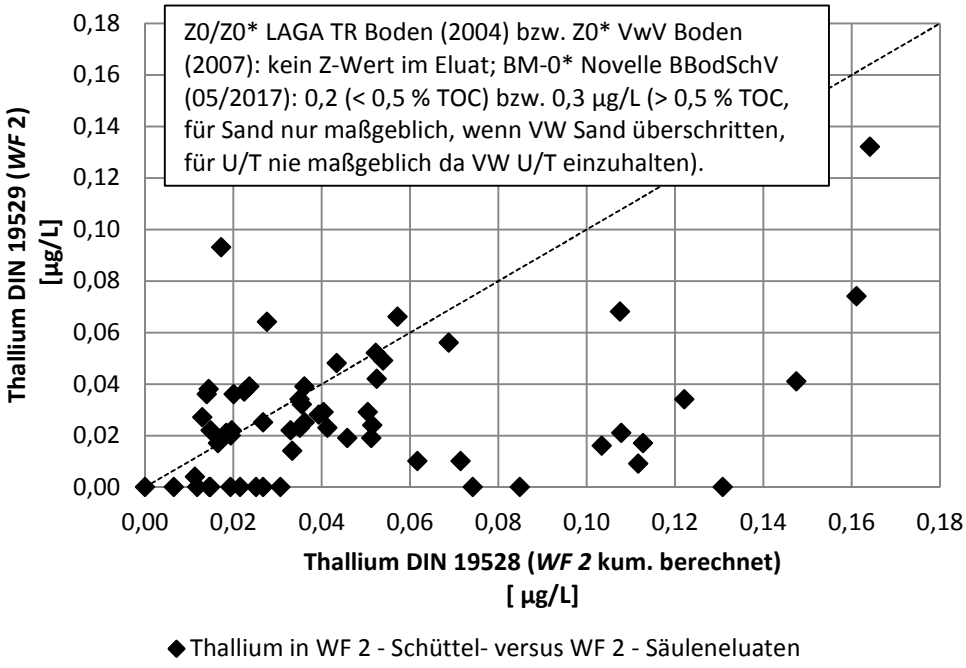


Abbildung 33: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.

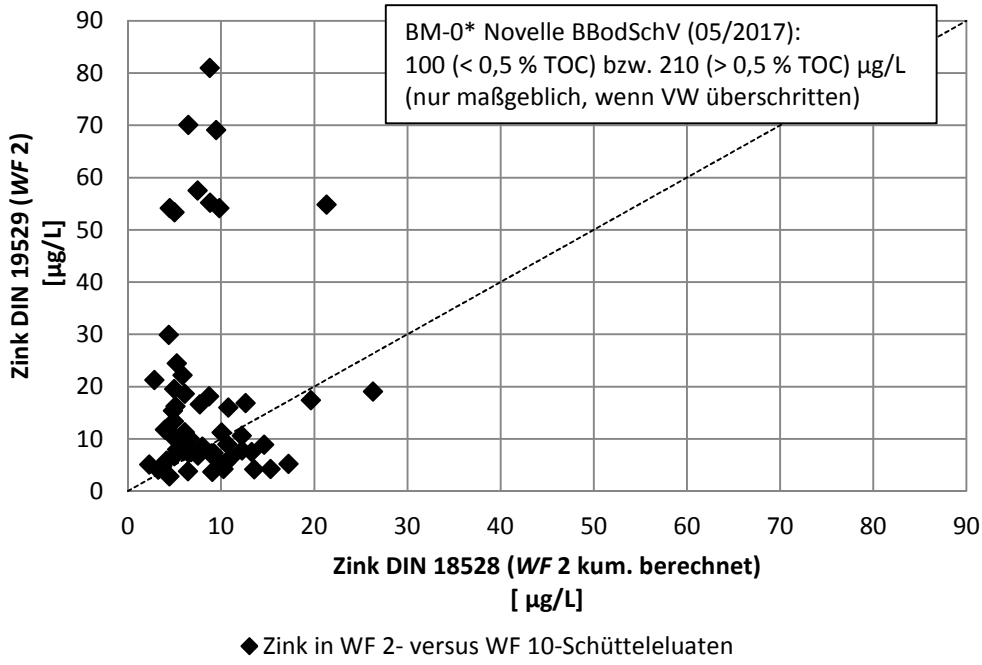
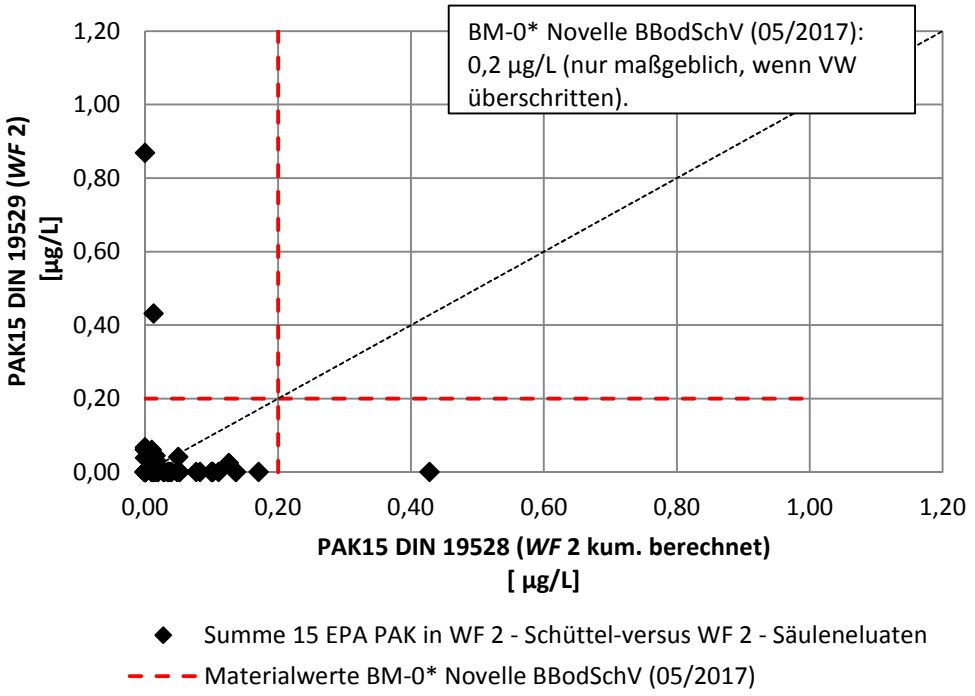
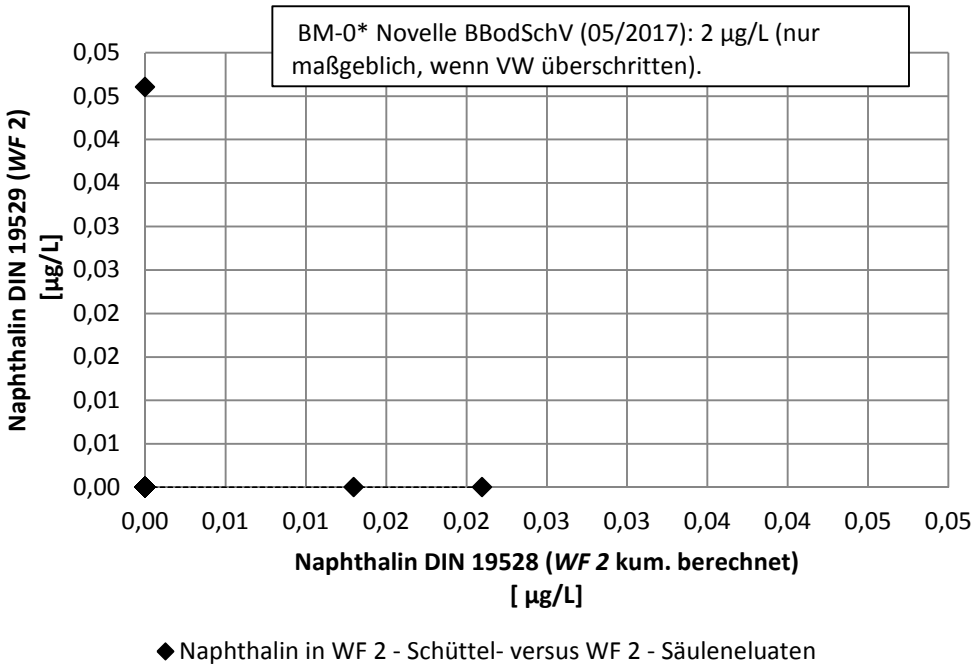


Abbildung 34: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 59 LUBW-Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.





7.2 Teil II – Untersuchungsergebnisse für 50 neu beprobte Bodenmaterialien

7.2.1 Untersuchung von 50 neu beprobten Bodenmaterialien in *WF* 2 – Schütteleluaten nach DIN 19529 (2012)

Abbildung 35: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), pH-Werte: Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte Z0/Z0* nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Keine Orientierungswerte für pH nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten.

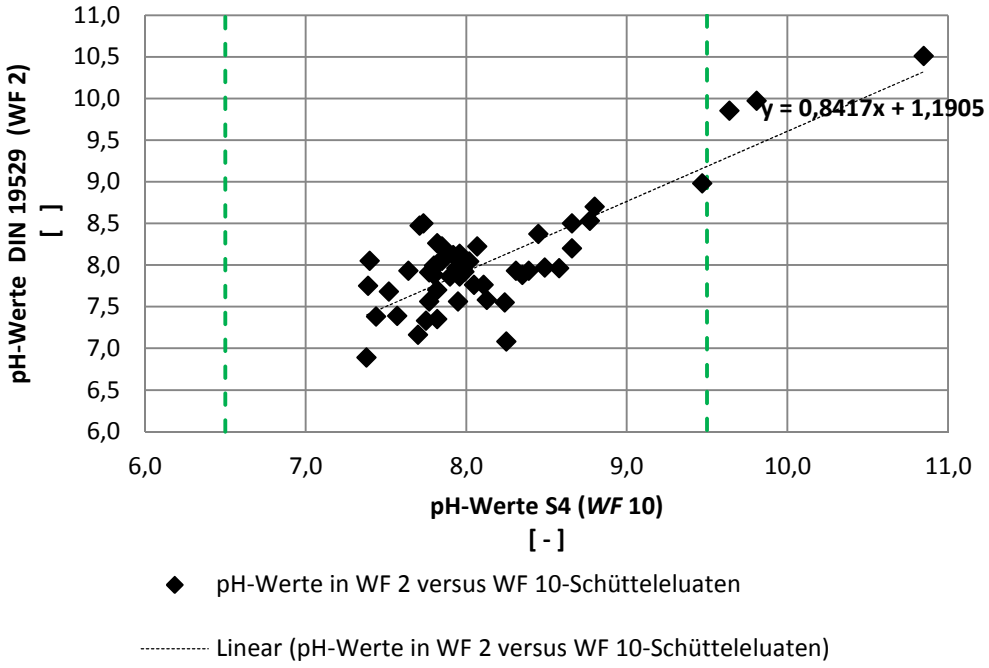
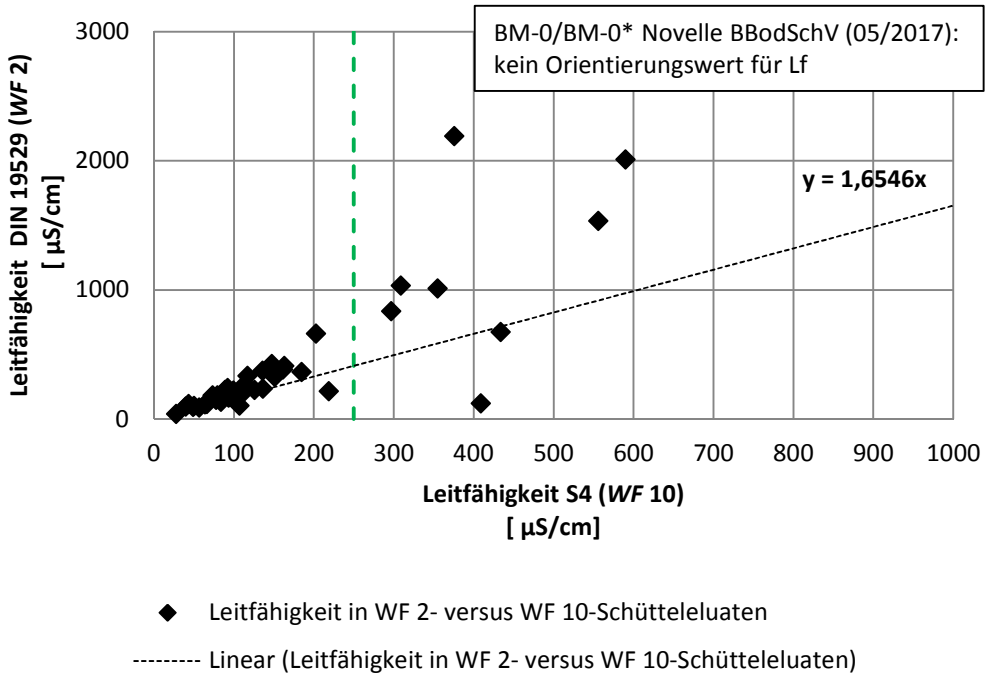


Abbildung 36: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Schwarz gepunktet: Regression(Formel: Steigung > 1 bedeutet *WF* 2-Werte > *WF* 10-Werte durch Aufkonzentrierung in *WF* 2- bzw. Verdünnung in *WF* 10-Eluaten). Strichlinien: Hilfslinien für Orientierungswerte Z0/Z0* nach LAGA TR Boden (2004) bzw. VwV Boden (2007) in *WF* 10-Eluaten. Keine Orientierungswerte für Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung der Maximalwerte.



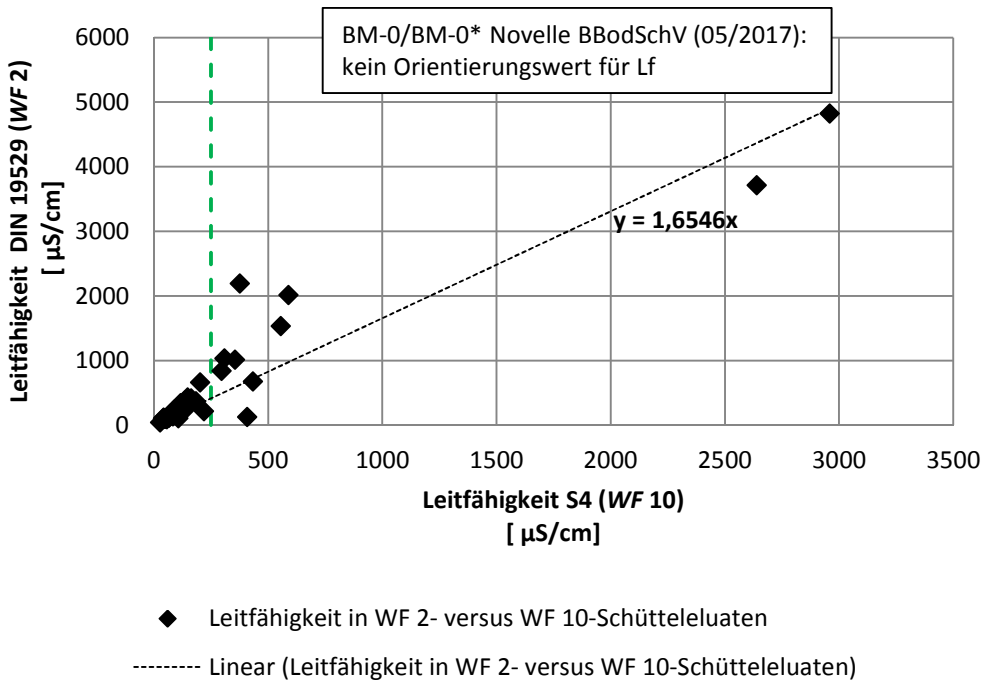


Abbildung 37: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Chlorid . Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. Kein Materialwert für Chlorid. nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung der Maximalwerte.

