



Das Lebensministerium



Untersuchung Bodenmaterial

Bericht zur Auswertung analytischer Daten zu Unterböden
und Bodenaushub

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

Impressum

Bericht zur Auswertung analytischer Daten zu Unterböden und Bodenaushub



Titelbild:
Aufbringung Bodenmaterial
Foto: Dr. habil. Dieter Hiller

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Öffentlichkeitsarbeit
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
E-Mail: Abteilung1LfUG@smul.sachsen.de (kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)

Bearbeiter:
Bernd Opitz, Rico Slosarek, Christiane Sanllorente,
Referat Abfallwirtschaft
Heiko Ihling Referat Grundwasser, Altlasten
Abteilung Wasser / Abfall

Dr. Ingo Müller, Referat Bodenschutz
Kati Kardel, Günter Rank, Referat Bodenkartierung,
Geochemie
Abteilung Natur, Landschaft, Boden

Redaktionsschluss: Mai 2007

Hinweis:
Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Veröffentlichung nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme des Landesamtes zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden kann. Den Parteien ist es gestattet, die Veröffentlichung zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Copyright:
Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind dem Herausgeber vorbehalten.

Juni 2007

L III-4/4-2

Diese Veröffentlichung ist ausschließlich als Download unter www.umwelt.sachsen.de/lfug verfügbar.



Inhaltsverzeichnis	Seite
1	Bodenmaterial 8
1.1	Uneingeschränkter Einbau / bodenähnliche Anwendungen 8
1.1.1	Einordnung der Böden im FS Sachsen in Z-Klassen nach TR Boden -neu- 8
1.1.2	Schadstoffkonzentrationen im Feststoff und Eluat in Böden sächsischer Bodenbelastungsgebiete 18
1.1.2.1	Allgemeines 18
1.1.2.2	Datenkollektiv Elbaue 22
1.1.2.3	Datenkollektiv Auen der Freiburger Mulde 25
1.1.2.4	Datenkollektiv Auen der Vereinigten Mulde 28
1.1.2.5	Datenkollektiv Auen der Zschopau 31
1.1.2.6	Datenkollektiv Belastungsgebiet Schneeberg/Aue 34
1.1.2.7	Datenkollektiv Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf 37
1.1.2.8	Datenkollektiv Belastungsgebiet Freiberg 40
1.1.2.9	Vergleich des Datenkollektivs Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung 43
1.2	Eingeschränkter Einbau / Technische Bauwerke 46
1.2.1	Datenrecherche / Datenerfassung 46
1.2.2	Datenauswertung / Bewertung 47
2	Zusammenfassung Technische Bauwerke 66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusätzliche Einschränkungen in der Verwertung durch Anwendung der Eluatanforderungen	20
Abbildung 2: Prozentuale Verteilung der Zuordnung von Analysen Feststoff/Eluat im Vergleich TR Boden -at- und TR Boden -neu-	48
Abbildung 3: Verteilung des erfassten Mengenanteils Bodenmaterial in die Einbauklassen nach TR Boden -alt- und -neu-	49
Abbildung 4: Vergleich der Einbauklassen nach TR Boden -neu- bei Feststoffbewertung und Feststoff/Eluat-Bewertung	50
Abbildung 5: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im FS Sachsen	55
Abbildung 6: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im RB Leipzig	56
Abbildung 7: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im RB Chemnitz	57
Abbildung 8: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im RB Dresden	58
Abbildung 9: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im FS Sachsen	59
Abbildung 10: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im RB Leipzig	60
Abbildung 11: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im RB Chemnitz	61
Abbildung 12: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im RB Dresden	62
Abbildung 13: Eluatanalysen Elektrische Leitfähigkeit im Bodenmaterial aus dem RB Leipzig	63
Abbildung 14: Eluatanalysen Cadmium im Bodenmaterial aus dem RB Leipzig	64
Abbildung 15: Eluatanalysen Arsen im Bodenmaterial aus dem RB Chemnitz	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flächenanteile der Stoffkonzentrationen nach Zuordnungswerten LAGA TR im FS Sachsen	10
Tabelle 2: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen	13
Tabelle 3: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen	14
Tabelle 4: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen	15
Tabelle 5: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen	16
Tabelle 6: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen	17
Tabelle 7: Einordnung der Stoffkonzentrationen von 3173 Bodenproben aus Belastungsgebieten Sachsens nach LAGA TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]	18
Tabelle 8: Statistischen Beziehungen zwischen Konzentrationen von Unterbodenproben im Feststoff und im Eluat.	21
Tabelle 9: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in der Elbaue (n=553)	22
Tabelle 10: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in der Elbaue nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]	22
Tabelle 11: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in der Elbaue nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	23

Tabelle 12: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in der Elbaue nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]	23
Tabelle 13: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in der Elbaue nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%].....	24
Tabelle 14: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden; n=98)	25
Tabelle 15: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	25
Tabelle 16: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	26
Tabelle 17: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	26
Tabelle 18: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	27
Tabelle 19: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden; n=605)	28
Tabelle 20: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	28
Tabelle 21: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%].....	29
Tabelle 22: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	29
Tabelle 23: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	30
Tabelle 24: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in Auen der Zschopau (Unterböden; n=68).....	31
Tabelle 25: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	31
Tabelle 26: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	32
Tabelle 27: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	32
Tabelle 28: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	33
Tabelle 29: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Schneeberg/Aue (Unterböden; n=338).....	34
Tabelle 30: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	34

Tabelle 31: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%].....	35
Tabelle 32: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	35
Tabelle 33: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%].....	35
Tabelle 34: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden; n=381).....	37
Tabelle 35: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	38
Tabelle 36: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%].....	38
Tabelle 37: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%].....	38
Tabelle 38: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%].....	39
Tabelle 39: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden; n=610)	40
Tabelle 40: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]	41
Tabelle 41: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	41
Tabelle 42: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]	42
Tabelle 43: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]	42
Tabelle 44: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Freiberg im Vergleich zu Hilbersdorf, Halsbrücke und Kleinschirma (Unterböden).....	44
Tabelle 45: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil des gesamten Kollektivs [%].....	44
Tabelle 46: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil des gesamten Kollektivs [%].....	45
Tabelle 47: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff und Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil des gesamten Kollektivs [%].....	45

Tabelle 48: Anzahl Analysenbericht mit der Anzahl der untersuchten Bodenmaterialproben und Mengen nach Regierungsbezirken [RB] und FS Sachsen gesamt	46
Tabelle 49: Prozentuale Verteilung der Zuordnungsklassen bei der Bewertung von Analysen im Feststoff nach TR Boden -alt- und TR Boden -neu-.....	47
Tabelle 50: Prozentuale Verteilung der Zuordnungsklassen bei der Bewertung von Analysen im Eluat nach TR Boden -alt- und TR Boden -neu-	47
Tabelle 51: Analysenwerte Eluat für Bodenmaterial im Vergleich zu den Z-Werten (Eluat) TR Boden -neu-.....	51
Tabelle 52: Analysenwerte Eluat für Bodenmaterial im Vergleich zu den Z-Werten (Eluat) TR Boden -alt-.....	51
Tabelle 53: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Sulfat Eluat in Sachsen und in den Regierungsbezirken.....	52
Tabelle 54: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Cyanid (ges.) Eluat in Sachsen und in den Regierungsbezirken.....	53
Tabelle 55: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Elektrische Leitfähigkeit im Regierungsbezirk Leipzig	53
Tabelle 56: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Cadmium Eluat im Regierungsbezirk Leipzig.....	54
Tabelle 57: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Arsen Eluat im Regierungsbezirk Chemnitz.....	54

1 Bodenmaterial

1.1 Uneingeschränkter Einbau / bodenähnliche Anwendungen

1.1.1 Einordnung der Böden im FS Sachsen in Z-Klassen nach TR Boden -neu-

Datenbestand Feststoffgehalte

Durch Untersuchungen im Rahmen des Bodenmessprogramms des LfUG und der Einbeziehung von validierten Daten aus anderen Behörden, Hochschulen, Ing.-büros usw. liegen (elementabhängig) bis zu ca. 7.000 Analysen aus dem Bereich des sog. Unterbodens vor. Die Tiefe der beprobten Bodenhorizonte ist nutzungsabhängig und kann i. d. R. mit 0,20 m bis 0,60 m angegeben werden. Es handelt sich dabei um fast ausschließlich natürliche, nicht anthropogen veränderte Bodenhorizonte („gewachsene“ Böden). Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Proben mit einer anderen Zielstellung entnommen wurden und somit nicht exakt der LAGA-Definition für Bodenmaterial entsprechen. Dieser Datenbestand bietet jedoch die Möglichkeit, flächendeckend für Sachsen, den Stoffbestand des obersten Teils des Unterbodens darzustellen und Bereiche mit besonders hohen Elementkonzentrationen abzugrenzen.

Hintergrundwerte Feststoffgehalte Unterboden

Der Hintergrundgehalt der natürlichen Böden wird i. W. durch den geogenen Grundgehalt des Substrats (Chemismus des Ausgangsgesteins) bestimmt, der auch die Prozesse der Stoffakkumulation durch lagerstättenbildende Prozesse (z. B. im Erzgebirge/Vogtland) umfasst. Durch zusätzliche ubiquitäre Einträge kann dieser geogene Stoffanteil erhöht sein, was aber vor allem auf Oberböden, weniger auf die Unterbodenhorizonte zutrifft.

Die Berechnung der substrat- und nutzungsbezogenen Hintergrundwerte (HGW) für Unterböden (Tabelle 2 - 6) basiert auf den Untersuchungen des Bodenmessnetzes Sachsen, Raster 4x4 km, und den Bodenmessnetzen im Raster 1x1 km (ges. ca. 2.500 Proben). Die Ergebnisse der Sondermessnetze aus den Bergbauregionen und des Auenmessprogramms, als regionale Belastungsgebiete, gingen dabei nicht ein. Die HGW der Elementgehalte für die Unterböden werden als 50. Perzentil (Medianwert, P 50) und 90. Perzentil (P 90) für die Nutzungsarten Acker, Grünland und Forst angegeben. Als HGW wird i. A. und in den folgenden Betrachtungen der Wert des P 90 verstanden.

- Arsen
Aus geologisch-metallogenetischer Sicht gilt das Erzgebirge/Vogtland als „Arsenprovinz“, d. h. Lagerstätten und Gesteine der Region besitzen außergewöhnlich hohe geogene As-Gehalte. Die Böden über Festgesteinen, über Rotliegendensedimenten und z. T. über Löss sind relativ As-reich. Der HGW P 90 liegt für Unterböden dieser Substrate i. d. R. über dem Zuordnungswert Z 0*. Böden über periglaziären sandigen/lehmigen Substraten besitzen HGW <Z 0*.
- Cadmium, Kupfer, Blei
Die HGW aller Unterböden liegen unterhalb Z 0*, wobei die Böden über den Festgesteinen (meist Lehme/Schluffe) deutlich höher HGW aufweisen.

- **Chrom, Nickel**
Die basischen Ausgangsgesteine (z. B. Diabase, Serpentine, Basalte, Amphibolite) sind aus geochemischer Sicht Cr- und Ni-spezialisiert. Die HGW der Unterböden über diesen Substraten weisen dadurch erhöhte Gehalte auf, die meist über $Z 0^*$ liegen. Die Unterböden über sauren Substraten, Löss und Sand besitzen deutlich niedrigere Gehalte.
- **Quecksilber**
Die HGW aller Unterböden besitzen Gehalte $< Z 0^*$. Bei sandigen und sandig-lehmigen Substraten wird z. T. der $Z 0$ Wert erreicht.
- **Thallium**
Die HGW von Unterböden über sauren Festgesteinen weisen häufig höhere Gehalte auf. Die stark erhöhten TI-Gehalte in Böden über Granit widerspiegeln die geochemische Spezialisierung des Ausgangsgesteins.
- **Zink**
Der $Z 0^*$ -Wert wird von den HGW der Unterböden nicht überschritten. Erhöhte HGW im Gehaltsniveau von $Z 0$ (Lehm/Schluff) finden sich vor allem über Ausgangsgesteinen von basischen Magmatiten sowie Tonschiefer und Phyllit im Erzgebirge/Vogtland.

Karten der Feststoffgehalte im Unterboden, Maßstab 1:400 000

Die Karten der geschätzten Elementgehalte wurden mit den geostatistischen Methoden KRIGING bzw. Inversdistanzgewichtung (IDW) unter Verwendung der Originalwerte berechnet und anschließend mit einer Abstufung nach den Zuordnungswerten der LAGA TR Boden klassifiziert.

Bei den Analyseergebnissen der Elemente Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn handelt es sich um Königswasserextrakte (KW) bzw. in KW umgerechnete Totalgehalte. Die Umrechnung erfolgte nach den Empfehlungen von Utermann u. a. (2000)¹⁾. Totalgehalte von As und TI wurden mit den Faktoren 0,8 bzw. 0,7 in KW-Gehalte umgerechnet (Untersuchungen des LfUG).

Zur Interpolation wurde ein Einwirkradius von 6000 m bzw. die Einbeziehung von 9 benachbarten Punkten festgelegt. Die Parameter richten sich nach der Probendichte, welche im ungünstigsten Fall 4 x 4 km beträgt. Die Interpolation erfolgte über alle Nutzungen hinweg. Die Gehalte in den größeren Auen wurden separat interpoliert. Die Anwendung von KRIGING bzw. IDW richtete sich nach der Probenanzahl bzw. Probenverteilung. Die Elementkarten mit vielen und unregelmäßig verteilten Proben wurden mit KRIGING (As, Cr, Cu, Ni, Pb, TI, Zn) interpoliert. Die Karten der Elemente Cd und Hg wurden mit IDW erstellt. Die Probenanzahl in den Kartendarstellungen ist elementabhängig und schwankt von ca. 3000 (Hg) bis 7000 Proben (Pb).

Das Verbreitungsgebiet von großflächig auftretenden sandigen Substraten ist in der Karte mit einer gepunkteten Signatur hinterlegt.

1) Utermann, J., Düwel, O., Gäbler, H.-E. & Hindel, R (2000): Beziehungen zwischen Totalgehalten und königswasserextrahierbaren Gehalten von Schwermetallen in Böden. – In: Rosenkranz u. a. (Hrsg.) Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden und Grundwasser, 1600. – 36 S.; Schmidt Verlag Berlin.

Da für die meisten Stadtgebiete nur Einzelwerte von bestimmten Nutzungen (z. B. Kleingärten) vorliegen, wurden die größeren Stadtgebiete abgedeckt.

Die Abstufung für Z 0 Ton ist aus der Legende herausgenommen, da in Sachsen flächendeckend keine tonigen Substrate auftreten.

Bei der Verwendung und Interpretation der Karteninhalte ist zu beachten, dass sich die Proben u. U. nicht punktgenau wieder finden lassen, da sie durch Interpolation mit den umgebenden Proben verrechnet wurden. Die Kartendarstellungen im Maßstab 1:400 000 dient lediglich der Übersicht zu einer groben Abschätzung der Feststoffgehalte. Eine Gebietsabgrenzung für den Vollzug lässt sich in diesem Maßstab nicht durchführen.

In der Tabelle 1 sind die prozentualen Anteile der einzelnen Klassen der Zuordnungswerte an der Gesamtfläche Sachsens aufgeführt. Es handelt sich hierbei nur um Richtwerte, da durch die Interpolationsmethoden (starker Einfluss von hohen Einzelwerten, die Schätzung als solche) Ungenauigkeiten auftreten. Es betrifft vor allem die Anteile < 1 %. Die Summe der einzelnen Klassen ergibt keine 100%, da in den Karten noch optisch kaum sichtbare Bereiche mit NODATA vorhanden sind.

Generell kommt auch in den Flächenanteilen die Arsen- und Thalliumspezialisierung der Böden des Erzgebirges zum Ausdruck (erhöhte HGW). Für alle anderen Elemente liegen im Durchschnitt mehr als 98% der Landesfläche unter dem Z0*-Wert.

Tabelle 1: Flächenanteile der Stoffkonzentrationen nach Zuordnungswerten LAGA TR im FS Sachsen

Element	< Z0*	> Z0* < Z1	> Z1 < Z2	> Z2
Arsen	68,1	25,5	5,3	0,9
Blei	98,2	0,6	0,8	0,2
Cadmium	97,8	1,4	0,4	0,1
Chrom	99,2	0,3	0,1	-
Kupfer	98,9	0,7	0,2	-
Nickel	98,4	0,6	0,4	0,3
Thallium	89,6	9,8	0,4	-
Quecksilber	99,4	0,2	-	-
Zink	98,8	0,6	0,4	-

Gebiete mit erhöhten Stoffkonzentrationen im Unterboden (Gehalte $>Z 0^*$):

- **Arsen**
Auf Grund der As-Führung der polymetallischen Lagerstätten, der Zinnlagerstätten und der geochemischen As-Spezialisierung der Gesteine, finden sich in den Unterböden im Erzgebirge/Vogtland flächenhaft stark erhöhte As-Gehalte, die teilweise auch in den äolischen Sedimenten (Löss), aber in geringerer Konzentration, auftreten können. Die Auenböden des Muldensystems sind stark, die Elbaue weniger mit As belast.
- **Blei, Cadmium**
Eine hervorgehobene Position nimmt das Bergbau- und Hüttengebiet um Halsbrücke– Freiberg – Brand-Erbisdorf ein, welches sich in abgeschwächter Form bei Pb weiter nach Südosten Richtung Altenberg erstreckt. Lokale Überschreitungen weisen ebenfalls die Böden in den Bergbaugebieten um Annaberg und Marienberg auf. Aufgrund geogener und anthropogener Prozesse im Osterzgebirge treten in den Auenböden der Freiburger Mulde und der Vereinigten Mulde hohe Pb- und Cd-Belastungen auf. In der Aue der Zwickauer Mulde und der Elbe dominiert Cd.
- **Chrom, Nickel**
Die Überschreitungen von $Z 0^*$ werden durch die geogene Cr-Ni-Spezialisierung der basischen Magmatite verursacht (Serpentinite Mittelsachsens, vogtländische Diabase). Punktförmige anomal hohe Gehalte werden durch kleine, bis an die Erdoberfläche aufragende Gesteinskörper verursacht (z. B. nördlich Chemnitz). Es existieren noch weitere derartige kleine Aufragungen, die aber auf Grund des Probenrasters nicht erfasst wurden (z. B. St. Egidien).
- **Kupfer**
Kleinräumige Überschreitungen finden sich in den Bergbaugebieten (Freiberg, Ehrenfriedersdorf), die i. W. geogen verursacht werden. Als Sediment und Abtragungsprodukt gelangen die Böden und Gesteine aus den Bergbaugebieten in die Vorfluter des Muldensystems. Die geogen erhöhten Cu-Gehalte in den Diabasen des Vogtlandes werden quasi in die Verwitterungsböden vererbt.
- **Quecksilber**
Überschreitungen der $Z 0^*$ -Werte finden sich nur in den Auenböden der Elbaue.
- **Thallium**
Der $Z 0^*$ -Wert wird im Erzgebirge/Vogtland relativ häufig überschritten. Ursache ist die petrogeochemische Spezialisierung der Granitoide (z. B. Eibenstocker Granit) und in abgeschwächter Form der sauren Metamorphite. Erhöhte Gehalte finden sich in den Auenböden der Vorfluter, insbesondere der Zwickauer und der Vereinigten Mulde.
- **Zink**
Gebiete mit erhöhten Stoffkonzentrationen finden sich vor allem Bergbau- und Hüttengebiet um Freiberg. Deutliche Zn-Anreicherungen besitzen die Auenböden der Freiburger und Vereinigten Mulde. Die Elbaue zeigt räumlich begrenzte Anomalien nordwestlich vom Stadtgebiet Dresden.

Datenbestand Eluatgehalte

Flächendeckende Untersuchungen zu den S4-Eluaten der Unterböden Sachsens wurden entsprechend den Aufgabestellungen des Bodenmessprogramms nicht durchgeführt. Erst bei der Untersuchung der belasteten Bergbaugelände und der belasteten Auen des Mulden-Systems und der Elbe wurde das Untersuchungsprogramm auf S4-Eluate (DIN 38 414 (S4)) teilweise erweitert.

Tabelle 2: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen

Anorganische Stoffe^{1,2}

Ausgangsgestein: Basische Magmatite, Metamorphite (Basalt, Phonolith, Diabas, Amphibolit); Bodenart i. W. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden³⁾																				
Typ O 50. P.	27	6,4	57	2,1	0,13	0,14	44	34	460	0,05	0,89	900	53	18	-	0,24	2,1	170	1,3	66
90. P.		19	110	3,2	0,27	0,35	115	51	810	0,08	1,7	1300	160	46	-	0,48	2,8	280	2,7	105
Grünland Unterboden³⁾																				
Typ O 50. P.	11	3,8	59	1,4	0,21	0,16	36	23	420	0,05	0,74	730	23	11	-	0,32	1,9	140	1,4	57
90. P.		13	-	-	-	0,36	220	34	700	0,10	-	1700	360	51	-	-	-	-	-	94
Wald/Forst Unterboden³⁾																				
Typ O 50. P.	18	7,7	27	2,0	0,14	0,14	59	20	380	0,05	0,63	1100	40	18	-	0,33	1,9	130	1,5	74
90. P.		14	-	-	-	0,36	170	45	660	0,24	-	1800	150	75	-	-	-	-	-	160

Ausgangsgestein: Mäßig saure Magmatite, Metamorphite (Paragneis, Granodiorit, Monzonit, Granulit); Bodenart i. W. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	64	12	47	2,1	0,20	0,42	32	19	420	0,06	0,48	580	18	40	-	0,54	2,2	68	1,6	67
90. P.		36	74	3,7	0,55	0,72	49	36	650	0,13	0,99	1200	32	94	-	0,96	2,9	90	4,1	140
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	51	17	46	2,2	0,25	0,40	31	17	400	0,06	0,52	560	18	42	-	0,55	2,3	73	2,3	68
90. P.		30	74	3,7	0,94	0,72	51	32	610	0,17	0,85	830	32	83	-	0,98	3,5	92	5,2	120
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	68	11	36	2,2	0,2	0,44	32	13	360	0,06	0,90	470	16	42	-	0,51	2,5	66	1,9	56
90. P.		51	79	3,5	0,59	0,58	56	25	560	0,17	1,6	1000	34	95	-	0,84	5,6	94	6,7	110

¹ Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bodenmessnetze Raster 4 km x 4 km und 1 km x 1 km

KW-Gehalte (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) aus Totalgehalten berechnet nach UTERMANN et al., 2000; As, Tl Faktor 0,8 bzw. 0,7

² Typ O = ohne Gebietsdifferenzierung

³ Unterboden: ca. 20 bis 60 cm Tiefe, nutzungsabhängig

*) n<20 – Hintergrundwerte statistisch nicht gesichert, Gehaltsangaben besitzen orientierenden Charakter, P 90 z. T. nicht bestimmbar