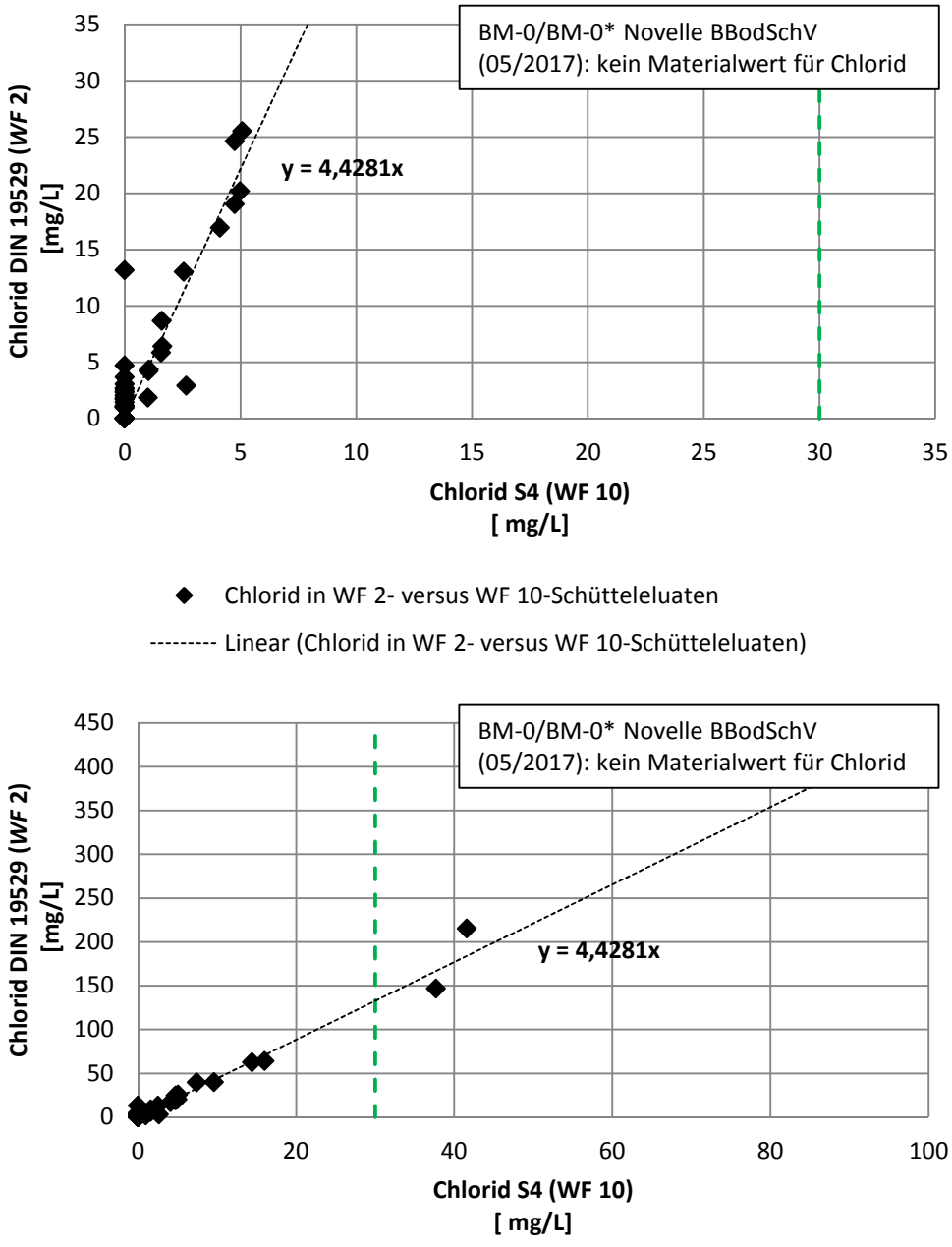
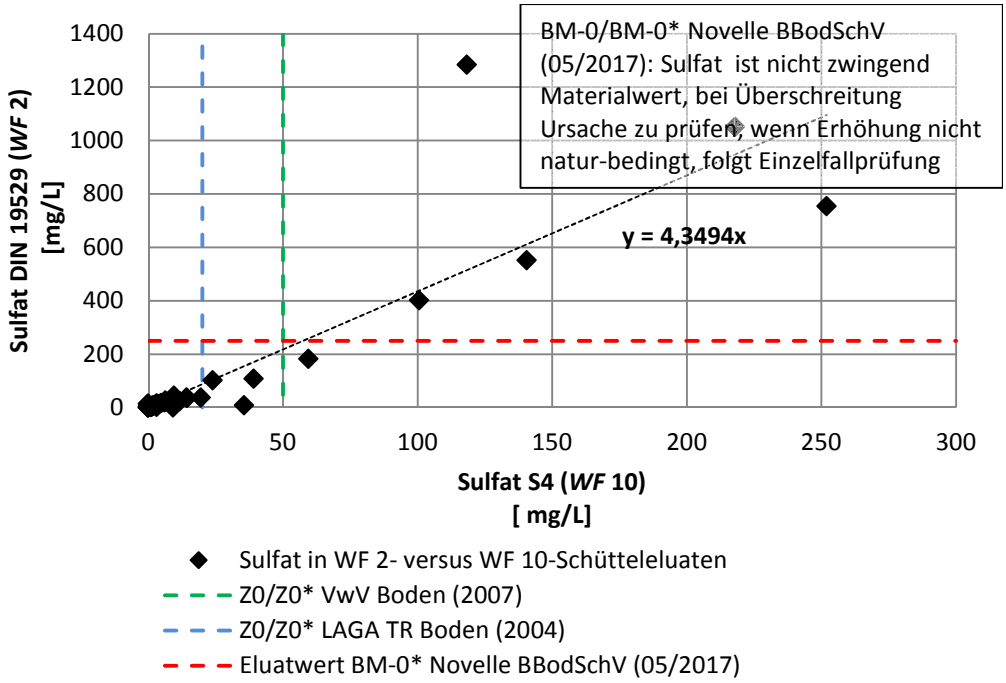


Abbildung 38: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Bild unten: Skalierung zur Darstellung der Maximalwerte.



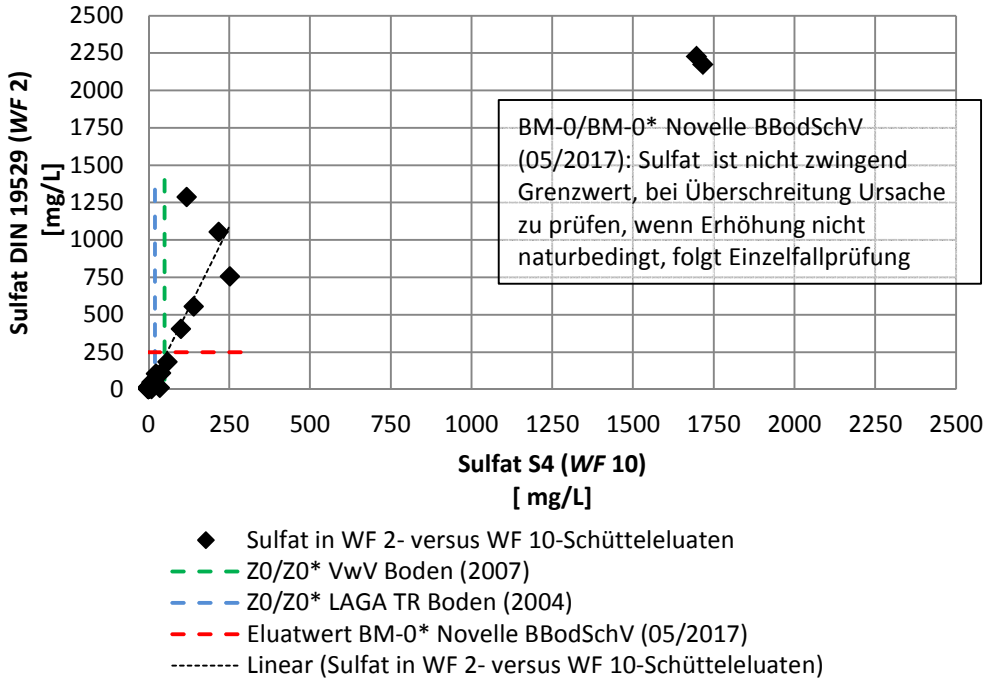


Abbildung 39: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.

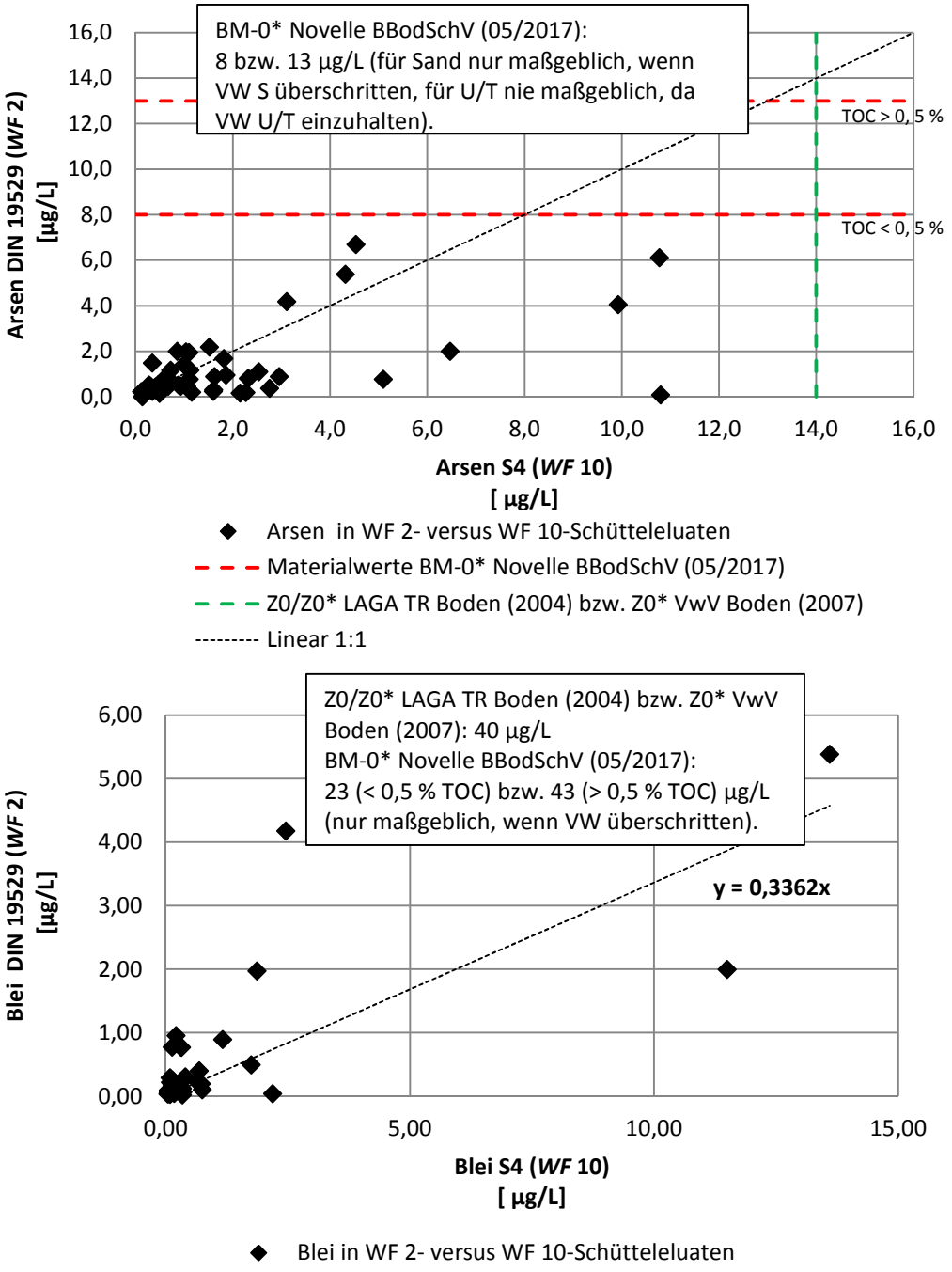
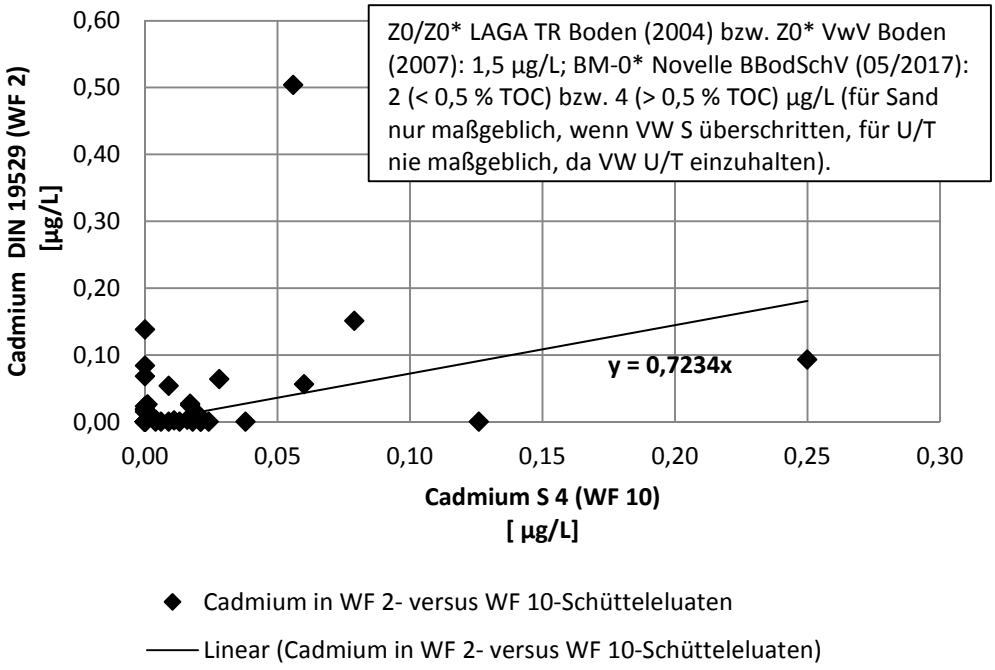
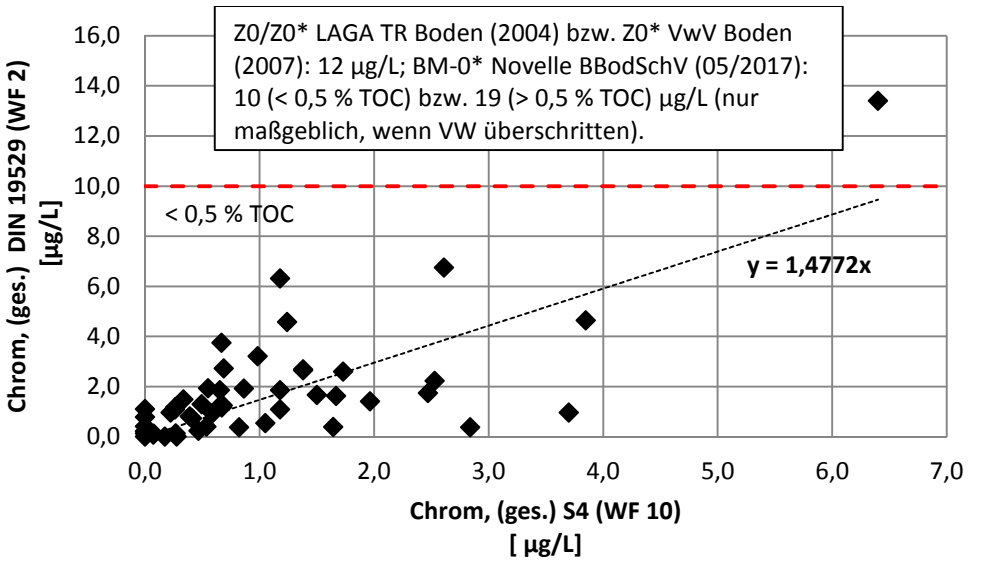


Abbildung 40: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



◆ Cadmium in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten

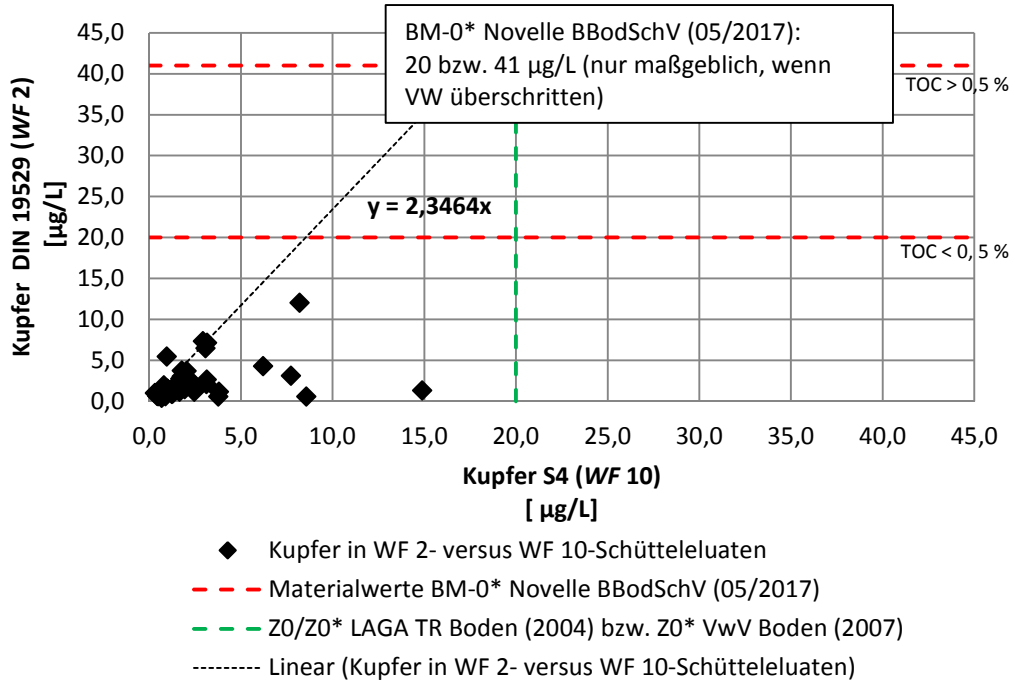
—— Linear (Cadmium in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten)



◆ Chrom, (ges.) in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten

--------- Linear (Chrom, (ges.) in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten)

Abbildung 41: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Kupfer: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung von Maximalwerten.



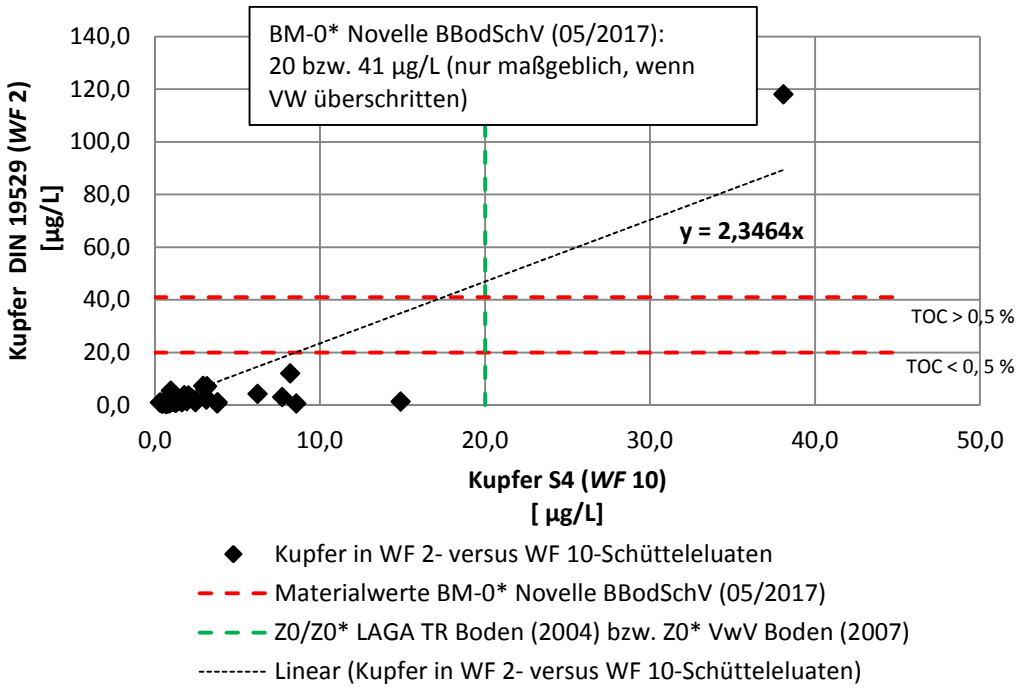
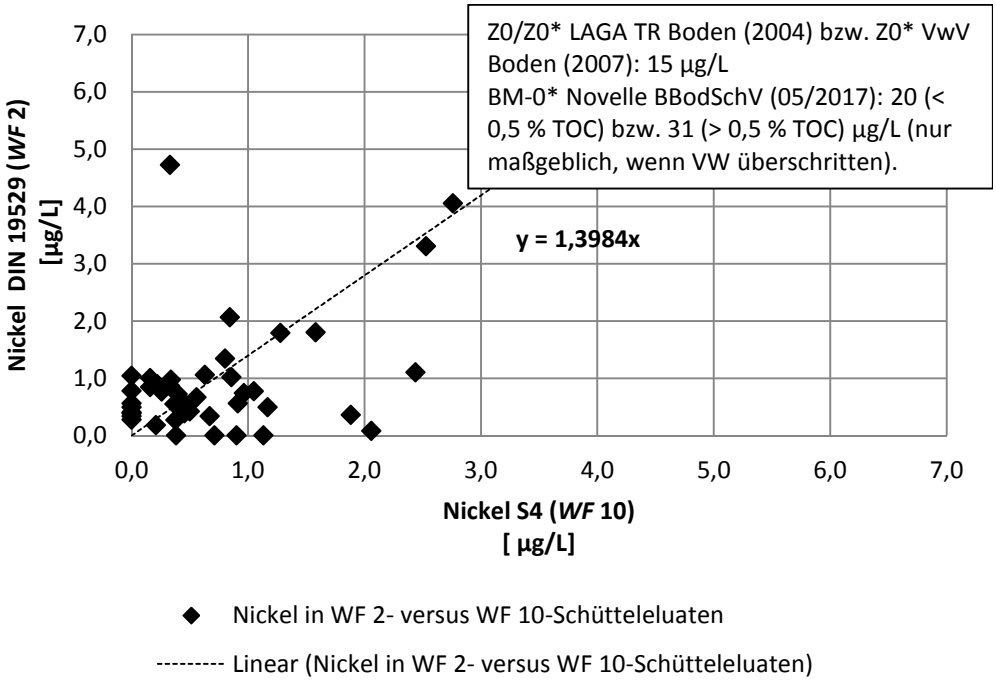


Abbildung 42: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung von Maximalwerten.



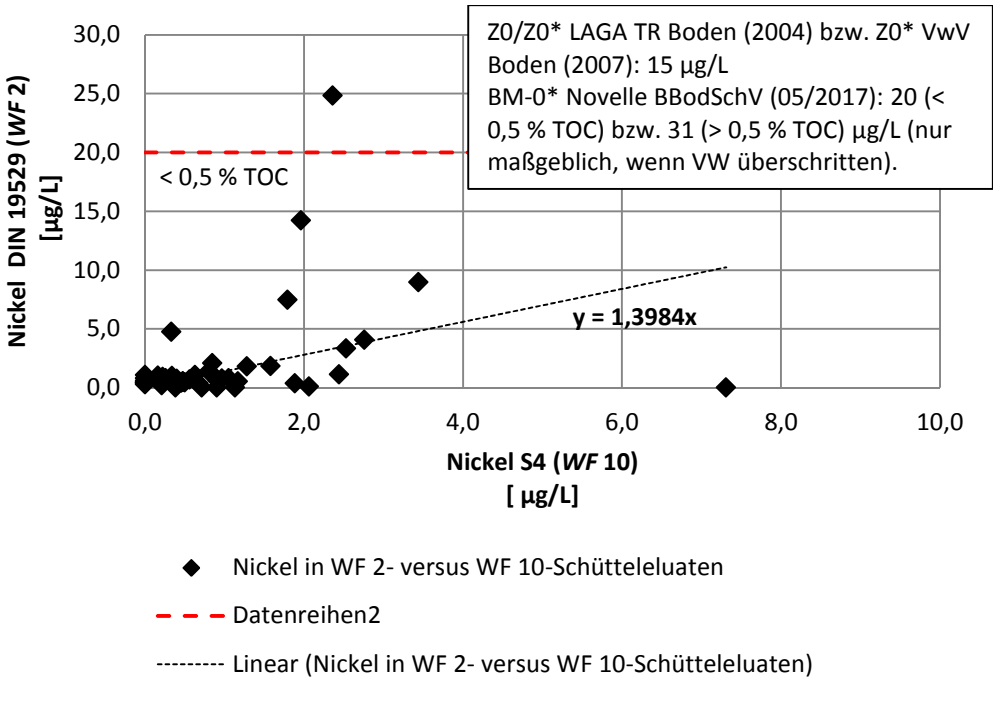
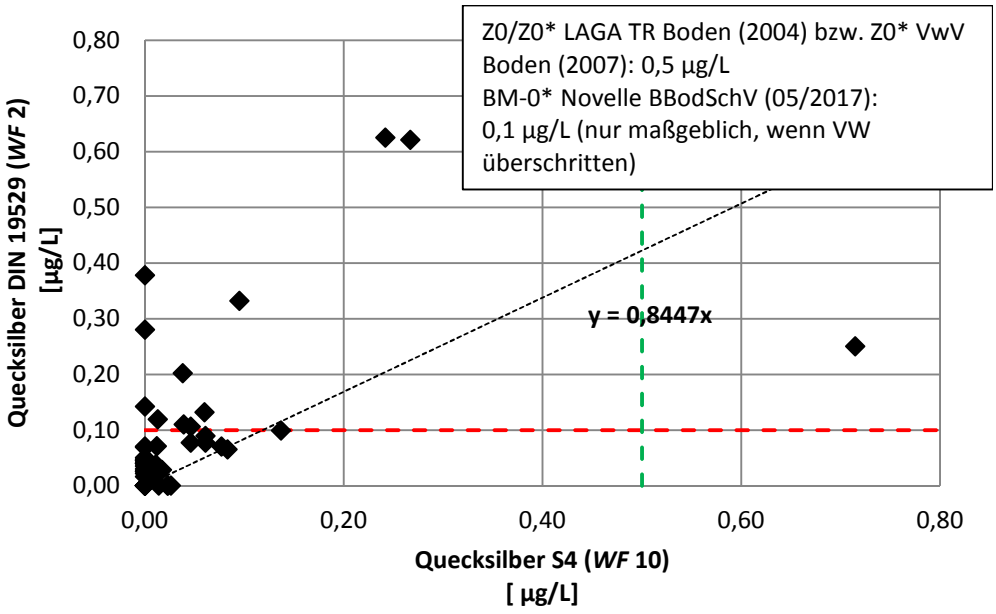
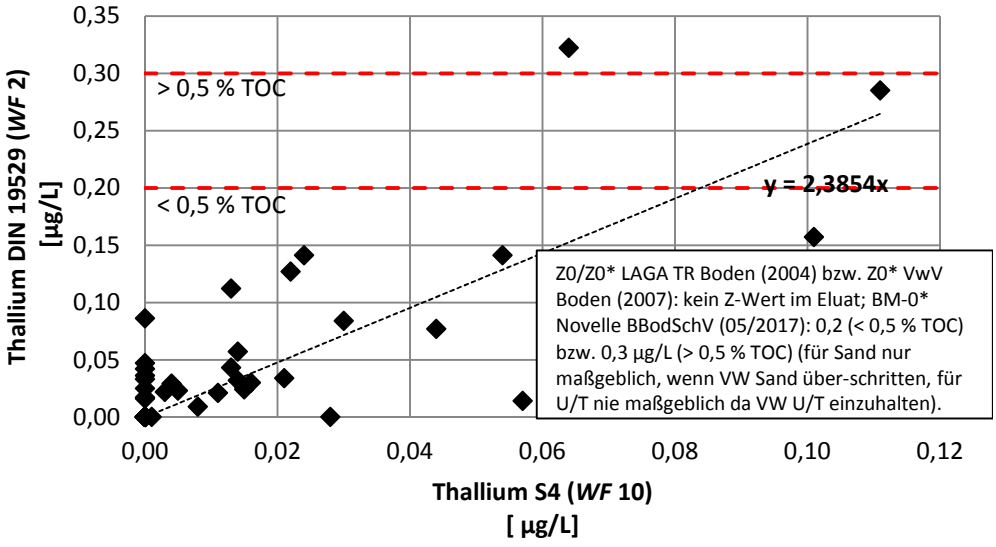


Abbildung 43: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



◆ Quecksilber in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten



◆ Thallium in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten

--------- Linear (Thallium in WF 2- versus WF 10-Schütteleluaten)

Abbildung 44: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.