Tabelle 3: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen

Anorganische Stoffe^{1,2}

Ausgangsgestein: Tonschiefer, Phyllit, Glimmerschiefer, Grauwacke; Bodenart i. W. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	59	11	48	2,7	0,24	0,31	44	23	490	0,08	0,70	840	30	33	-	0,48	2,5	110	2,3	91
90. P.		30	58	4,6	0,42	0,66	72	41	740	0,20	2,3	1700	51	58	-	0,66	3,2	180	4,3	140
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	55	11	72	2,8	0,26	0,38	46	21	520	0,08	0,57	830	27	38	-	0,48	2,5	120	2,3	83
90. P.		26	100	4,7	0,48	0,90	65	44	760	0,20	0,93	1600	43	59	-	0,65	3,1	150	5,6	110
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	64	16	78	3,4	0,42	0,34	46	23	620	0,10	0,67	670	27	38	-	0,53	2,7	100	2,5	91
90. P.		58	130	4,5	2,3	0,90	61	48	840	0,20	2,0	1500	45	77	-	0,91	3,8	140	5,6	150

Ausgangsgestein: Extrem saure Magmatite, Metamorphite (Granit, Rhyolith, Metagranit, Metarhyolith); Bodenart i. W. Sand, z. T. Lehm Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	14	17	45	2,9	0,37	0,44	22	12	560	0,04	0,74	290	10	29	-	0,98	2,9	43	5,5	47
90. P.		38	59	7,2	2,0	0,62	44	35	1500	0,07	2,5	780	26	80	-	2,2	5,2	85	14	83
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	23	22	44	3,3	0,56	0,38	16	13	640	0,08	0,67	500	10	53	-	1,1	3,5	43	5,0	59
90. P.		43	140	7,1	2,6	0,65	31	24	1500	0,17	1,3	820	16	91	-	3,1	7,1	70	13	100
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	39	13	42	2,2	0,53	0,30	21	7,0	540	0,07	0,50	300	6,6	39	-	0,91	3,0	34	3,6	46
90. P.		30	100	13	4,7	0,73	37	14	3800	0,16	1,3	800	17	81	-	2,9	4,5	53	13	100

Tabelle 4: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen

Anorganische Stoffe^{1,2}

Ausgangsgestein : Sandsteine (Kreide); Bodenart i. W. Sand

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	4	6,4	58	1,4	0,16	0,23	11	12	320	0,04	0,46	460	15	31	-	0,39	2,0	54	1,4	37
90. P.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	1	6,4	43	1,7	0,21	0,17	1,8	12	320	0,07	0,41	230	12	42	-	0,41	2,2	66	1,4	39
90. P.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	21	6,4	29	0,77	0,12	<0,10	8,0	3,4	210	0,04	0,36	120	4,2	30	-	0,29	1,7	35	1,1	22
90. P.		8,8	57	1,4	0,16	0,30	16	8,7	390	0,16	0,58	370	13	51	-	0,43	2,3	54	2,0	53

Ausgangsgestein: Rotsedimente (Rotliegend); Bodenart i. W. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	35	11	50	2,0	0,28	0,11	22	14	400	0,04	0,49	760	25	25	-	0,48	2,4	69	2,0	79
90. P.		26	64	2,6	0,41	0,30	33	30	500	0,11	0,79	1500	36	54	-	0,61	2,5	93	3,1	100
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	25	11	70	2,1	0,21	0,14	23	17	390	0,05	0,48	700	28	16	-	0,42	2,5	74	1,6	69
90. P.		24	-	-	-	0,61	34	22	580	0,16	-	1000	41	30	-	-	-	-	-	-
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	18	8,8	63	1,8	0,20	<0,10	16	7,0	290	0,06	0,44	530	12	12	-	0,43	2,5	53	2,2	34
90. P.		34	-	-	-	0,12	27	20	560	0,20	-	900	31	27	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen

Anorganische Stoffe^{1,2}

Ausgangsgestein: Äolische Sedimente: Löss; Bodenart i. W. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	250	5,4	46	1,5	0,12	0,14	18	10	320	0,05	0,41	440	13	27	-	0,38	2,1	55	1,2	41
90. P.		12	63	1,9	0,17	0,30	27	16	420	0,09	0,62	730	21	38	-	0,43	2,5	69	1,7	53
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	80	6,4	49	1,6	0,13	0,14	22	11	330	0,08	0,45	440	15	28	-	0,38	2,2	58	1,3	43
90. P.		21	70	1,8	0,21	0,37	33	22	480	0,13	0,59	930	28	40	-	0,45	2,5	74	1,9	59
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	33	6,1	45	1,2	0,11	<0,10	17	5,8	260	0,05	0,40	280	11	21	-	0,36	2,0	48	1,2	35
90. P.		9,6	63	1,8	0,18	0,22	23	14	400	0,08	0,68	580	18	43	-	0,43	2,5	59	1,6	50

Ausgangsgestein: Äolische Sedimente: Sandlöss; Bodenart i. W. Sand, z. T. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	111	5,4	34	1,3	0,12	0,18	13	9,9	250	0,04	0,31	410	13	26	-	0,34	1,6	41	0,90	26
90. P.		11	52	1,6	0,14	0,38	23	17	350	0,09	0,49	660	23	43	-	0,41	2,1	57	1,2	34
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	15	3,2	35	1,3	0,12	0,12	10	6,6	230	0,03	0,32	310	8,9	30	-	0,33	1,4	40	0,91	26
90. P.		7,6	63	1,8	0,16	0,41	22	14	380	0,12	0,42	530	22	36	-	0,38	2,2	45	1,1	37
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	17	4,0	32	1,2	0,11	0,12	11	4,5	200	0,07	0,38	370	6,8	30	-	0,36	1,7	36	1,0	24
90. P.		13	38	1,4	0,16	0,26	21	12	300	0,14	0,54	620	19	53	-	0,41	2,5	50	1,4	33

Tabelle 6: Hintergrundwerte für Böden - Freistaat Sachsen

Anorganische Stoffe^{1,2}

Ausgangsgestein : Periglaziäre Sedimente: Sand; Bodenart i. W. Sand

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	36	3,2	15	1,0	0,12	0,11	6,5	4,0	150	0,03	0,18	100	2,9	14	-	0,29	0,71	19	0,44	13
90. P.		8,8	33	1,7	0,23	0,19	14	10	300	0,07	0,45	270	8,2	28	-	0,38	1,6	51	1,1	44
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	27	2,4	15	0,68	0,12	<0,10	5,7	1,8	160	0,03	0,16	62	4,0	10	-	0,25	0,59	12	0,34	8,7
90. P.		4,2	27	1,2	0,14	0,23	10	5,0	250	0,07	0,21	170	11	21	-	0,34	1,2	23	0,55	20
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	91	3,1	11	0,51	0,12	<0,10	4,0	1,8	130	0,03	0,15	64	2,9	6,7	-	0,20	0,52	12	0,26	11
90. P.		12	24	1,0	0,13	0,22	9,5	5,0	200	0,10	0,29	160	10	13	-	0,32	0,97	22	0,65	21

Ausgangsgestein: Periglaziäre Sedimente: (Sand-)Lehm; Bodenart i. W. Sand, z. T. Lehm/Schluff

Totalgehalte u. KW-Extrakte mg/kg	n*)	As KW	B	Be	Bi	Cd KW	Cr KW	Cu KW	F	Hg KW	Mo	Mn	Ni KW	Pb KW	Th	Tl KW	U	V	W	Zn KW
Acker Unterboden																				
Typ O 50. P.	61	3,6	23	1,0	0,12	0,14	8,7	6,4	210	0,04	0,29	240	7,9	17	-	0,31	1,1	28	0,72	22
90. P.		11	45	1,7	0,16	0,36	21	13	360	0,09	0,48	430	21	36	-	0,38	1,8	61	1,2	36
Grünland Unterboden																				
Typ O 50. P.	11	6,8	26	1,1	0,12	0,10	7,0	5,0	190	0,04	0,20	160	3,6	21	-	0,27	1,2	18	0,81	26
90. P.		11	53	2,1	0,16	0,18	16	21	490	0,16	0,40	520	13	33	-	0,53	1,8	30	1,5	52
Wald/Forst Unterboden																				
Typ O 50. P.	20	2,6	15	0,51	0,12	<0,10	5,7	1,9	160	0,03	0,19	85	4,0	19	-	0,24	0,81	14	0,48	12
90. P.		10	27	0,73	0,15	0,24	12	5,3	220	0,08	0,41	190	11	38	-	0,34	1,2	30	0,92	23

1.1.2 Schadstoffkonzentrationen im Feststoff und Eluat in Böden sächsischer Bodenbelastungsgebiete

1.1.2.1 Allgemeines

Datenlage

Für Bodenproben aus vornehmlich belasteten Bereichen (Auen der Elbe, Freiburger und Vereinigten Mulde und Zschopau sowie durch Vererzungen, Bergbau- und Hüttentätigkeit belastete Bereiche um Freiberg, Schneeberg/Aue und Ehrenfriedersdorf) liegen neben Daten von Untersuchungen zur den Schadstoffkonzentrationen im Feststoff auch Daten von Untersuchungen im Eluat vor. Die Eluatuntersuchungen beschränkten sich vorwiegend auf die Unterbodenhorizonte. Da auch die Verwertung von Bodenaushub vornehmlich auf Unterböden beschränkt ist, konzentrieren sich die Auswertungen auf die Proben der Unterböden. Die Tiefe der beprobten Schicht lag in der Regel zwischen 20 und 60 cm, 25% der Proben erreichten eine Tiefe von 80 cm, nur 10% der Proben wurden bis in eine Tiefe von 110 cm entnommen. Insgesamt liegen Untersuchungen zu Feststoff- und Eluatkonzentrationen an 3173 Proben von Unterböden vor. Diese Proben verteilen sich auf die Bodenarten und Bodennutzungen wie folgt:

Bodenarten: Sand: 28,4% Lehm/Schluff: 69,0% Ton: 2,6

Nutzungen: Acker: 40,8% Grünland: 36,6% Forst: 20,6%

Übergreifende Betrachtungen

Bei der Auswertung des Datenpools hat sich gezeigt, dass hinsichtlich der unterschiedlichen Elemente mit erhöhten Konzentrationen die einzelnen Gebiete der Auen und der Belastungsgebiete im Erzgebirge getrennt auszuwerten sind. Daher werden vorab nur einige wenige übergreifende Auswertungen dargestellt, die den gesamten Datenbestand charakterisieren sollen.

Insgesamt ist festzustellen, dass nach Einstufung der untersuchten Böden nach LAGA TR Boden vom 05.11.2004 eine mögliche Verwertung vornehmlich durch die Höhe der Schadstoffkonzentrationen im Feststoff eingeschränkt wird (Tabelle 7).

Tabelle 7: Einordnung der Stoffkonzentrationen von 3173 Bodenproben aus Belastungsgebieten Sachsens nach LAGA TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

Feststoff	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
		12,7	6,1	31,6	25,4
Eluat	Z0/Z0*		Z1.2	Z2	>Z2
	57,2		13,1	14,6	15,1
Gesamt	12,7 (10,3) [#]	5,5	29,7	25,1	27,0

[#] Bei Bodenproben mit Feststoffgehalten unter Z0 ist nach derzeitiger Regelung der LAGA TR Boden keine zusätzliche Eluatuntersuchung erforderlich, hier aber der Vollständigkeit halber aufgeführt (vgl. Abb. 1)

Demnach könnten 12,7 % der untersuchten Böden ohne Einschränkungen verwertet werden (Zuordnung Z0 und Z0*). Die Konzentrationen im Eluat allein erlaubten hingegen auch in diesen Belastungsgebieten für den überwiegenden Teil der Proben eine uneingeschränkte

Verwertung (Z0/Z0*). Bei gemeinsamer Betrachtung von Feststoff und Eluat zeigt sich, dass sich im Vergleich zur reinen Betrachtung der Anforderungen an den Feststoff nur eine geringe Änderung in den Verwertungsklassen ergibt. In 92,7 % der Fälle bestimmen die Feststoffgehalte die Verwertungsklasse, nur in 7,3 % der Fälle sind die Proben aufgrund der Eluatuntersuchung in eine höhere Klasse einzustufen. Insgesamt würden etwa 3 % der Proben zusätzlich aus der Verwertung ausgeschlossen.

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, haben die Eluatanforderungen allerdings bei Betrachtung der Zuordnungsklassen als Teilkollektive erhebliche Verschiebungen im Hinblick auf weitergehende Einschränkungen in der Verwertung zur Folge. So erfahren etwa 10 % der Proben mit der Zuordnung Z0* (Feststoffkonzentrationen) bei Anwendung der Eluatanforderungen eine Einschränkung in der Verwertung, in Einzelfällen sogar einen Ausschluss aus der Verwertung. Während ein Großteil der Proben aus den Belastungsgebieten ein geringes Elutionsverhalten zeigt, finden sich bei Teilen erhöhte Eluatkonzentrationen, die eine Verwertung nur unter Auflagen zulassen. Daher können die stofflichen Anforderungen an eine Verwertung von Bodenmaterial nicht allein anhand der Feststoffkonzentrationen beurteilt werden. Als ein Nebenaspekt wurde beobachtet, dass auch bei Bodenproben mit Feststoffgehalten unterhalb Z0, bei denen die LAGA TR Boden keine Eluatuntersuchungen fordert, sich in den Belastungsgebieten dennoch in 19 % der Fälle eine höhere Zuordnungsklasse ergeben würde, wenn Eluatuntersuchungen zusätzlich zur Beurteilung herangezogen würden.

Zusammenfassend kann daher gefolgert werden, dass in den betrachteten Belastungsgebieten Sachsens ohne die Ausnahmeregelungen, welche die LAGA TR Boden eröffnet, eine geregelte Verwertung von Bodenmaterial nur selten möglich sein würde. Wie die nachfolgende Auswertung der einzelnen Gebiete zeigt, sind die zu treffenden Ausnahmeregelungen regional stark zu differenzieren. Dieses gilt im Hinblick auf die dort anzutreffenden regionalen Hintergrundwerte sowohl für die Konzentration im Feststoff, als auch für einzelne Regionen im Eluat. Eine Ableitung regionaler Hintergrundwerte für die betrachteten Belastungsgebiete für mögliche Ausnahmeregelungen bedarf zudem noch einer weitergehenden Auswertung und bodenschutzfachlichen Beurteilung. Zum einen ist vorab eine konkrete Gebietsabgrenzung vorzunehmen; ob darüber hinaus eine feinere räumliche Differenzierung innerhalb dieser Belastungsgebiete notwendig ist, kann nur eine maßstabsabhängige geostatistische Betrachtung ergeben. Zum anderen wäre zu prüfen, ob die für die Ableitung von Hintergrundwerten übliche Heranziehung des 90. Perzentils auch für Belastungsgebiete zielführend ist. Hintergrundwerte geben Auskunft über die ubiquitäre, quellenunabhängige Schadstoffsituation – üblicherweise in einem Konzentrationsbereich, der eine uneingeschränkte multifunktionale Nutzung des Bodens einschließt. In den Belastungsgebieten wäre zu entscheiden, ob die Grenze zu den obersten 10% der Messwerte die tatsächliche Belastungssituation des Gebietes treffend wiedergibt und der Orientierung für eine Verwertung von anfallendem Bodenmaterial dienen kann. In einigen Regionen wäre aufgrund der sehr hohen Konzentrationen in diese Überlegungen auch der bodenschutzrechtliche Aspekt der Gefahrenbeurteilung und ggf. –abwehr aufzunehmen.

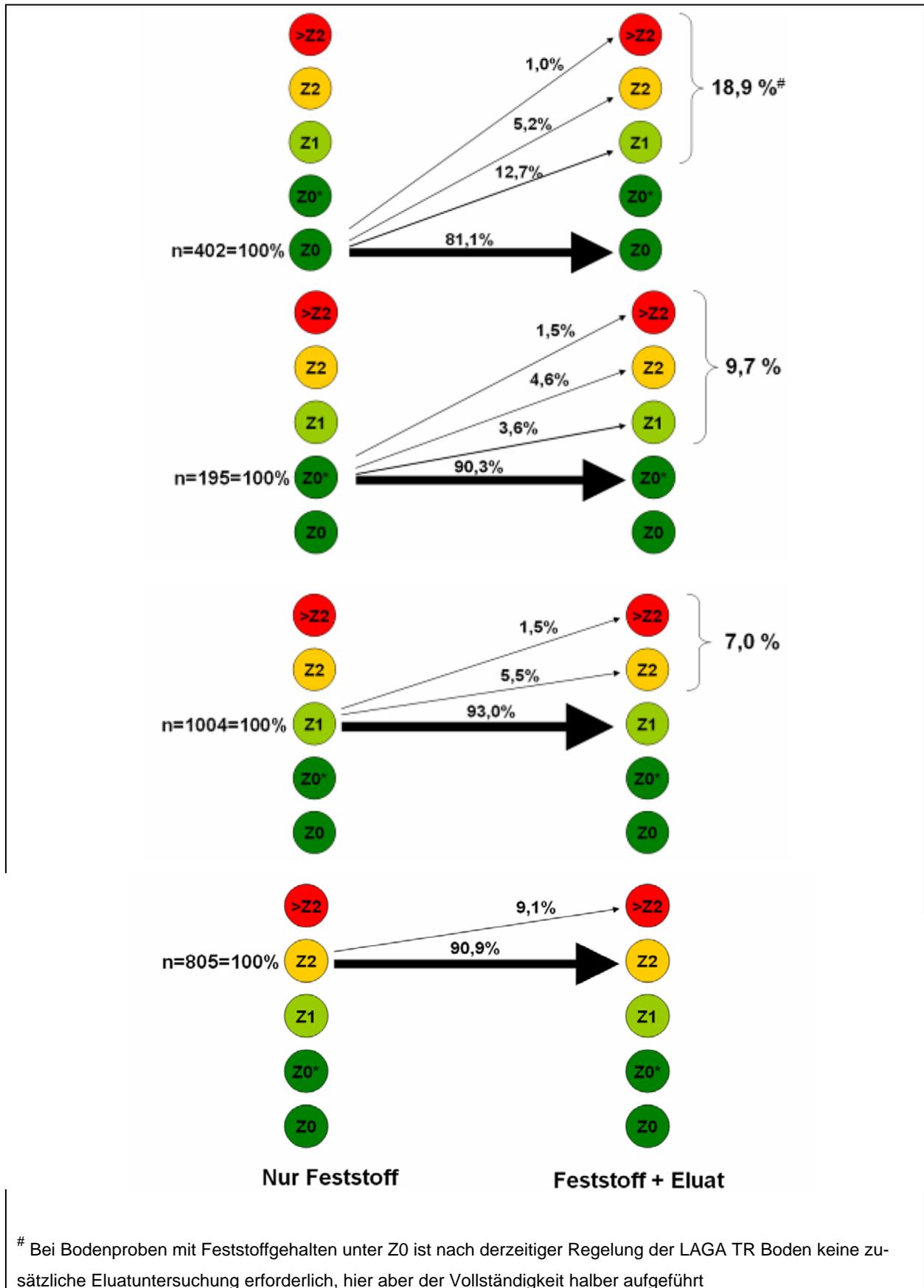


Abbildung 1: Wechsel der Zuordnungsklassen durch Anwendung der Eluatanforderungen

Ein weiterer Aspekt, der regional übergreifend betrachtet werden kann, ist die Einordnung der untersuchten Bodenproben anhand des Parameters pH-Wert. Die LAGA TR Boden erlaubt als niedrigsten pH-Wert für eine uneingeschränkte Verwertung einen pH von 6,5. Von den untersuchten Forstböden unterschreiten mehr 99%, von den Grünlandböden mehr als 90% und von den Ackerböden immerhin noch mehr als 75% diesen Wert. Sicherlich ist anzunehmen, dass mit steigender Bodentiefe beim Bodenaushub Bereiche erreicht werden, in denen sich die Säureeinträge weniger gravierend bemerkbar machen. Dennoch sollte dieser Aspekt zukünftig genauer betrachtet werden.

Eine enge statistische Beziehung zwischen den Konzentrationen im Feststoff und denen im Eluat konnte nicht beobachtet werden (Tab. 8), auch nicht für einzelne regionale Teilgebiete oder bei eingeschränkter Betrachtung von Proben mit Konzentrationen größer Z0*.

Tabelle 8: Statistische Beziehungen zwischen Konzentrationen von Unterbodenproben im Feststoff und im Eluat.

	Alle Unterböden			Unterböden mit Konzentrationen (Feststoff und Eluat) >Z0*		
	R ²	R ² (inkl pH) ^a	n	R ²	R ² (inkl pH) ^a	n
As	0,274	0,274	3173	0,258	0,256	806
Cd	0,063	0,070	3173	0,031	0,125	439
Pb	0,215	0,237	3173	0,234	0,263	169
Tl	0,001	0,030	609	0,077	0,181	117

^a bei zusätzlichem Einbezug des pH-Wertes als Erklärende

Auch durch Einbezug des pH-Wertes als eine der wesentlichen Steuergrößen der Schwermetallmobilität wurden die Beziehungen zur Eluatkonzentration nur marginal verbessert. Auch durch Anwendung nichtparametrischer Zusammenhangmaße wie Rangkorrelationen kann keine Verbesserung der statistischen Zusammenhangmaße erzielt werden. Insgesamt ist damit zu folgern, dass für die untersuchten Proben keine eindeutige Beziehung zwischen Feststoff- und Eluatkonzentration zugrunde gelegt werden kann. Einschränkend muss angeführt werden, dass aufgrund der regionalen Konzentration der Proben auf das Erzgebirge und die Auen der dieses Gebiet entwässernden Gewässer die Einstufung in die Verwertungsklassen durch das Element Arsen dominiert wird.

Insgesamt sprechen die Auswertungen dafür, aus Sicht des Bodenschutzes die separaten Anforderungen an Konzentrationen im Feststoff einerseits und im Eluat andererseits aufrecht zu halten.

Nachfolgend sind die separaten Einzelauswertungen zu den Datenkollektiven der Belastungsgebiete dargestellt.

1.1.2.2 Datenkollektiv Elbaue

Dieses Kollektiv enthält 553 Proben, davon 8 Oberbodenproben und 5 C-Horizonte (A/C-Profile). Da keine systematischen Unterschiede erkennbar waren, wurden alle Proben in die Betrachtung einbezogen.