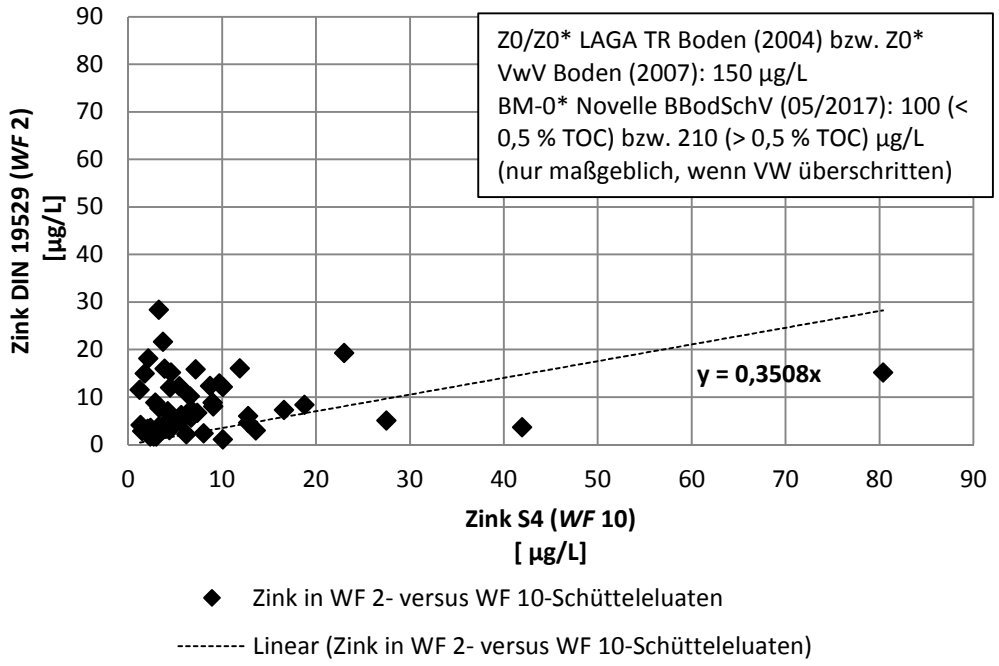
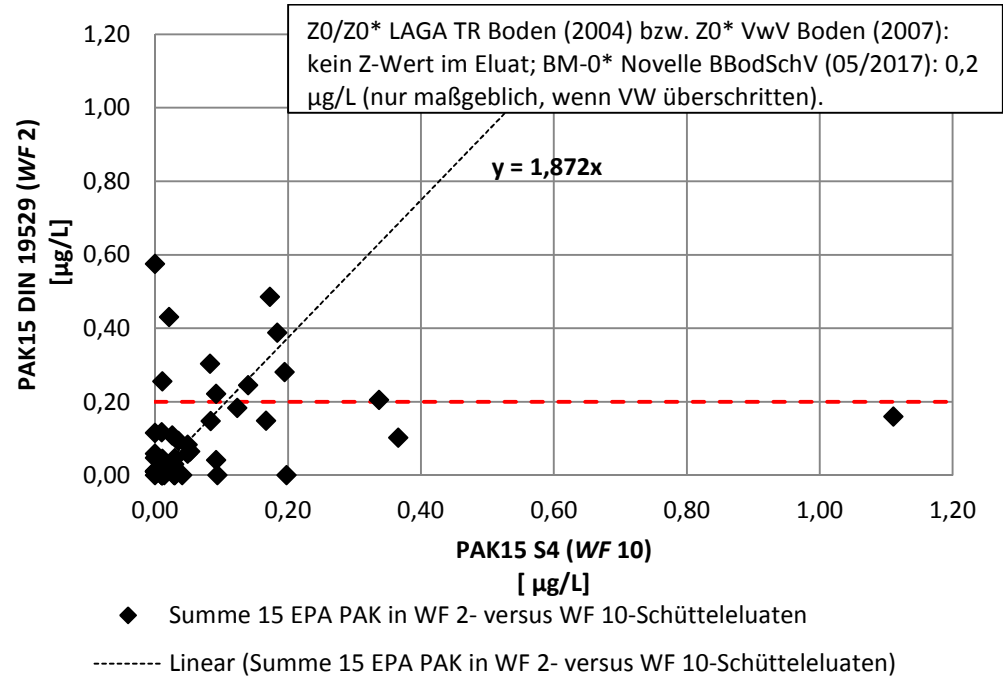


Abbildung 45: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Σ 15 EPA PAK. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten. Bild unten: Skalierung zur Darstellung von Maximalwerten.



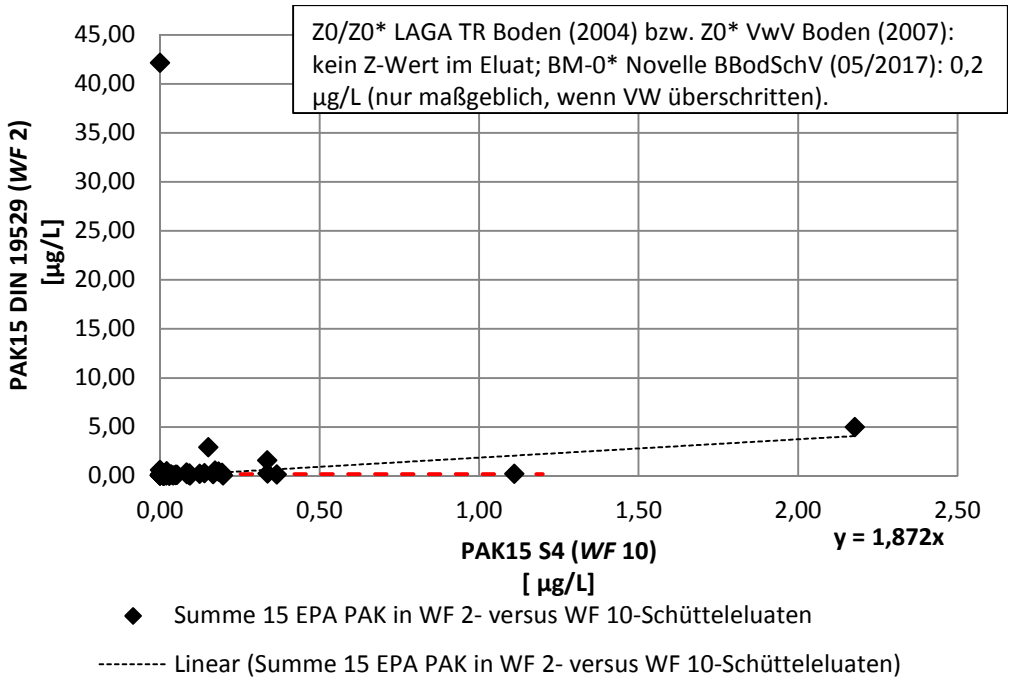
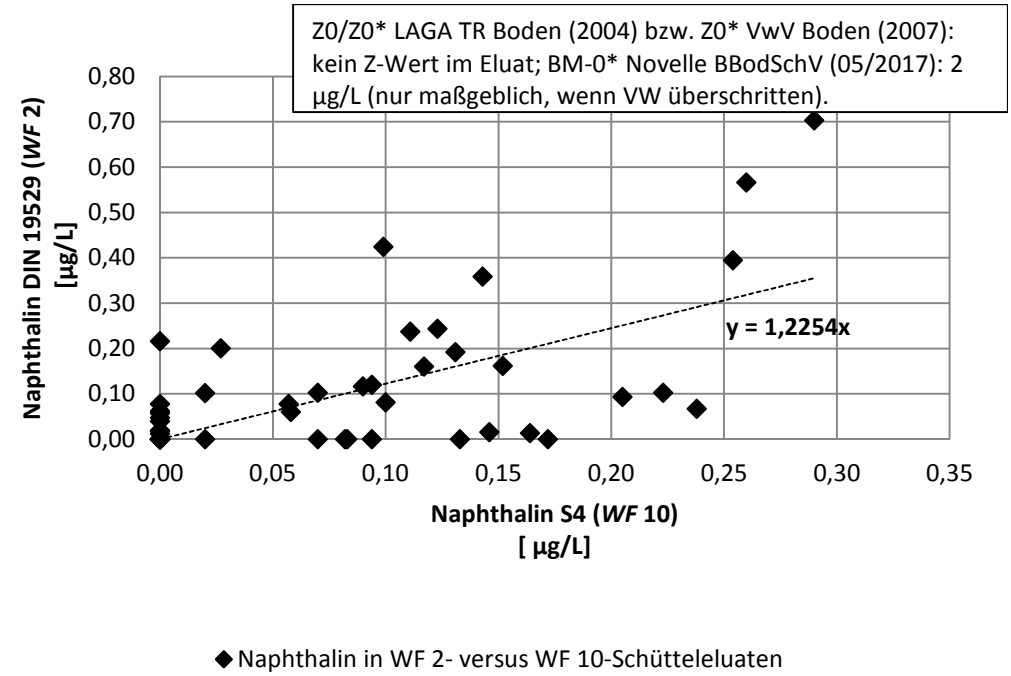
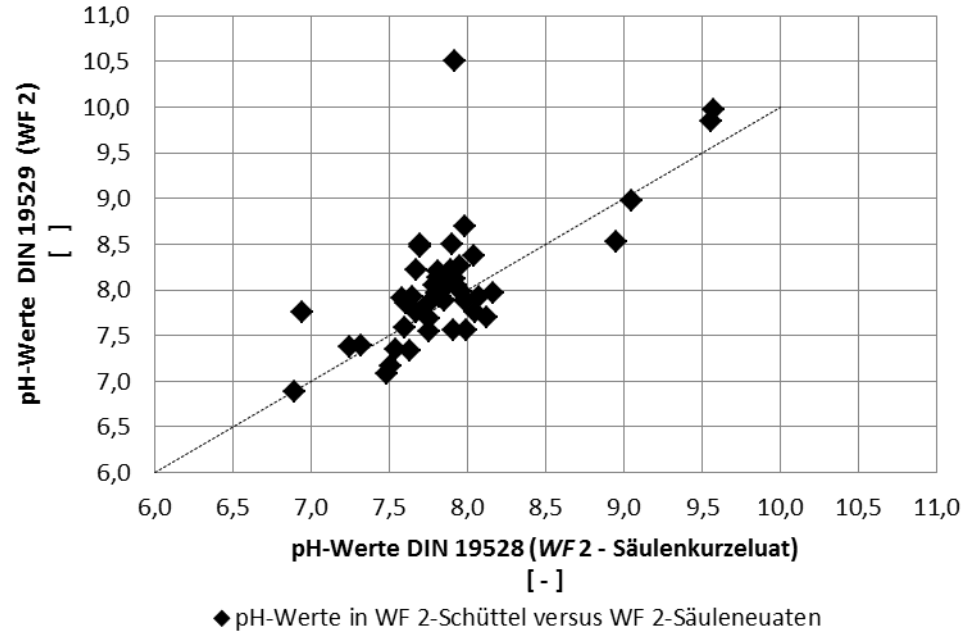


Abbildung 46: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus DIN 38414-4, 10/1984 (S4, zurückgezogen), Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



7.2.2 Untersuchung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien in *WF* 2-Säulenkurzeluaten nach DIN 19528

Abbildung 47: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten.



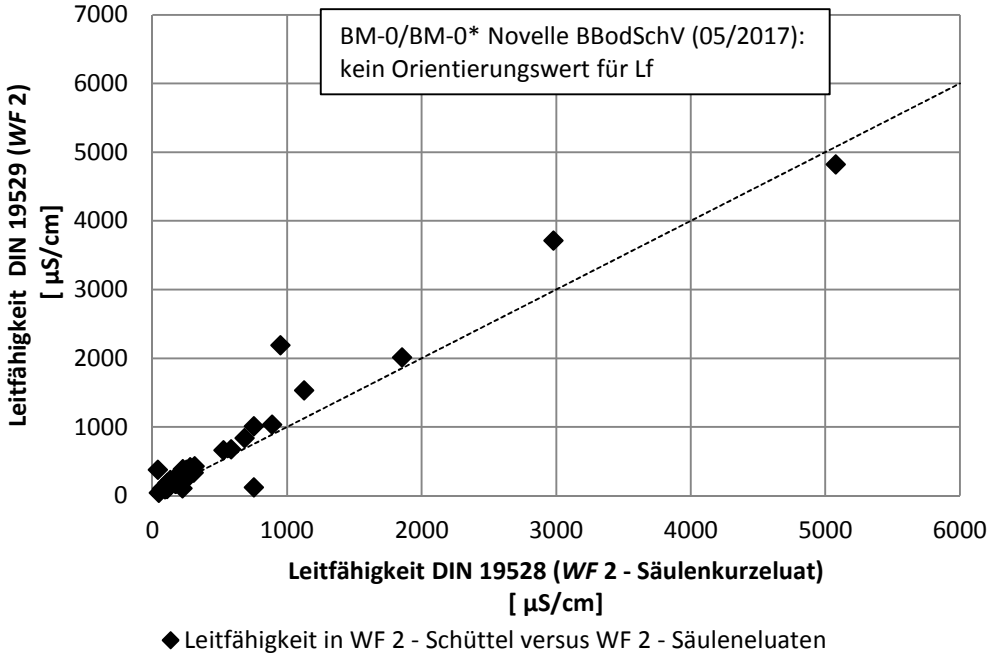
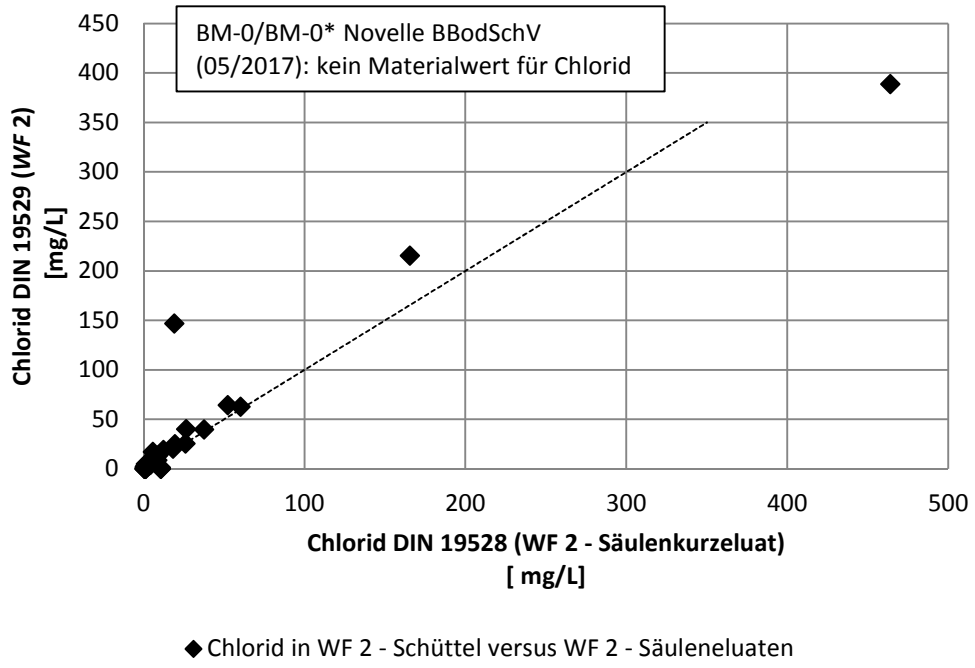


Abbildung 48: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Chlorid und Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. Kein Materialwert für Chlorid. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten.