Tabelle 9: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in der Elbaue (n=553)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	24,0	18,0	52,6	76,0
KW-Cd [mg/kg]	1,08	0,56	3,06	4,70
KW-Hg [mg/kg]	0,59	0,23	1,80	2,73
KW-Pb [mg/kg]	56,8	38,0	150	170
KW-Tl [mg/kg]	0,38	0,25	0,72	0,85
S4-As [µg/l]	4,34	1,10	14,8	21,6
S4-Cd [µg/l]	0,20	0,05	0,25	0,47
S4-Cr [µg/l]	1,67	1,40	3,30	4,50
S4-Cu [µg/l]	7,09	4,30	18,4	23,2
S4-Hg [µg/l]	0,027	0,025	0,025	0,025
S4-Ni [µg/l]	3,06	2,20	5,10	6,79
S4-Pb [µg/l]	1,84	1,20	3,56	4,93
S4-Zn [µg/l]	24,5	10,9	33,6	50,7

Tabelle 10: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in der Elbaue nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	32,4	9,8	45,4	12,3	0,2
Cd	61,5	14,6	13,9	9,9	-
Hg	49,5	33,3	5,2	11,8	0,2
Pb	69,4	20,3	9,0	1,3	-
Tl	84,6	4,2	11,2	-	-
Gesamt	21,0	19,0	43,6	16,3	0,2

Tabelle 11: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in der Elbaue nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
Sand (41,8%)	15,6	44,6	29,4	10,4	-
Schluff/Lehm (55,8%)	24,3	0,6	53,7	21,0	0,3
Ton (2,4%)	38,5	-	53,8	7,7	-
Nutzung					
Grünland (47,0%)	6,5	14,6	47,3	31,2	0,4
Acker (46,8%)	36,7	22,4	39,4	1,5	-
Forst (6,1%)	11,8	26,5	47,1	14,7	-

kursiv: geringe Probenanzahl, daher unsicher

Tabelle 12: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in der Elbaue nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	89,9	3,8	6,1	0,2
Cd	98,7	0,4	0,7	0,2
Cr	100	0	0	0
Cu	92,4	7,6	0	0
Hg	100	0	0	0
Ni	98,4	0,7	0,7	0,2
Pb	100	0	0	0
Zn	99,1	0,4	0,4	0,2
Gesamt	85,9	6,5	7,2	0,4

Tabelle 13: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in der Elbaue nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart				
Sand (41,8%)	87,4	5,6	6,5	0,4
Schluff/Lehm (55,8%)	85,1	7,4	7,4	0
Ton (2,4%)	76,9	0	15,4	7,7
Nutzung				
Grünland (47,0%)	75,4	11,5	13,1	0
Acker (46,8%)	96,9	1,5	1,2	0,4
Forst (6,1%)	82,4	5,9	8,8	2,9

kursiv: geringe Probenanzahl, daher unsicher

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As, Cd, Hg, (Tl)

Eluat: (As)

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Feststoff: 40,0 % der Proben

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Eluat: 85,9 % der Proben

„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 39,1 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Feststoff: 0,2 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Eluat: 0,4 % der Proben

„nicht“ verwertbar n. Anforderungen Feststoff und Eluat: 0,5 % der Proben

Extreme Belastungen, die eine Verwertung völlig ausschliessen, finden sich nur in Einzelfällen. Trotz der regelmäßig erhöhten Gesamtgehalte zeigt ein Großteil der Proben eine geringe Eluierbarkeit der Schadstoffe. Dabei unterscheiden sich die Bodenarten hinsichtlich ihrer Einstufung sowohl im Feststoff, als auch im Eluat kaum. Geringere Konzentrationen im Feststoff wie im Eluat finden sich regelmäßig unter Ackernutzung, während Unterböden bei Grünland- oder Forstnutzung eher zu höheren Konzentrationen neigen. Die Beziehungen zwischen den Messwerten der Feststoff- und Eluatkonzentration der Bodenproben aus der Elbaue sind mit $r^2=0,39$ (As), $r^2=0,01$ (Cd) und $r^2=0,07$ (Pb) recht gering.

1.1.2.3 Datenkollektiv Auen der Freiberger Mulde

Das Kollektiv umfasst 206 Proben, davon 108 Oberbodenproben und 98 B-Horizonte. Da systematische Unterschiede erkennbar sind, wurden nur Proben der Unterböden einbezogen.

Tabelle 14: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in Auen der Freiberger Mulde (Unterböden; n=98)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	253	100	592	1010
KW-Cd [mg/kg]	2,74	0,63	7,70	15,2
KW-Cu [mg/kg]	67,0	31,0	174	242
KW-Pb [mg/kg]	462	170	1360	2005
KW-Tl [mg/kg]	0,35	0,26	0,73	1,21
KW-Zn [mg/kg]	381	205	1010	1405
S4-As [µg/l]	47,7	23,5	141	181
S4-Cd [µg/l]	2,06	0,25	6,53	9,32
S4-Cr [µg/l]	-	-	-	-
S4-Cu [µg/l]	37,9	26,5	75,0	101
S4-Hg [µg/l]	-	-	-	-
S4-Ni [µg/l]	-	-	-	-
S4-Pb [µg/l]	53,1	24,5	180	243
S4-Zn [µg/l]	123	55,0	374	526

Tabelle 15: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Freiberger Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	15,3	-	20,4	25,5	38,8
Cd	54,1	4,1	19,4	16,3	6,1
Cu	54,1	17,3	10,2	17,3	1,0
Pb	27,6	19,4	8,2	23,5	21,4
Tl	80,6	8,2	11,2	-	-
Zn	32,7	32,7	6,1	25,5	3,1
Gesamt	13,3	1,0	21,1	25,5	38,8

Tabelle 16: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
Sand (38,8%)	-	2,8	5,6	27,8	63,9
Schluff/Lehm (60,2%)	21,3	-	29,5	24,6	24,6
Ton (1%)	-	-	-	-	-
Nutzung					
Grünland (67,3%)	8,1	-	19,4	24,2	48,4
Acker (31,6%)	21,2	3,0	27,3	30,3	18,2
Forst (-)	-	-	-	-	-

kursiv: geringe oder keine Probenanzahl, daher unsicher bzw. keine Angabe

Tabelle 17: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	41,8	5,1	23,5	29,6
Pb	70,4	11,2	11,2	7,1
Cd	73,5	10,2	5,1	11,2
Cr	-	-	-	-
Cu	36,7	48,0	11,2	4,1
Ni	-	-	-	-
Hg	-	-	-	-
Zn	75,5	4,1	16,3	4,1
Gesamt	20,4	20,4	24,5	34,7

Tabelle 18: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Freiburger Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart				
Sand (38,8%)	2,8	11,1	27,8	58,3
Schluff/Lehm (60,2%)	31,1	26,2	21,3	21,3
<i>Ton (1%)</i>	-	-	-	-
Nutzung				
Grünland (67,3%)	12,9	24,2	17,7	45,2
Acker (31,6%)	30,3	15,2	39,4	15,2
Forst (-)	-	-	-	-

kursiv: zu geringe Probenanzahl

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As, Cd, Cu, Pb, Zn, TI / Eluat: As, Cd, Cu, Pb, Zn

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen **Feststoff:** 13,3 % der Proben

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen **Eluat:** 20,4 % der Proben

„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 7,1 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen **Feststoff:** 38,8 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen **Eluat:** 34,7 % der Proben

„nicht“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 43,9 % der Proben

Für die Auen der Freiburger Mulde ergibt die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration ein ähnliches Bild. So scheiden über 40% der untersuchten Böden bei Zugrundelegung der Feststoff- wie Eluat-Anforderungen der TR Boden (>Z2) derzeit für eine Verwertung völlig aus. Demnach sind in den Auen der Freiburger Mulde regional sowohl die Feststoff- als auch die Eluatkonzentrationen deutlich erhöht. Dabei finden sich höhere Konzentrationen eher auf Sandböden wieder und bei Unterscheidung der Nutzungen eher auf Grünlandflächen. Aufgrund der sehr hohen Gehalte wäre bei einer Regelung im Hinblick auf Ausnahmen von der TR Boden auch die Gefahrenbeurteilung und -abwehr nach Bodenschutzrecht zu berücksichtigen. Im Kollektiv der Freiburger Mulde findet sich teilweise eine recht enge Beziehung zwischen den Konzentrationen im Feststoff und denen im Eluat in der Reihe Cd ($r^2=0,75$) > As ($r^2=0,52$) > Pb ($r^2=0,42$); für TI konnte hingegen keinerlei Zusammenhang beobachtet werden ($r^2=0,002$).

1.1.2.4 Datenkollektiv Auen der Vereinigten Mulde

Das Kollektiv umfasst 632 Proben, davon 27 Oberbodenproben und 605 B-Horizonte. Da systematische Unterschiede erkennbar sind, wurden nur Proben der Unterböden einbezogen.

Tabelle 19: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden; n=605)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	195	147	446	546
KW-Cd [mg/kg]	7,89	3,85	22,5	28,3
KW-Pb [mg/kg]	409	303	925	1208
KW-Tl [mg/kg]	0,70	0,67	1,20	1,40
S4-As [µg/l]	20,6	14,9	44,2	56,3
S4-Cd [µg/l]	12,7	2,5	20,8	43,6
S4-Cr [µg/l]	3,45	1,80	7,86	12,01
S4-Cu [µg/l]	36,3	24,6	73,9	90,5
S4-Hg [µg/l]	0,030	0,025	0,025	0,060
S4-Ni [µg/l]	27,3	8,80	39,4	69,4
S4-Pb [µg/l]	8,57	5,70	15,9	22,0
S4-Zn [µg/l]	752	135	1024	1674

Tabelle 20: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	2,1	2,0	11,1	35,8	49,0
Cd	11,7	9,9	22,1	29,0	27,2
Pb	9,7	15,8	10,2	46,5	17,7
Tl	41,7	11,6	45,7	1,0	-
Gesamt	1,8	2,0	11,2	27,6	57,4

Tabelle 21: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
Sand (60,2%)	2,7	3,3	9,6	33,0	51,4
Schluff/Lehm (39,2%)	-	-	13,5	19,4	67,1
Ton (0,6%)	-	-	-	-	-
Nutzung					
Grünland (57,9%)	0,3	0,3	3,2	19,9	76,4
Acker (30,1%)	4,4	3,8	27,9	45,9	18,0
Forst (11,8%)	2,8	5,6	4,2	16,9	70,4

kursiv: geringe oder keine Probenanzahl, daher unsicher bzw. keine Angabe

Tabelle 22: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	48,2	13,0	34,8	4,0
Pb	98,7	1,2	-	0,2
Cd	40,6	12,5	14,9	32,0
Cr	96,4	3,5	-	0,2
Cu	43,9	40,3	12,2	3,6
Ni	64,2	8,4	22,8	4,6
Hg	100	-	-	-
Zn	52,1	5,4	24,8	17,7
Gesamt	28,9	11,1	24,4	35,6

Tabelle 23: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Vereinigten Mulde (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart				
Sand (60,2%)	26,6	13,2	27,7	32,6
Schluff/Lehm (39,2%)	32,1	8,0	19,8	40,1
<i>Ton (0,6%)</i>	-	-	-	-
Nutzung				
Grünland (57,9%)	6,6	10,7	31,7	51,0
Acker (30,1%)	77,6	10,9	9,3	2,2
Forst (11,8%)	9,9	12,7	28,2	49,3

kursiv: zu geringe Probenanzahl

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As, Cd, Pb, Tl / Eluat: As, Cd, Cu, Ni, Zn

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Feststoff:	4,0 % der Proben
„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Eluat:	28,9 % der Proben
„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat:	3,5 % der Proben
„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Feststoff:	57,4 % der Proben
„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Eluat:	35,6 % der Proben
„nicht“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat:	61,9 % der Proben

Die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration ergibt für die Auen der Vereinigten Mulde, dass bei teils sehr hohen Feststoffkonzentrationen dennoch Teile der Böden die Anforderungen an die Eluatkonzentrationen erfüllen. Allerdings scheiden mehr als die Hälfte der untersuchten Böden bei Zugrundelegung der Feststoffanforderungen der TR Boden (>Z2) derzeit für eine Verwertung völlig aus. Unterschiede bei der Einstufung zwischen den Bodenarten lassen sich nicht erkennen, allerdings finden sich nutzungsabhängige Unterschiede: unter Grünland- oder Forstnutzung werden höhere Gehalte sowohl im Feststoff, als auch im Eluat gefunden. Aufgrund der sehr hohen Gehalte wäre bei einer Regelung im Hinblick auf Ausnahmen von der TR Boden auch die Gefahrenbeurteilung und -abwehr nach Bodenschutzrecht zu berücksichtigen. Zwischen den Konzentrationen im Feststoff und denen im Eluat wurde für das Kollektiv „Auen der Vereinigten Mulde“ kein statistischer Zusammenhang gefunden (r^2 : 0,05 bis 0,06).

1.1.2.5 Datenkollektiv Auen der Zschopau

Das Kollektiv umfasst 141 Proben, davon 90 Oberbodenproben und 68 B-Horizonte. Da systematische Unterschiede erkennbar sind, wurden nur Proben der Unterböden einbezogen.

Tabelle 24: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen in Auen der Zschopau (Unterböden; n=68)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	307	225	790	923
KW-Cd [mg/kg]	0,66	0,45	1,30	2,26
KW-Cu [mg/kg]	45,1	42,0	89,5	100
KW-Pb [mg/kg]	74,4	71,0	140	171
KW_Tl [mg/kg]	0,30	0,31	0,70	0,80
KW-Zn [mg/kg]	195	195	282	357
S4-As [µg/l]	88,7	18,5	254	411
S4-Cd [µg/l]	0,38	0,25	0,69	1,44
S4-Cu [µg/l]	24,0	21,5	51,0	58,1
S4-Tl [µg/l]	0,90	0,50	2,12	2,51
S4-Pb [µg/l]	14,7	7,8	26,1	53,6
S4-Zn [µg/l]	68,5	34,0	123	338

Tabelle 25: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	1,3	1,3	16,0	22,7	58,7
Cd	62,7	26,7	9,3	1,3	-
Cu	41,3	49,3	8,0	1,3	-
Pb	48,0	45,3	6,7	-	-
Tl	81,3	13,3	5,3	-	-
Zn	20,0	74,7	4,0	1,3	-
Gesamt	1,3	1,3	16,0	22,7	58,7

Tabelle 26: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
Sand (55,9%)	-	2,4	17,7	24,4	56,1
Schluff/Lehm (27,9%)	4,3	-	21,7	26,1	47,8
Ton (16,2%)	-	-	-	9,1	90,9
Nutzung					
Grünland (58,8%)	2,2	-	15,2	23,9	58,7
Acker (38,2%)	-	-	18,5	22,2	59,3
Forst (2,9%)	-	-	-	-	-

kursiv: geringe oder keine Probenanzahl, daher unsicher bzw. keine Angabe

Tabelle 27: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	46,7	5,3	17,3	30,7
Pb	94,7	2,7	2,7	-
Cd	96,0	4,0	-	-
Cr				
Cu	52,0	46,7	1,3	-
Ni				
Hg				
Zn	93,3	1,3	4,0	1,3
Gesamt	29,3	18,7	20,0	32,0

Tabelle 28: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) in Auen der Zschopau (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart				
Sand (55,9%)	31,7	14,6	17,1	36,6
Schluff/Lehm (27,9%)	34,8	26,1	26,1	13,0
<i>Ton (16,2%)</i>	<i>9,1</i>	<i>18,2</i>	<i>18,2</i>	<i>54,5</i>
Nutzung				
Grünland (58,8%)	21,7	19,6	28,3	30,4
Acker (38,2%)	40,7	18,5	3,7	37,0
<i>Forst (2,9%)</i>	-	-	-	-

kursiv: zu geringe Probenanzahl

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As, Cd, Cu, Pb / Eluat: As, Cu

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Feststoff:	2,6 % der Proben
„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Eluat:	29,3 % der Proben
„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat:	1,3 % der Proben
„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Feststoff:	58,7 % der Proben
„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Eluat:	32,0 % der Proben
„nicht“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat:	58,7 % der Proben

Die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration ergibt für die Auen der Zschopau ein mit der Vereinigten Mulde vergleichbares Bild. Die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration ergibt, dass bei teils sehr hohen Feststoffkonzentrationen dennoch Teile der Böden die Anforderungen an die Eluatkonzentrationen erfüllen. Allerdings scheiden etwa 60% der untersuchten Böden bei Zugrundelegung der Feststoffanforderungen der TR Boden (>Z2) derzeit für eine Verwertung völlig aus. Unterschiede bei der Einstufung zwischen den Bodenarten oder Nutzungen lassen sich nicht erkennen. Aufgrund der sehr hohen Gehalte wäre bei einer Regelung im Hinblick auf Ausnahmen von der TR Boden auch die Gefahrenbeurteilung und -abwehr nach Bodenschutzrecht zu berücksichtigen. Für das Datenkollektiv „Auen der Zschopau“ findet sich im Hinblick auf die Konzentrationen im Feststoff und denen im Eluat ein mäßiger Zusammenhang für die Elemente As ($r^2=0,30$) und Cd ($r^2=0,36$), aber kaum ein bzw. kein Zusammenhang für Pb ($r^2=0,13$) bzw. Tl ($r^2=0,01$).

1.1.2.6 Datenkollektiv Belastungsgebiet Schneeberg/Aue

Das Kollektiv umfasst 683 Proben, davon 345 Oberbodenproben und 338 B-Horizonte. Da systematische Unterschiede erkennbar sind, wurden nur die 338 Proben der Unterböden einbezogen.

Tabelle 29: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Schneeberg/Aue (Unterböden; n=338)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	78,8	50,7	158	227
KW-Cd [mg/kg]	0,35	0,19	0,57	0,97
KW-Cu [mg/kg]	34,0	27,7	61,7	73,5
KW-Cr [mg/kg]	69,4	70,0	93,0	104
KW-Ni [mg/kg]	36,1	34,0	55,8	66,1
KW-Pb [mg/kg]	57,7	35,4	111	173
KW-Zn [mg/kg]	140	110	244	341
S4-As [µg/l]	10,6	2,70	27,5	47,2
S4-Cd [µg/l]	0,83	0,53	1,50	2,28
S4-Pb [µg/l]	31,6	8,3	66,6	131

Tabelle 30: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Schneeberg/Aue (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	12,4	1,2	32,0	42,9	11,5
Cd	92,3	3,3	3,3	1,2	-
Cu	66,3	29,9	2,7	1,2	-
Cr	29,0	69,2	1,8	-	-
Ni	72,2	26,9	0,9	-	-
Pb	70,7	22,5	3,6	3,3	-
Zn	64,5	29,9	3,6	1,8	0,3
Gesamt	4,1	9,5	31,7	43,2	11,5

Tabelle 31: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
Sand (16,6%)	-	8,9	19,6	50,0	21,4
Schluff/Lehm (82,5%)	4,3	9,7	34,4	41,9	9,7
Ton (0,9%)	-	-	-	-	-
Nutzung					
Grünland (30,2%)	2,0	11,8	29,4	47,1	9,8
Acker (18,0%)	-	11,5	42,6	34,4	11,5
Forst (49,1%)	7,2	7,8	30,1	42,8	12,0

kursiv: geringe oder keine Probenanzahl, daher unsicher bzw. keine Angabe

Tabelle 32: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	81,1	5,6	10,7	2,7
Pb	83,4	7,4	5,6	3,6
Cd	90,2	8,0	1,2	0,6
Gesamt	59,5	17,8	16,3	6,5

Tabelle 33: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Schneeberg/ Aue (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart				
Sand (16,6%)	53,6	23,2	14,3	8,9
Schluff/Lehm (82,5%)	60,6	16,8	16,5	6,1
Ton (0,9%)	-	-	-	-
Nutzung				
Grünland (30,2%)	55,9	15,7	22,5	5,9
Acker (18,0%)	57,4	19,7	18,0	4,9
Forst (49,1%)	64,5	18,1	12,0	5,4

kursiv: zu geringe Probenanzahl

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As

Eluat: As

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Feststoff: 13,6 % der Proben

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Eluat: 59,5 % der Proben

„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 10,4 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Feststoff: 11,5 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Eluat: 6,5 % der Proben

„nicht“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 15,4 % der Proben

Die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration von Proben aus dem Belastungsgebiet Schneeberg / Aue zeigt, dass eine Verwertung vornehmlich aufgrund des Feststoffs von As eingeschränkt ist. Extreme Belastungen, die eine Verwertung völlig ausschließen, sind in etwa 15% der untersuchten Böden gefunden worden. Dabei sind keine erheblichen Unterschiede zwischen den Bodenarten oder Nutzungen erkennbar. Ein statistischer Zusammenhang zwischen den Gehalten im Feststoff und denen im Eluat konnte für das Kollektiv „Schneeberg/Aue“ allenfalls für As ($r^2=0,26$) gefunden werden.

1.1.2.7 Datenkollektiv Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf

Das Kollektiv umfasst 778 Proben, davon 397 Oberbodenproben und 381 B-Horizonte. Da systematische Unterschiede erkennbar sind, wurden nur die 381 Proben der Unterböden einbezogen. Informationen zu den Bodenarten lagen nicht vor, daher wurde als Hauptbodenartgruppe für alle Proben *Lehm* festgelegt (Braunerden und Podsole aus Hanglehm).

Tabelle 34: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden; n=381)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	398	158	922	1514
KW-Cd [mg/kg]	0,37	0,25	0,58	1,06
KW-Cu [mg/kg]	44,6	31,7	76,3	107
KW-Cr [mg/kg]	54,5	55,2	66,3	71,9
KW-Hg [mg/kg]	0,103	0,100	0,100	0,146
KW-Ni [mg/kg]	20,1	19,2	31,5	36,7
KW-Pb [mg/kg]	77,9	41,0	110	147
KW-TI* [mg/kg]	0,60	0,48	1,04	1,32
KW-Zn [mg/kg]	145	108	237	357
S4-As [µg/l]	139	12,0	275	536
S4-Cd [µg/l]	1,66	0,92	3,23	5,58
S4-Pb [µg/l]	40,7	8,5	76,4	127
S4-TI [µg/l]	0,32	0,25	0,56	0,75

* KW-TI berechnet aus Totalgehalten

Tabelle 35: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	1,6	-	7,9	39,4	51,2
Cd	95,0	-	4,2	0,8	-
Cu	65,1	25,7	6,3	2,4	0,5
Cr	70,9	29,1	-	-	-
Hg	100	-	-	-	-
Ni	98,4	1,6	-	-	-
Pb	78,0	16,3	2,4	2,4	1,0
Tl	73,5	-	26,0	0,5	-
Zn	72,7	21,3	2,1	3,4	0,5
Gesamt	1,0	0,5	7,9	39,1	51,4

Tabelle 36: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
entfällt, da allen Proben die Bodenart „Lehm“ zugeordnet wurde					
Nutzung					
Grünland (23,4%)	1,1	-	7,9	29,2	61,8
Acker (16,0%)	1,6	-	11,5	63,9	23,0
Forst (58,8%)	0,4	0,9	6,7	37,1	54,9

Tabelle 37: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	57,0	6,8	12,9	23,4
Pb	80,3	10,0	6,6	3,1
Cd	72,1	16,5	6,8	4,2
Gesamt	42,0	15,2	16,0	26,8

Tabelle 38: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart	entfällt, da allen Proben die Bodenart „Lehm“ zugeordnet wurde			
Nutzung				
Grünland (30,2%)	28,1	22,5	15,7	33,7
Acker (18,0%)	77,0	16,4	1,6	4,9
Forst (49,1%)	38,8	12,5	20,1	28,6

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As, (Cu), (Pb), (Tl), (Zn)

Eluat: As, (Cd), (Pb)

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen **Feststoff:** 1,5 % der Proben

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen **Eluat:** 40,7 % der Proben

„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 1,0 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen **Feststoff:** 51,4 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen **Eluat:** 26,8 % der Proben

„nicht“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 57,7 % der Proben

Die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration von Proben aus dem Belastungsgebiet Ehrenfriedersdorf zeigt, dass eine Verwertung vornehmlich aufgrund der Feststoff- und Eluatkonzentrationen von As eingeschränkt ist. In sauren Forstböden kann zudem auch die Eluatkonzentration von Cd die Verwertung einschränken. Geringere Eluatkonzentrationen finden sich – weitestgehend pH-bedingt- in den Böden unter Ackernutzung.