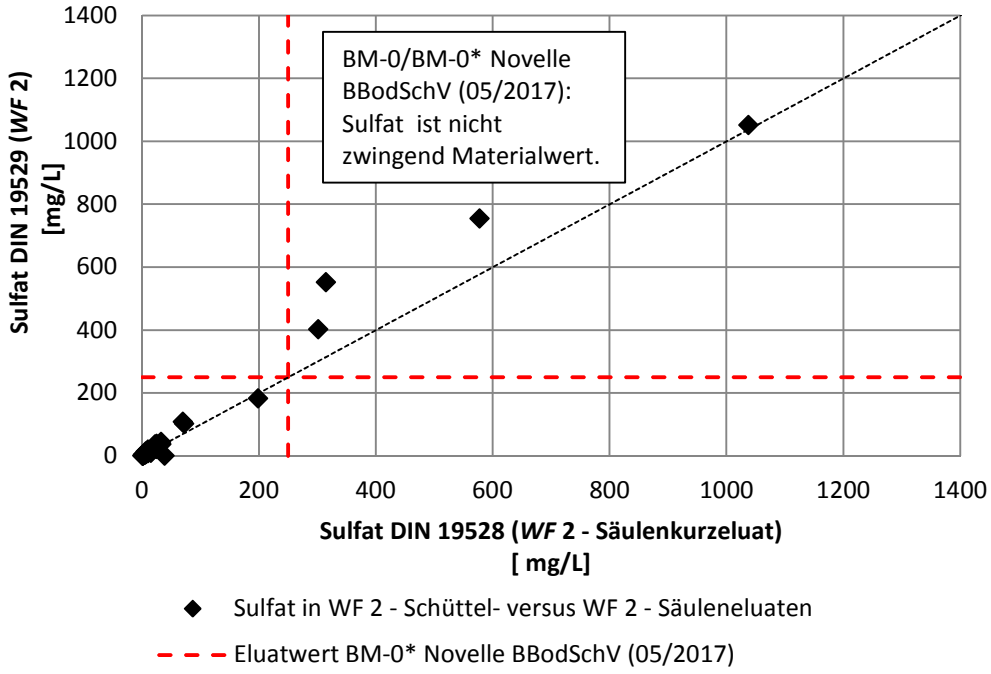
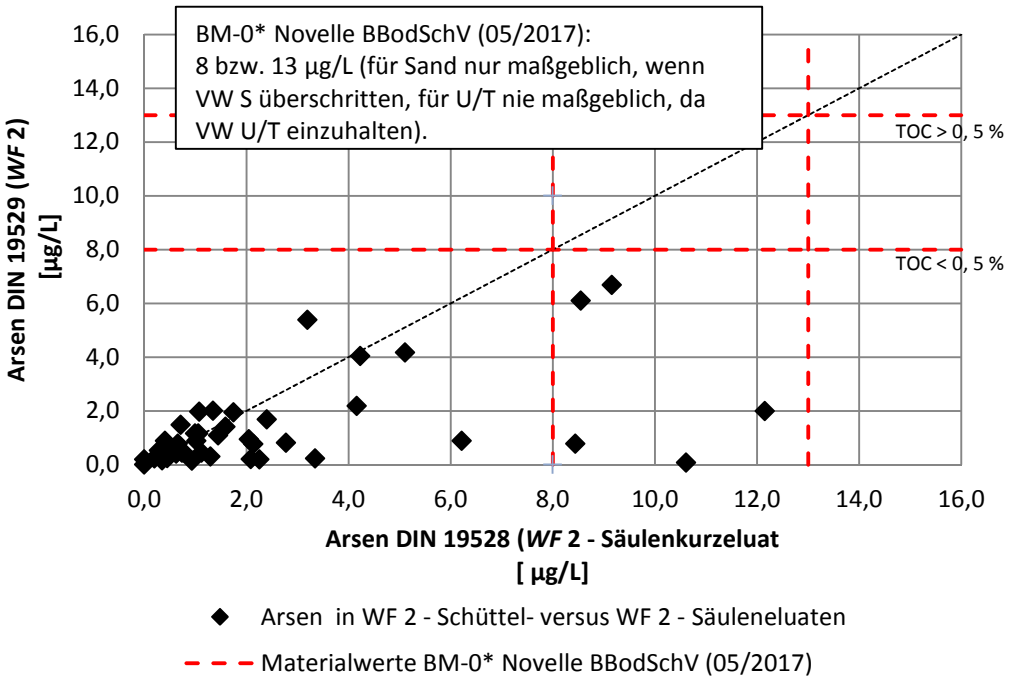


Abbildung 49: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



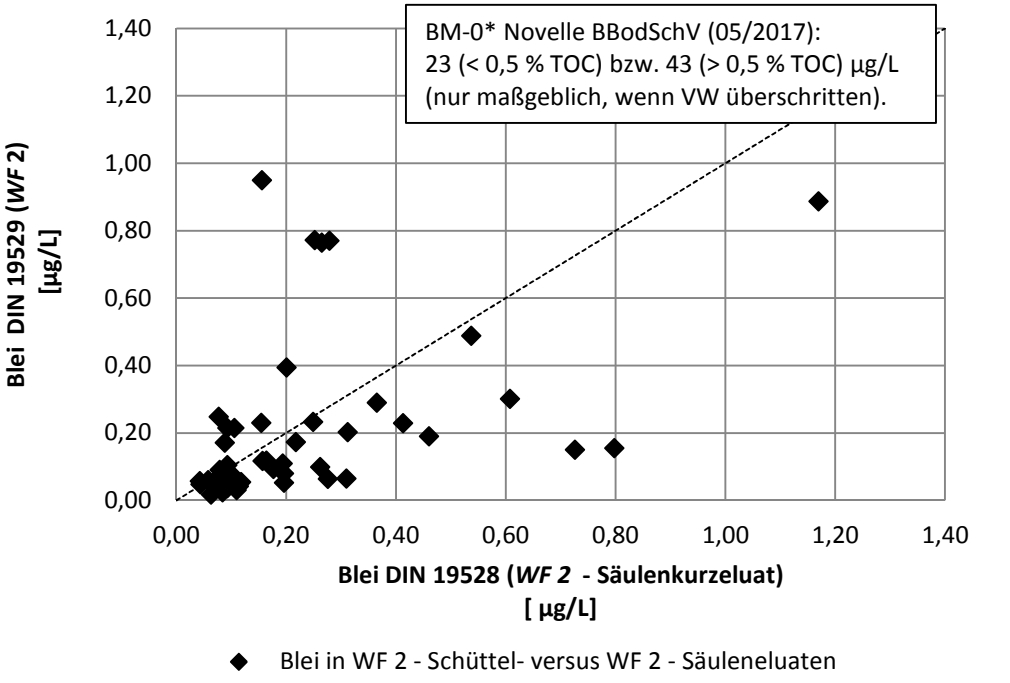
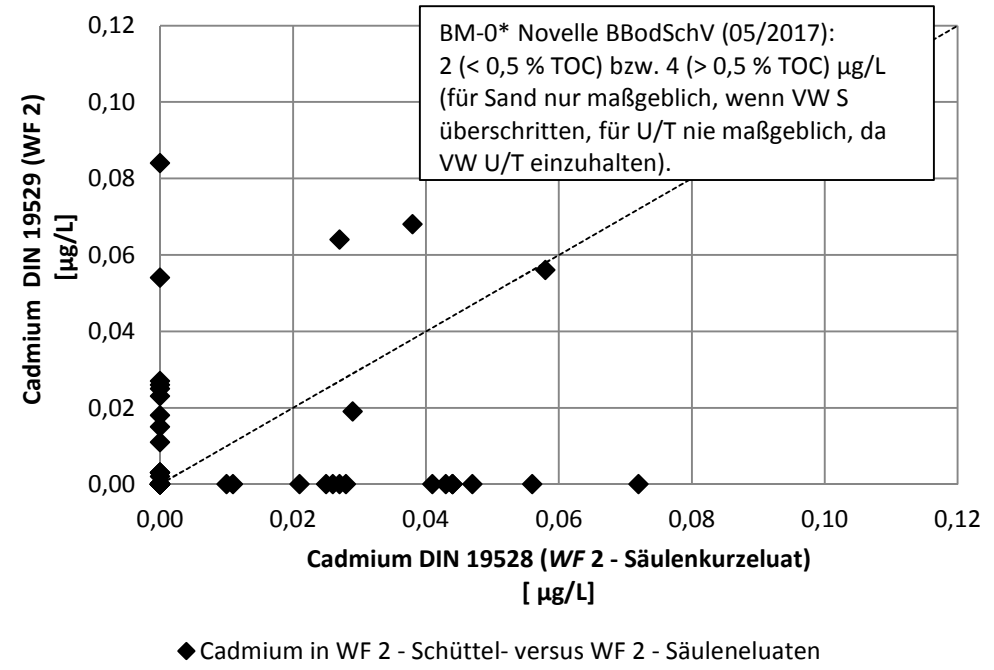


Abbildung 50: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



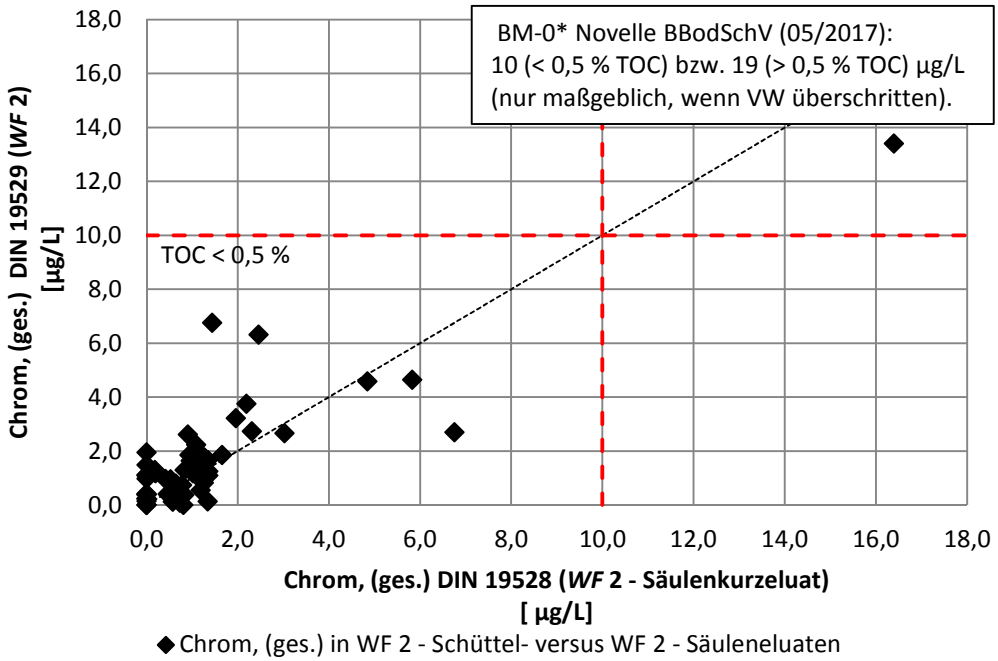
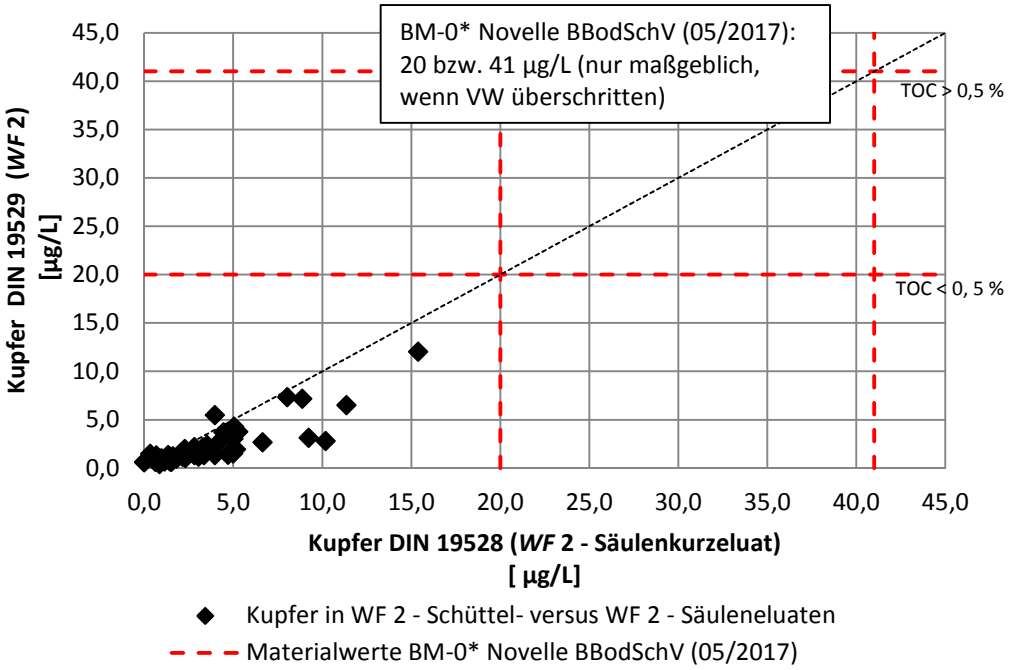


Abbildung 51: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Kupfer und Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



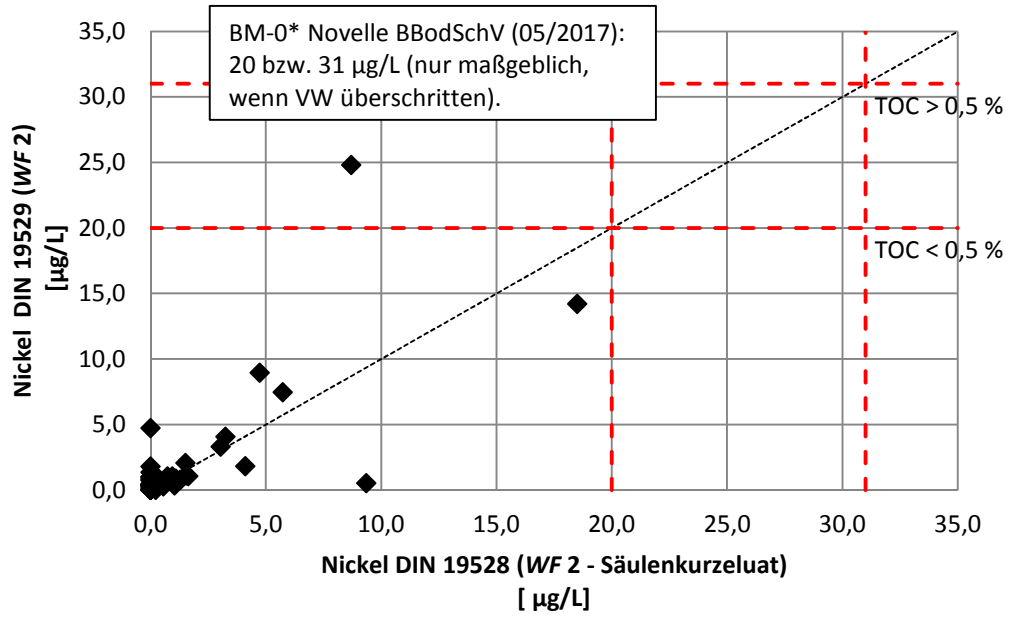
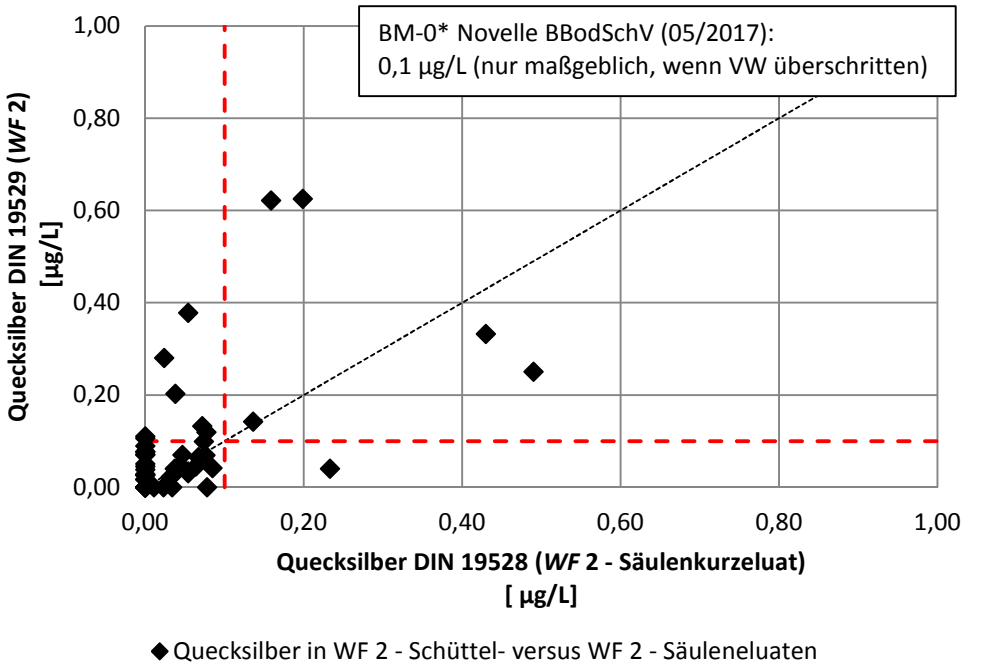