Insgesamt scheiden mehr als 50% der untersuchten Böden bei Zugrundelegung der Feststoffanforderungen der TR Boden (>Z2) derzeit für eine Verwertung völlig aus. Aufgrund der sehr hohen Gehalte wäre bei einer Regelung im Hinblick auf Ausnahmen von der TR Boden auch die Gefahrenbeurteilung und -abwehr nach Bodenschutzrecht zu berücksichtigen. Schwache Korrelationen zwischen den Gehalten im Feststoff und denen im Eluat für das Datenkollektiv „Ehrenfriedersdorf“ finden sich für As ($r^2=0,31$) und für Cd (0,17).

1.1.2.8 Datenkollektiv Belastungsgebiet Freiberg

Das Kollektiv (ohne Hilbersdorf, Halsbrücke bzw. Kleinwaltersdorf als unbelastetes Vergleichskollektiv) umfasst 616 Proben, davon 6 Oberbodenproben und 610 B-Horizonte. Um systematische Fehler auszuschließen, wurden nur die 610 Proben der Unterböden einbezogen.

Tabelle 39: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden; n=610)

	Mittelwert	Median	90. Perzentil	95. Perzentil
KW-As [mg/kg]	109	26,0	149	389
KW-Cd [mg/kg]	0,80	0,22	1,30	2,95
KW-Cu [mg/kg]	30,6	14,0	41,9	75,2
KW-Pb [mg/kg]	236	47,5	359	774
KW-Tl [mg/kg]	0,53	0,46	0,92	1,10
KW-Zn [mg/kg]	179	92,0	297	463
S4-As [µg/l]	19,2	2,50	22,0	44,1
S4-Cd [µg/l]	0,77	0,25	1,29	2,09
S4-Cr [µg/l]	5,66	2,90	16,3	19,7
S4-Cu [µg/l]	7,19	5,40	14,9	18,9
S4-Hg [µg/l]	0,025	0,025	0,025	0,025
S4-Ni [µg/l]	5,94	3,20	13,4	20,3
S4-Pb [µg/l]	33,3	9,8	52,9	91,7
S4-Zn [µg/l]	64,2	33,8	128	219

Tabelle 40: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
As	24,9	0,8	45,2	19,3	9,7
Cd	85,6	2,1	7,7	3,9	0,7
Cu	86,6	8,9	2,1	1,8	0,7
Cr	100	-	-	-	-
Hg	100	-	-	-	-
Ni	100	-	-	-	-
Pb	59,8	18,9	6,2	9,5	5,6
Tl	75,4	5,4	18,7	0,3	0,2
Zn	68,0	22,5	4,4	4,4	0,7
Gesamt	22,5	2,0	45,6	20,2	10,0

Tabelle 41: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
Bodenart					
Sand (14,3%)	1,1	9,2	43,7	25,3	20,7
Schluff/Lehm (77,7%)	24,1	0,4	47,3	20,3	8,2
Ton (8,0%)	44,9	4,1	30,6	12,2	8,2
Nutzung					
Grünland (28,2%)	16,3	1,7	50,0	22,1	9,9
Acker (51,6%)	27,0	2,9	46,3	17,1	6,7
Forst (15,1%)	25,0	-	38,0	25,0	12,0

kursiv: unsicher, geringe Probenanzahl

Tabelle 42: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
As	86,7	2,6	6,7	3,9
Pb	85,4	8,5	3,0	3,1
Cd	92,5	4,6	2,3	0,7
Cr	95,9	3,4	0,5	0,2
Cu	99,2	0,8	-	-
Ni	97,9	0,7	1,5	-
Hg	100	-	-	-
Zn	98,2	0,3	1,3	0,2
Gesamt	71,6	11,1	10,8	6,4

Tabelle 43: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg (Unterböden) nach TR Boden untergliedert nach Bodenart und Nutzung; Angabe als relativer Anteil [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
Bodenart				
Sand (14,3%)	66,7	4,6	11,5	17,2
Schluff/Lehm (77,7%)	72,2	12,7	10,5	4,6
Ton (8,0%)	75,5	8,2	12,2	4,1
Nutzung				
Grünland (28,2%)	75,6	7,0	10,5	7,0
Acker (51,6%)	80,0	12,1	5,7	2,2
Forst (15,1%)	44,6	19,6	23,9	12,0

kursiv: unsicher, geringe Probenanzahl

Hauptproblemelemente:

Feststoff: As, (Cd), (Pb), Tl, (Zn)

Eluat: (As), (Pb)

Vergleich der Zuordnung der Bodenproben im Hinblick auf eine Verwertung gemäß LAGA TR Boden zwischen Feststoff und Eluat:

„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Feststoff:	24,5 % der Proben
„frei“ (Z0/Z0*) verwertbar nach Anforderungen Eluat:	71,6 % der Proben
„frei“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat:	18,9 % der Proben
„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Feststoff:	10,0 % der Proben

„nicht“ (>Z2) verwertbar nach Anforderungen Eluat: 6,4 % der Proben
„nicht“ verwertbar nach Anforderungen Feststoff und Eluat: 11,6 % der Proben

Die Einstufung der Feststoff- und Eluatkonzentration von Proben aus dem Belastungsgebiet Freiberg zeigt, dass eine Verwertung vornehmlich aufgrund der Feststoffkonzentrationen von As und Tl eingeschränkt ist. Sandige Böden und Böden unter forstlicher Nutzung zeigen oftmals höhere Konzentrationen als die übrigen Bodenarten bzw. -nutzungen. Insgesamt scheiden etwa 10% der untersuchten Böden bei Zugrundelegung der Feststoffanforderungen der TR Boden (>Z2) derzeit für eine Verwertung völlig aus. Für das Datenkollektiv „Freiberg“ findet sich lediglich für Pb ($r^2=0,35$) und As (0,17) ein nennenswerter Zusammenhang zwischen den Konzentrationen im Feststoff und denen im Eluat.

1.1.2.9 Vergleich des Datenkollektivs Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung

Teilkollektive (nur Unterböden):

Freiberg (FG)	n=610 (Vererzungen, Bergbau- und Hüttentätigkeit, Immissionen)
Hilbersdorf (HIL)	n=188 (vornehmlich Hüttentätigkeit und Immissionen)
Halsbrücke (HLB)	n=126 (vornehmlich Hüttentätigkeit und Immissionen)
Kleinschirma (KLS)	n=103 (eher unbelastetes Vergleichsgebiet)

Tabelle 44: Statistische Kennzahlen der Stoffkonzentrationen im Belastungsgebiet Freiberg im Vergleich zu Hilbersdorf, Halsbrücke und Kleinschirma (Unterböden)

		Mittel	Median	90. Perz.	95. Perz.
KW-As [mg/kg]	FG	109	26,0	149	389
	HIL	98,0	32,0	171	338
	HLB	72,3	24,0	91,5	150
	KLS	21,0	19,0	30,2	43,0
KW-Pb [mg/kg]	FG	236	47,5	359	774
	HIL	231	81,5	579	762
	HLB	192	59,0	260	498
	KLS	66,7	53,0	134	146
KW-Tl [mg/kg]	FG	0,53	0,46	0,92	1,10
	HIL	0,42	0,39	0,71	0,99
	HLB	0,46	0,36	0,71	1,00
	KLS	0,50	0,45	0,71	0,96
S4-As [µg/l]	FG	19,2	2,50	22,0	44,1
	HIL	12,9	2,40	13,6	93,6
	HLB	23,8	3,50	13,9	21,3
	KLS	2,34	1,30	3,36	6,34
S4-Pb [µg/l]	FG	33,3	9,8	52,9	91,7
	HIL	68,4	14,3	218	341
	HLB	68,2	37,2	122	163
	KLS	27,5	20,7	47,2	71,4

Tabelle 45: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff) im Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil des gesamten Kollektivs [%]

	Z0	Z0*	Z1	Z2	>Z2
FG	22,5	2,0	45,4	20,2	10,2
HIL	7,4	7,4	49,5	22,9	12,8
HLB	22,2	-	54,8	18,3	4,8
KLS	25,2	4,9	64,1	5,8	-

Tabelle 46: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil des gesamten Kollektivs [%]

	Z0/Z0* = Z1.1	Z1.2	Z2	>Z2
FG	71,6	11,1	10,8	6,4
HIL	70,7	8,5	5,9	14,9
HLB	36,5	37,3	20,6	5,6
KLS	78,6	14,6	6,8	-

Tabelle 47: Einordnung der Stoffkonzentrationen (Feststoff und Eluat) im Belastungsgebiet Freiberg und Umgebung (Unterböden) nach TR Boden; Angabe als relativer Anteil des gesamten Kollektivs [%]

	Z0/Z0*	Z1	Z2	>Z2
FG	18,9	45,6	23,9	11,6
HIL	13,8	48,9	20,2	17,0
HLB	8,7	56,3	27,0	7,9
KLS	25,2	64,1	10,7	-

Im Hinblick auf die Einstufung der Verwertbarkeit anhand der Feststoffkonzentration zeigen die Kollektive von Freiberg und Umgebung ein sehr ähnliches Bild mit leicht schlechterer Einstufung für den Bereich Hilbersdorf und leicht besserer für den Raum Kleinschirma. Dennoch zeigt sich auch in Kleinschirma, dass hier außerhalb der eigentlichen Belastungszone dennoch As-Konzentrationen erreicht werden, die eine Verwertung einschränken. Die Eluatkonzentrationen sind hier zwar geringer als in den angrenzenden Bereichen, aber dennoch erreichen ca. 20% der Proben nicht die Anforderungen Z0/Z0*. In Halsbrücke scheint die Belastung auch mit einer leicht erhöhten Eluierbarkeit einherzugehen, da nur etwa 35% der Proben die Anforderungen Z0/Z0* erfüllen. Insgesamt zeigen sich für das Datenkollektiv „Freiberg und Umgebung“ nur ein geringer Zusammenhang zwischen den Gehalten im Feststoff und denen im Eluat für Pb ($r^2=0,35$), As ($r^2=0,26$) und Cd ($r^2=0,11$).

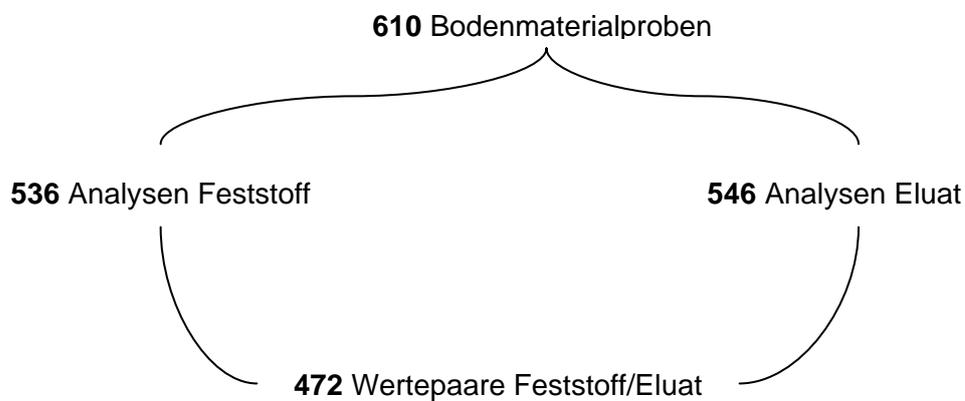
Insgesamt deuten diese Vergleichsuntersuchungen darauf hin, bei möglichen Ausnahmeregelungen zur TR Boden zumindest das Freiburger Belastungsgebiet einer genaueren Betrachtung zu unterziehen.