Abbildung 52: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



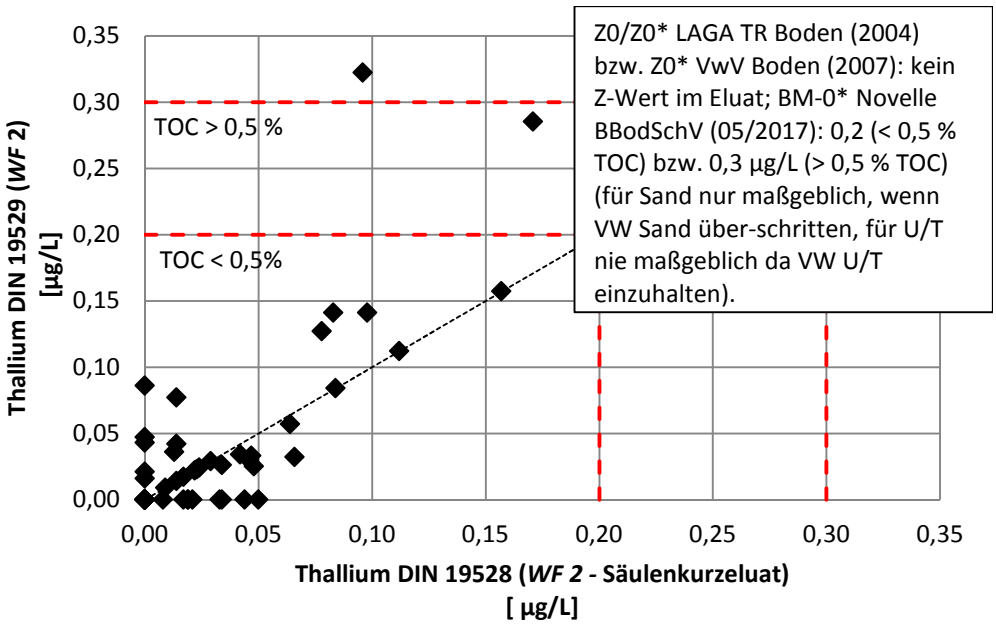


Abbildung 53: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.

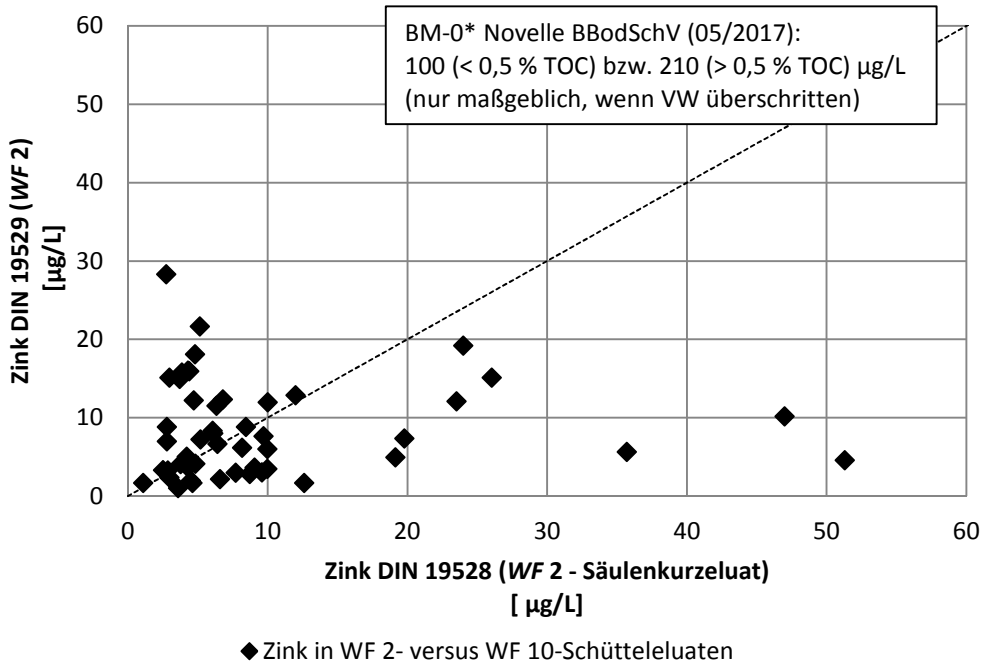
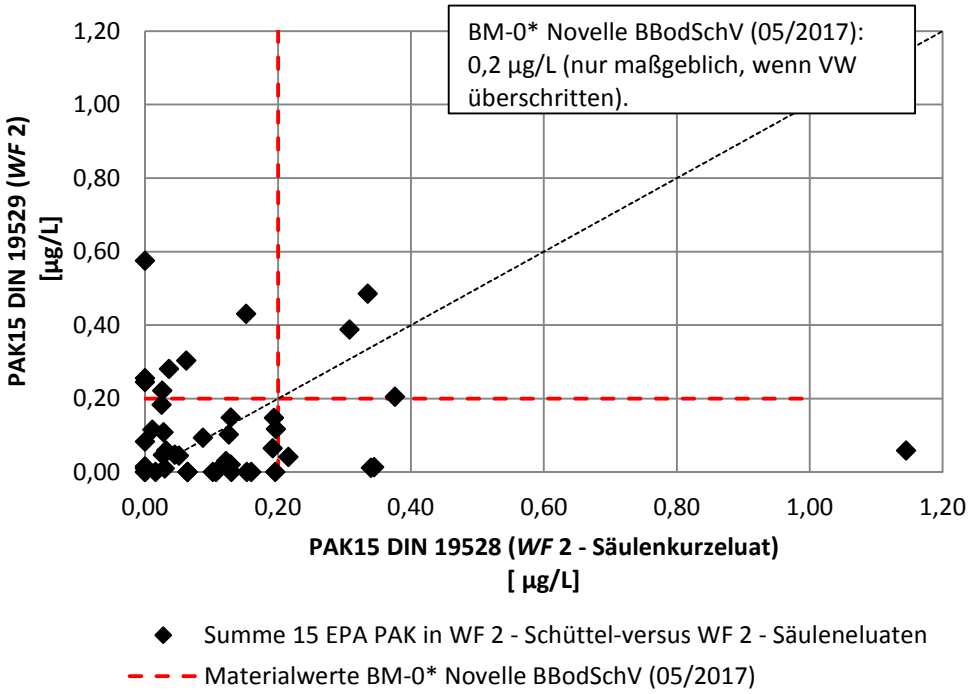
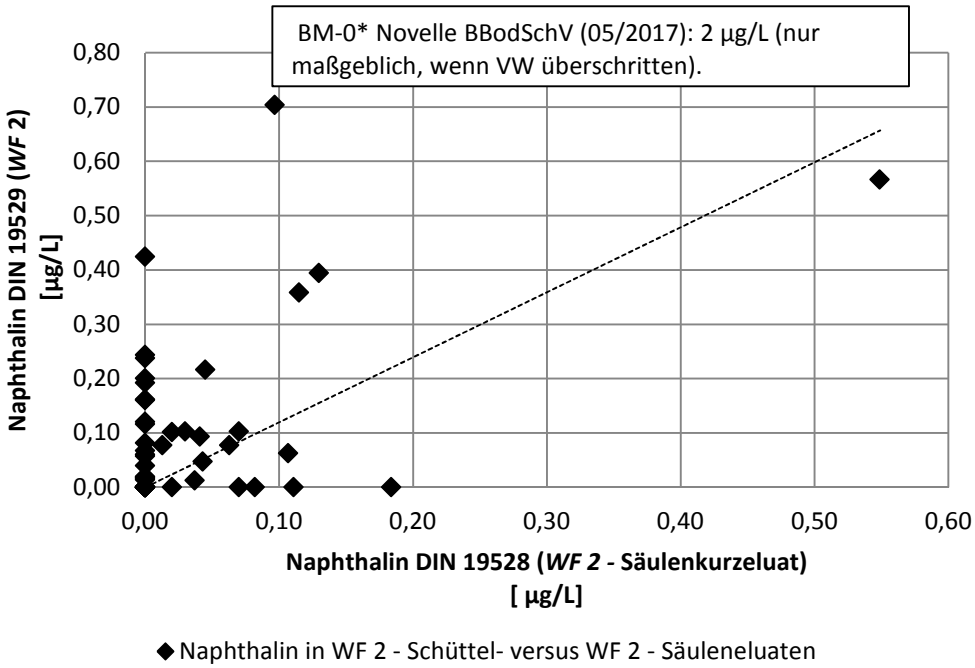


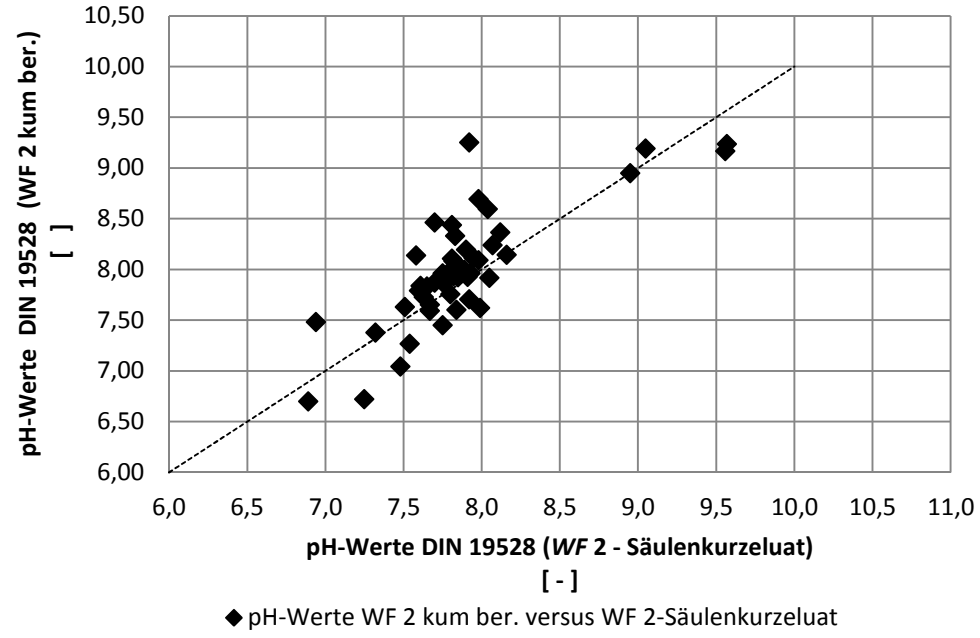
Abbildung 54: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: *WF* 2 - Schüttelversuch nach DIN 19529 (2012) versus *WF* 2-Säuleneluatkonzentrationen nach DIN 19528 (berechnet aus ausführlichen Säulenversuchen), Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.





7.2.3 Untersuchung der 50 neu beprobten Bodenmaterialien in ausführlichen Säulenversuchen nach DIN 19528

Abbildung 55: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (Lf): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Keine Orientierungswerte für pH/Lf nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2-Eluaten.



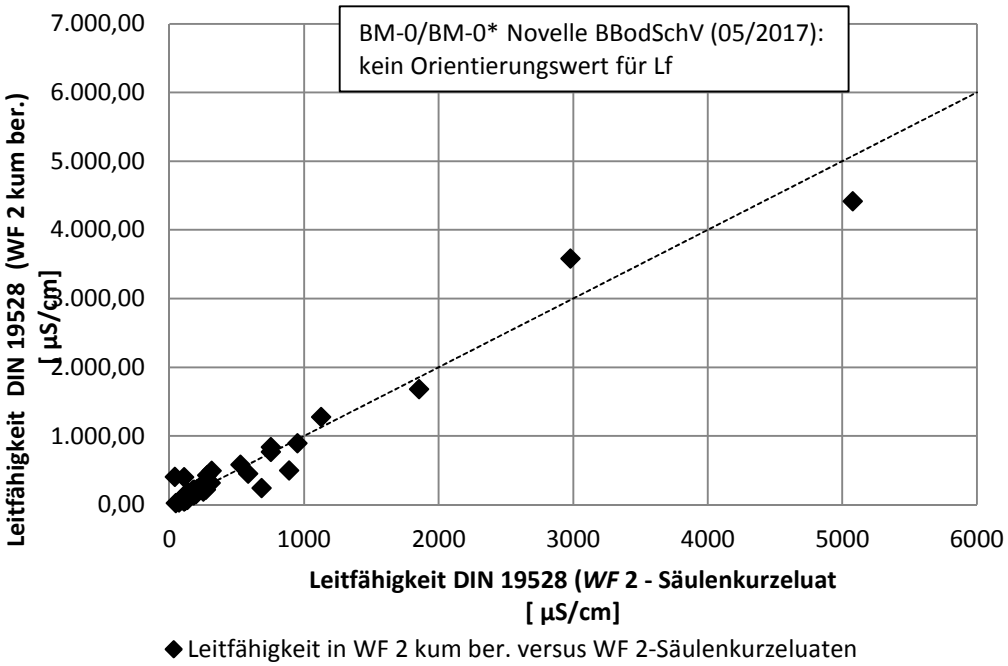
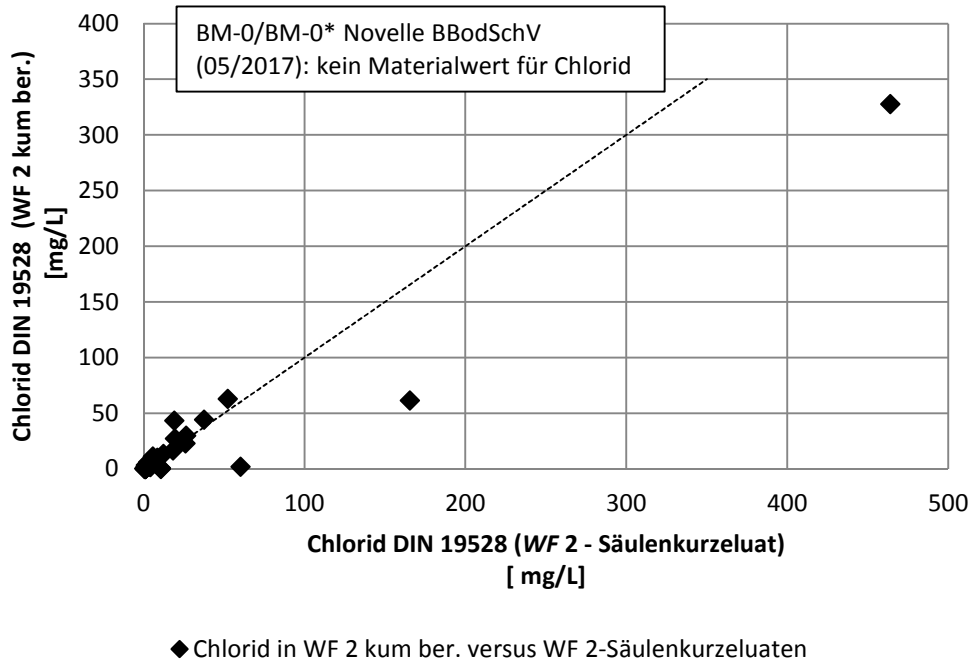


Abbildung 56: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Chlorid und Sulfat. Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV. *WF* 2 - Eluatwert für Sulfat nicht zwingend mit Grenzwertcharakter. Kein Materialwert für Chlorid nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2– Eluaten.



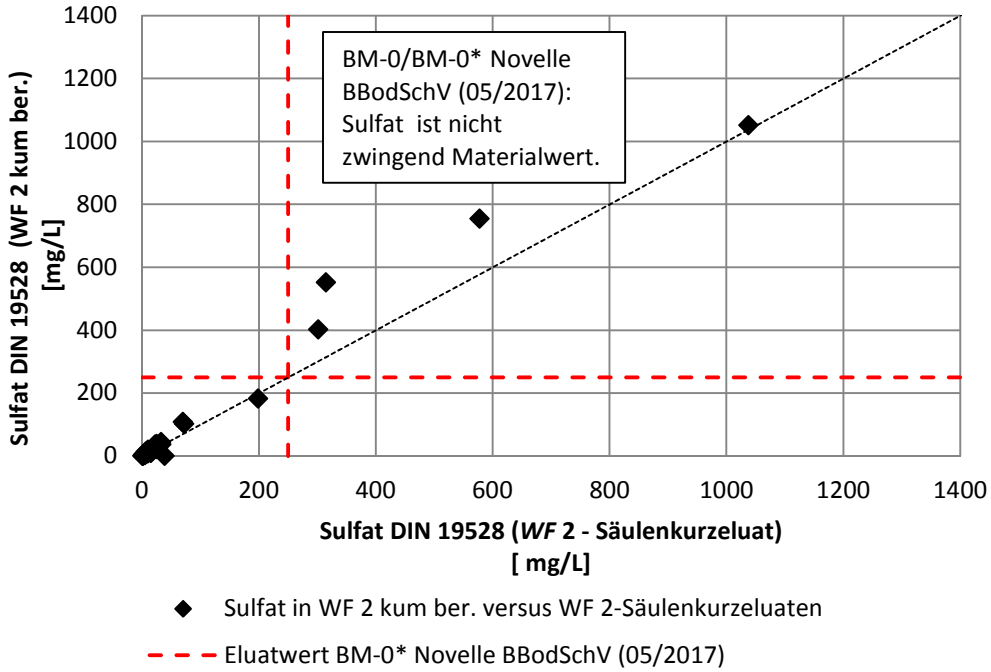
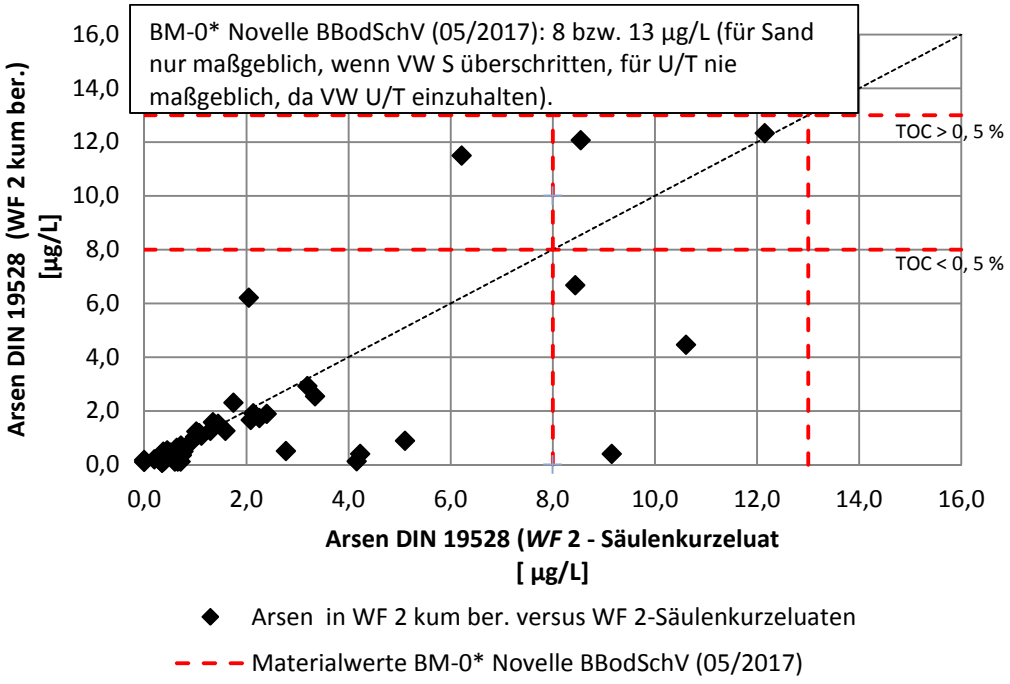


Abbildung 57: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Arsen und Blei: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



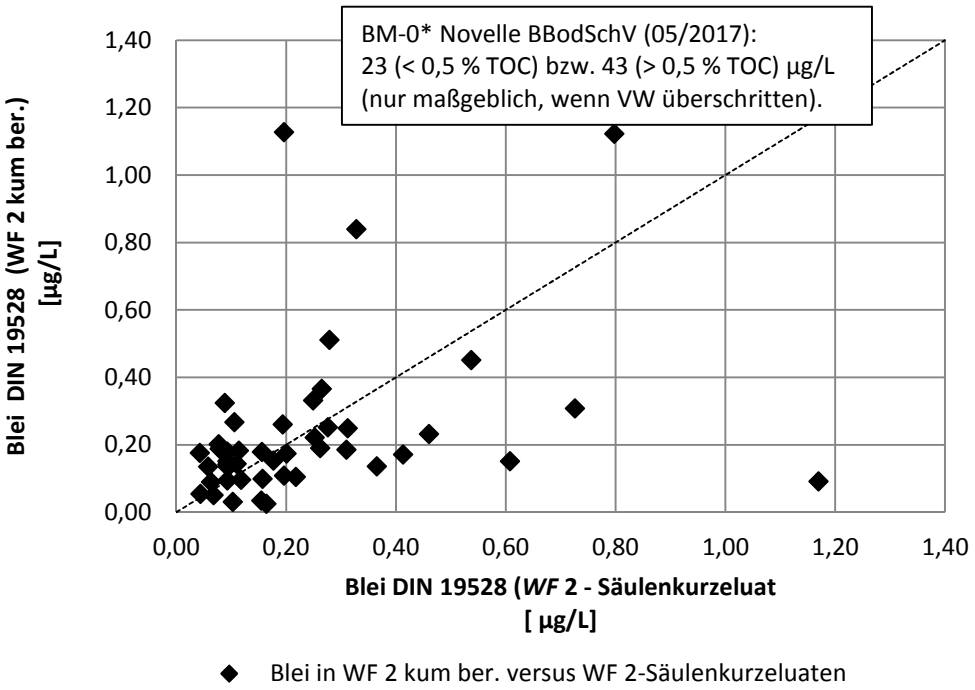
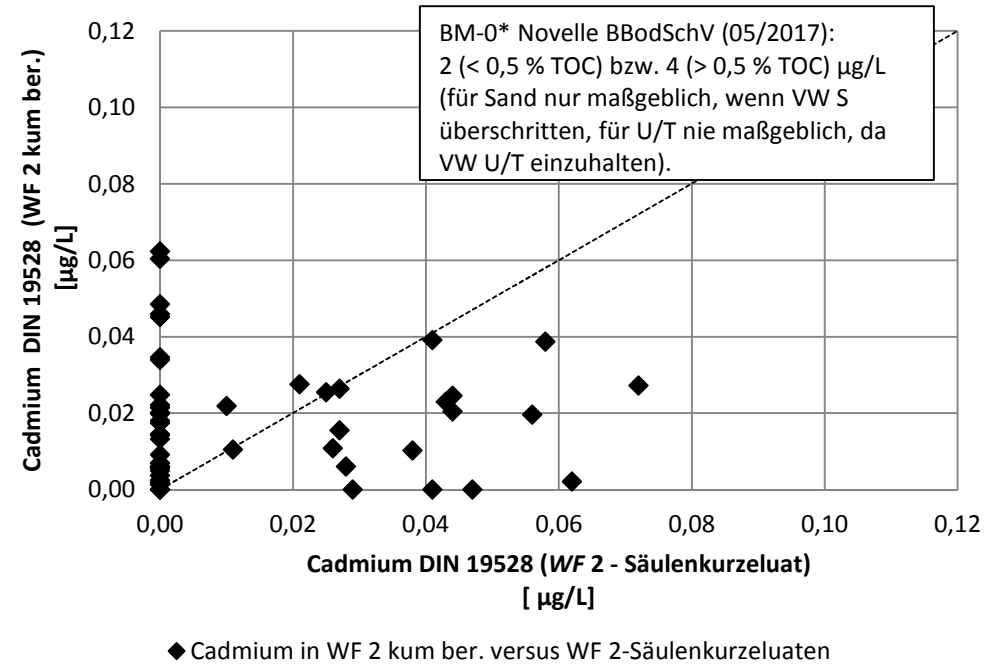


Abbildung 58: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Cadmium und Chrom, (ges.): Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



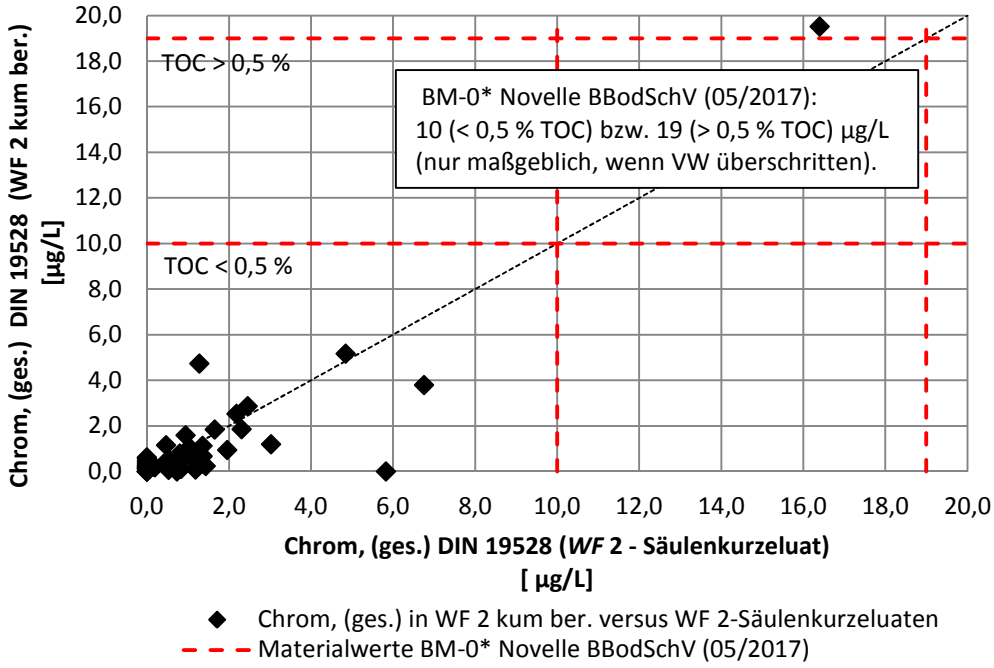
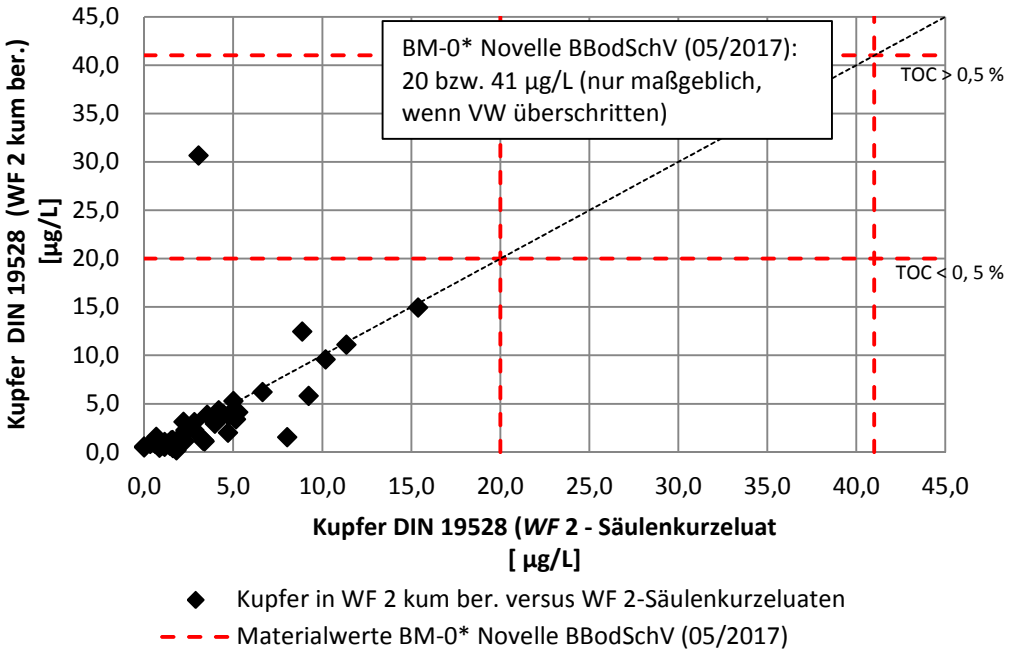


Abbildung 59: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Kupfer und Nickel: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Strichlinien: Hilfslinien für Materialwerte nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.



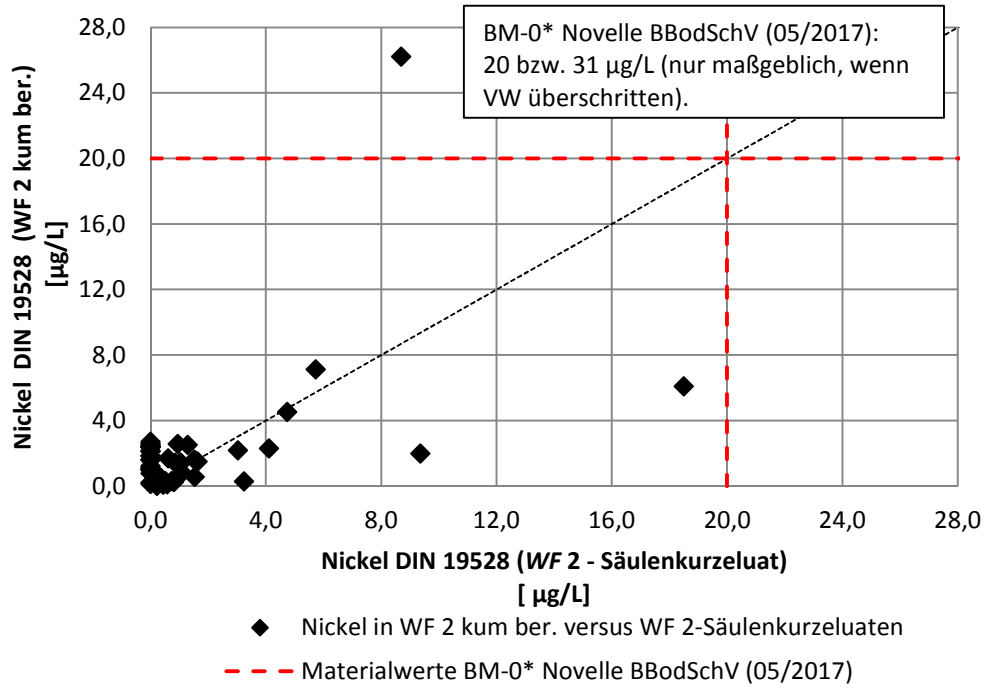
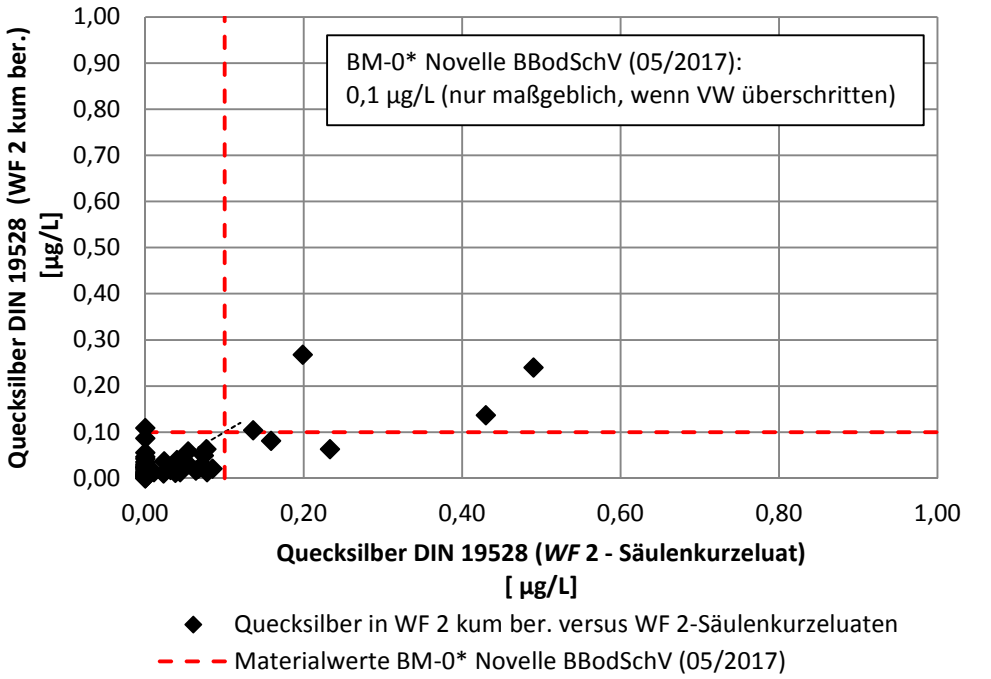


Abbildung 60: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Quecksilber und Thallium: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.



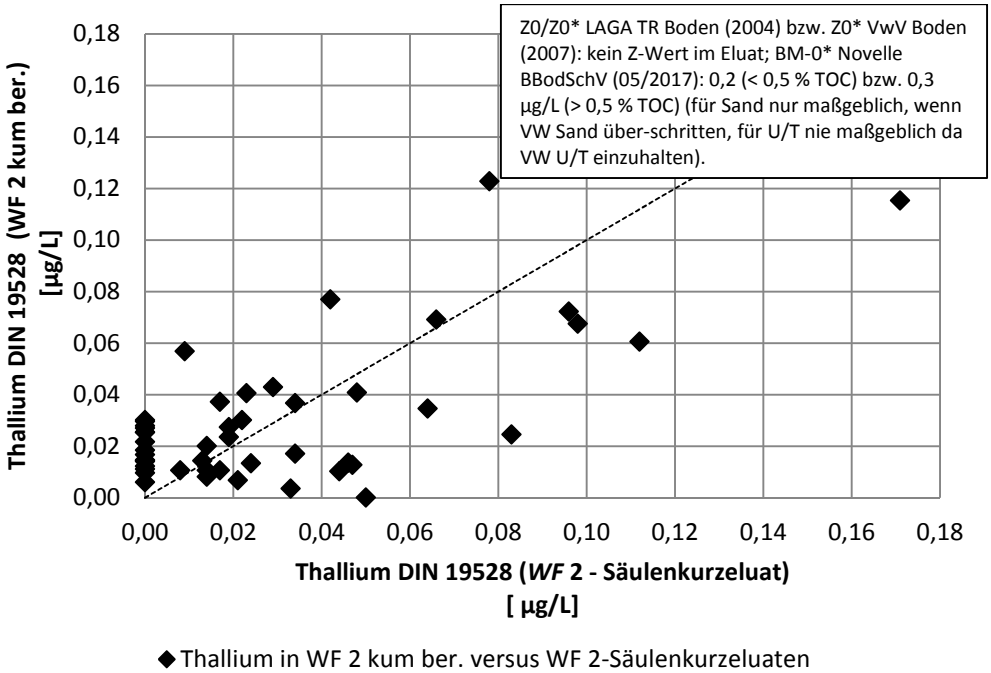


Abbildung 61: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Zink: Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung.

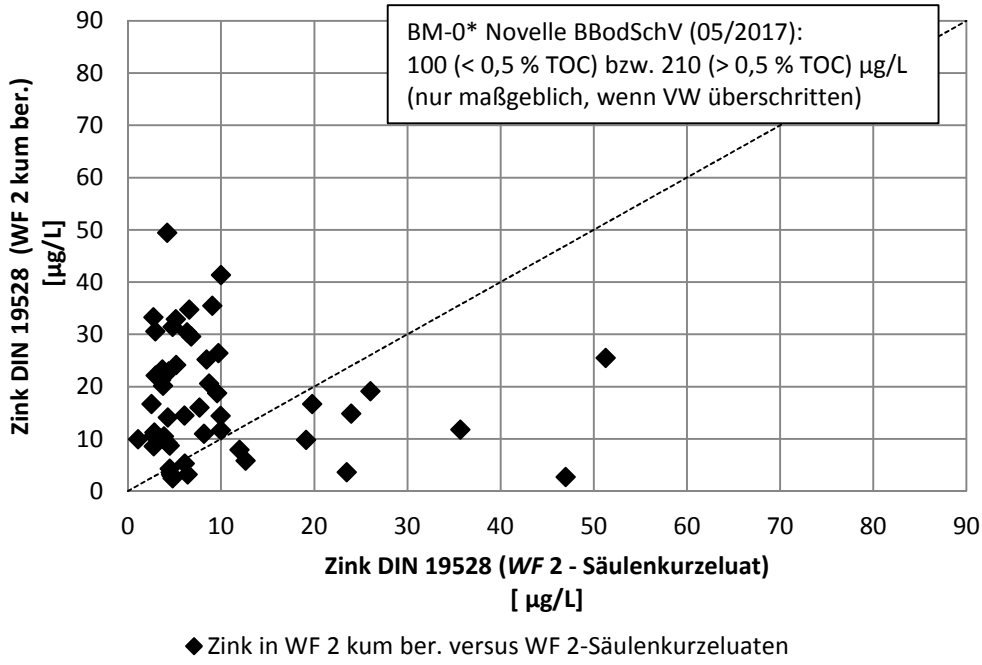
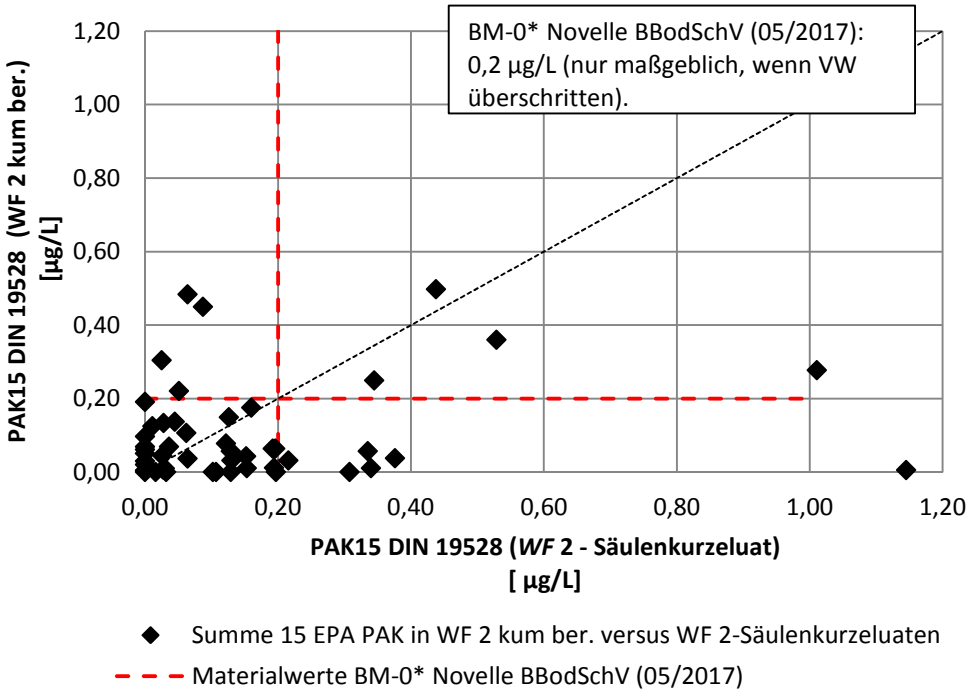
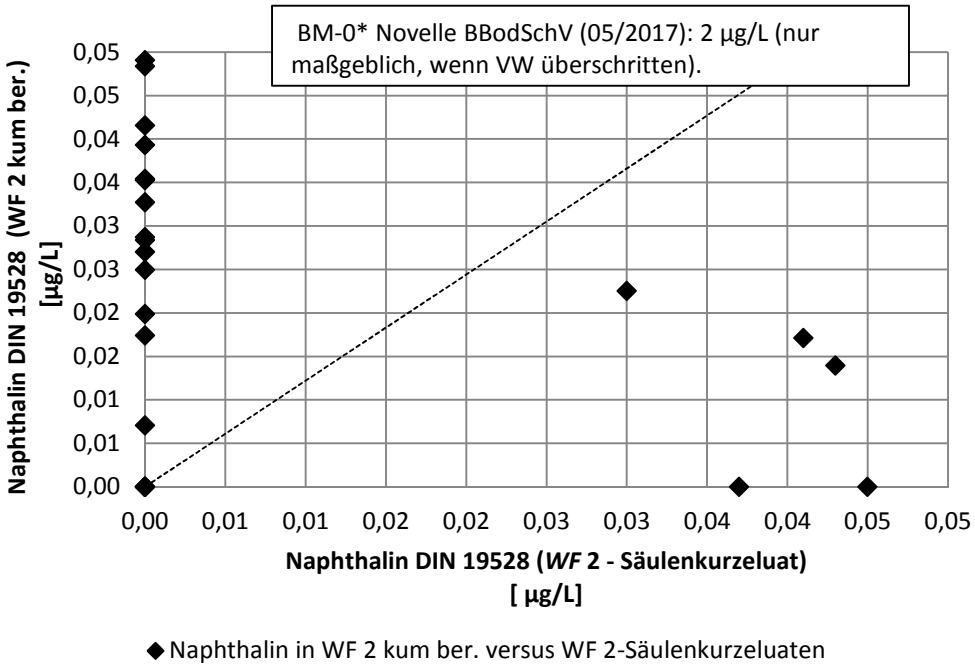


Abbildung 62: Korrelation der Ergebnisse der GIU GmbH für 50 neu beschaffte Proben, hier: Aus ausführlichen Säulenversuchen berechnete kumulierte Konzentration bis *WF* 2 nach DIN 19528 (2009) versus *WF* 2-Säulenkurzeluatkonzentrationen nach DIN 19528, Σ 15 EPA PAK sowie Naphthalin und Methylnaphthaline, (ges.). Konzentrationen auf der 1. Winkelhalbierenden (gepunktet) bedeuten Übereinstimmung. Rote Strichlinie: Hilfslinien für Materialwert nach geplanter Novelle BBodSchV (MantelV, 2017) in *WF* 2 - Eluaten.





7.3 CD-Rom Anhang

7.3.1 Probenahmeprotokolle und Korngrößenverteilungen

Ordner Entnahmestellenplan_PN-Protokolle: Probenahmeprotokolle als pdf-Dateien, Lageplan als pdf-Datei.

7.3.2 Messdaten 59 Rückstellproben und 50 neu beschaffte Proben

Excel-Worksheets mit allen Messdaten und Probennummern: 59LUBW_Messdaten.xls, 50neueProben_Messdaten.xls.

7.3.3 Einstufung der Proben

Excel-Worksheets mit allen Materialeinstufungen vgl. Beispiel in Tabelle 15:

59LUBW_Einstufung.xls

50neueProben_Einstufung.xls

50neueProben_EinstufungEluateimmermaßgeblich.xls

Um die Auswertungen nachhalten zu können werden Excel-Worksheets bereitgestellt. Die Auswertung erfolgte für jede Kombination aus Methode (Feststoffanalytik, *WF*-10 Schütteleluat, *WF* 2-Schütteleluat, Säulenversuch und Regelung (LAGA TR Boden Z0/Z0*, VwV Boden Z0/Z0*IIIA/Z0*, BBodSchV BM-0/BM-0*/BM0* in sensiblen Gebieten) mittels einer zeilenweise Bewertung der Zulässigkeiten einer Probe, aus welchen dann die Verwertungsquoten ausgezählt werden. Zur Einschätzung der Bedeutung des TOC-Grenzwertes wurde jeweils mit und ohne Berücksichtigung des TOC bewertet. Für die Novelle BBodSchV wurde zudem unterschieden, ob der Sulfatwert als Grenzwert fungiert oder nicht und ob die Regelung zu Tabelle 4 in Anlage 1 der Novelle BBodSchV greift, nach der die Eluatwerte für BM-0* nur dann maßgeblich sind, wenn die jeweiligen einfachen Vorsorgewerte tatsächlich überschritten sind (vgl. WS: 50neueProben_EinstufungEluateimmermaßgeblich.xls)