1.2 Eingeschränkter Einbau / Technische Bauwerke

1.2.1 Datenrecherche / Datenerfassung

Für die Recherche zur Qualität sächsischen Bodenmaterials bzw. Bauschutts konnten Anfragen von Abfallbesitzern oder deren Beauftragten bei den Abfallverbänden RAVON, AWVC, ZAOE, ZAW, ZAS, EVV sowie bei der Stadt Dresden genutzt werden. Der Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) stellte seine Analysenberichte von Bodenmaterial für die Erfassung zur Verfügung. Einige der bewerteten Analysen stammten von Bodenmaterial bzw. von Bauschutt, der zur Beseitigung auf Deponien vorgesehen war. Weitere Analysendaten waren aufgrund des Datenschutzes und Eigentumsrechts nicht zugänglich.

Zur Qualitätsrecherche von **Bodenmaterial** wurden insgesamt



mit insgesamt **9 500** Parameter-Einzeluntersuchungen der Abfallart 17 05 04 Boden und Steine erfasst. Sofern die Berichte Angaben über die zu entsorgende Menge enthielten, wurde diese mit aufgenommen. Es kann insgesamt von etwa 1.72 Mio. Mg ausgegangen werden. Das entspricht 18,5 % der geschätzten Gesamtmenge im FS Sachsen von 9,4 Mio. Mg für Boden und Steine.

Die Analysenberichte für die Abfallart Boden und Steine kommen aus allen drei Regierungsbezirken und verteilen sich wie folgt:

Tabelle 48: Anzahl Analysenbericht mit der Anzahl der untersuchten Bodenmaterialproben und Mengen nach Regierungsbezirken [RB] und FS Sachsen gesamt

RB	Anzahl Bodenmaterialproben	Menge [Mg]
Leipzig	169	1.031.000
Chemnitz	173	510.000
Dresden	268	180.000
FS Sachsen	610	1.721.000

Die Bodenmaterialproben aus dem RB Leipzig stammen teilweise aus einer Bodenbehandlungsanlage und aus der Sanierung eines Altstandortes. Sie sind demzufolge höher belastet.

1.2.2 Datenauswertung / Bewertung

Vergleich TR Boden –alt und TR Boden –neu-

Die Datenauswertung und Bewertung erfolgt nach den Zuordnungswerten der TR Boden mit Stand vom 15.11.2004 (Kurz: TR Boden –neu-) und im Vergleich zu der TR Boden vom 06.11.1997 (Kurz: TR Boden -alt-) für den eingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken. Nach Auswertung der erfassten Analysen Feststoff, Analysen Eluat sowie der Wertepaare Feststoff/Eluat (Tabellen 49 und 50, Abbildung 2) kann folgende prozentuale Verteilung nach Zuordnungswerten festgestellt werden:

a. Analysen im Feststoff

Tabelle 49: Prozentuale Verteilung der Zuordnungsklassen bei der Bewertung von Analysen im Feststoff nach TR Boden -alt- und TR Boden -neu-

Zuordnungswerte Feststoff	Z 0/ Z0*	Z 1.1 [%]	Z 1.2 [%]	Z 1 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
TR Boden –alt-	19	20	19	-	18	24
TR Boden –neu-	20	-	-	27	30	23

Im Vergleich TR Boden –neu- zu TR Boden –alt- im Feststoff wird eine Verlagerung nach Z 2 sichtbar. Der Anteil von Analysen außerhalb des Verwertungsbereiches bleibt gleich.

b. Analysen im Eluat

Tabelle 50: Prozentuale Verteilung der Zuordnungsklassen bei der Bewertung von Analysen im Eluat nach TR Boden -alt- und TR Boden -neu-

Zuordnungswerte Eluat	Z 1.1 [%]	Z 1.2 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
TR Boden –alt-	29	23	13	35
TR Boden –neu-	22	24	25	29

Im Vergleich TR Boden -neu- zur TR Boden -alt- im Eluat ist eine Verlagerung von Z 1.1 nach Z 2 zu verzeichnen. Im Bereich Z 1.2 gibt es kaum Veränderungen. Der prozentuale Anteil des zu beseitigenden Bodenmaterials (> Z2) würde sich sogar verringern.

c. Analysen Wertepaare Feststoff/Eluat

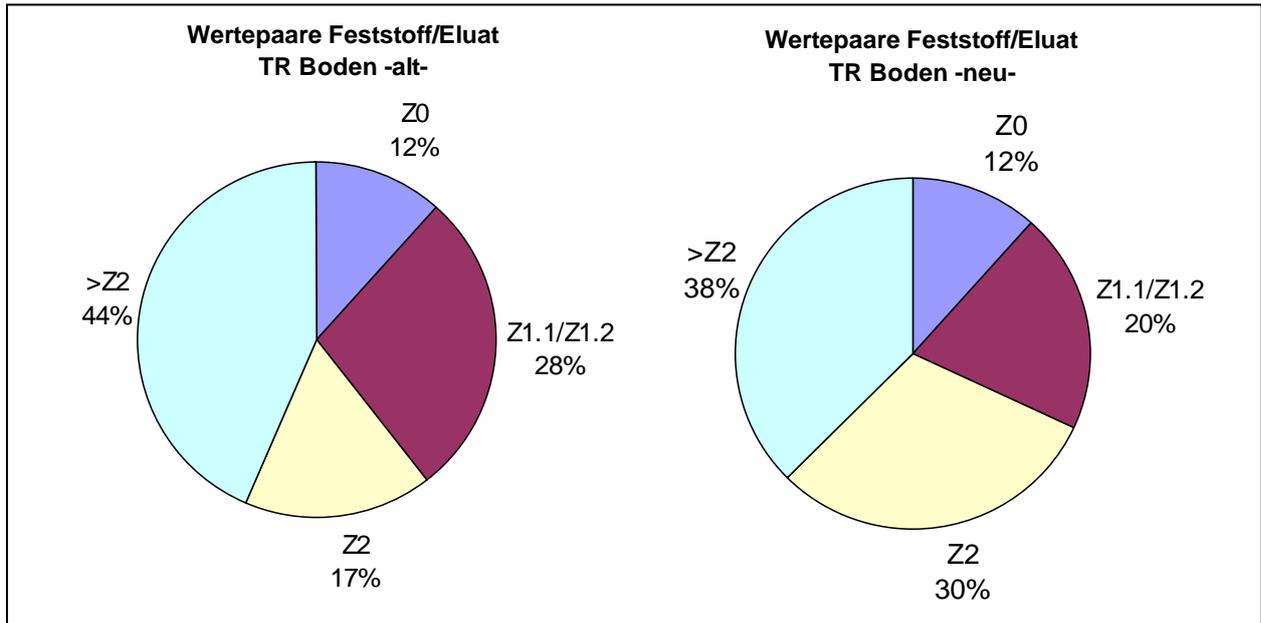


Abbildung 2: Prozentuale Verteilung der Zuordnung von Analysen Feststoff/Eluat im Vergleich TR Boden -alt- und TR Boden -neu-

In der Gesamtbetrachtung der Qualität des Bodenmaterials ist eine Verlagerung von der (alten) Z1 -Einbauklasse und von der über die Verwertung hinausgehende Qualität (> Z2) insgesamt zu der (neuen) Z2 – Einbauklasse ersichtlich. Bei einer Bewertung nach der TR Boden -neu- nimmt der Anteil an dem beseitigungsbedürftigen Bodenmaterials geringfügig ab.

Diese Qualitätsbetrachtung bezogen auf den erfassten Mengenanteil von Bodenaushub zeigt nachstehende Verteilung. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Grundlage für diese Stoffstrombetrachtung sich auf 18,5% des geschätzten Gesamtaufkommens im FS Sachsen bezieht.

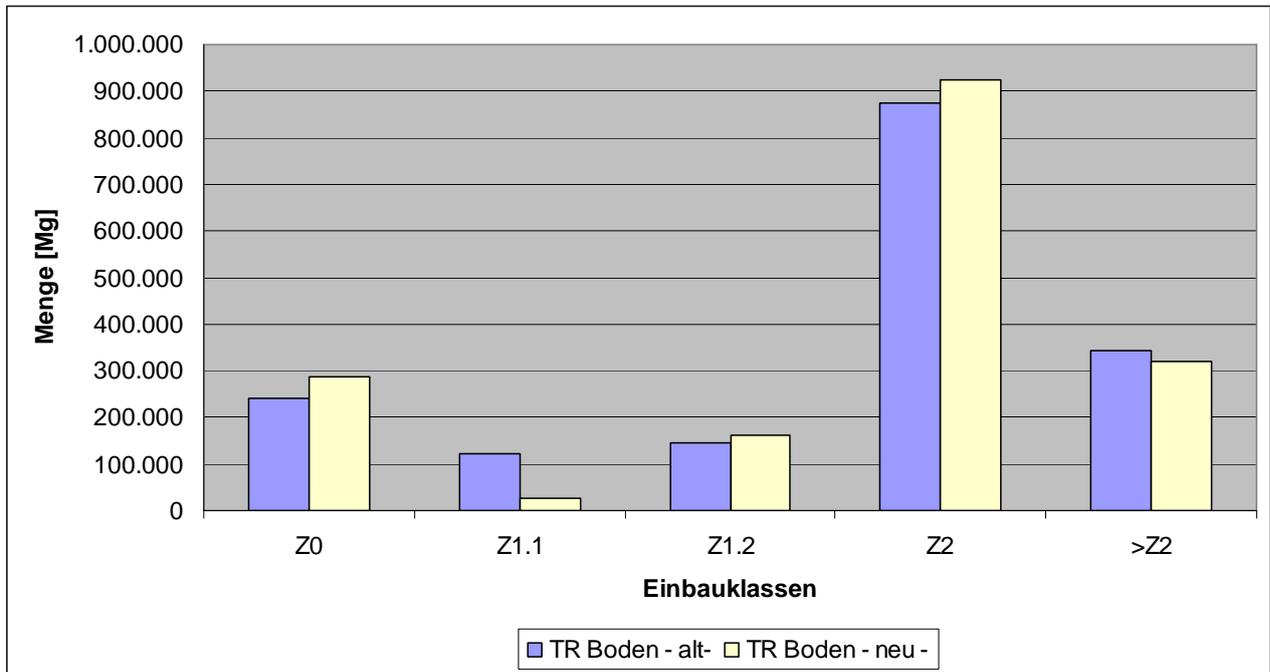


Abbildung 3: Verteilung des erfassten Mengenanteils Bodenmaterial in die Einbauklassen nach TR Boden -alt- und -neu-

Der überwiegende Mengenanteil des erfassten Bodenmaterials entspricht der Z2-Einbaukonfiguration. Er nimmt bei einer Bewertung nach TR Boden –neu- geringfügig zu, nur bei Z1.1 und >Z2 würde der Mengenanteil zurückgehen (Abbildung 3). Die gleiche Tendenz ist bei der Einbauklasse Z0 und Z1.2 zu beobachten.

Die in Abbildung 3 gezeigte Qualitätsverlagerung beeinflusst die Mengenverteilung sichtlich in der Einbauklasse Z1.1. Die Menge der „alten“ Z1.1-Klasse verteilt sich auf die nach der TR Boden -neu- auf die Einbauklassen Z0, Z1.2 und Z2.

Bewertung nach TR Boden -neu-

Besteht nach Punkt 1.2.2.1 der TR Boden (neu) ein Untersuchungserfordernis für Bodenmaterial, so kann der Untersuchungsumfang sich ausschließlich auf die Feststoffuntersuchung beziehen. Voraussetzung hierfür jedoch ist, dass dem Bodenmaterial eindeutig die Bodenarten zugeordnet und die Feststoffgehalte < Z0 eingehalten werden können. In allen anderen Fällen muss das Eluat mit analysiert und in die Bewertung mit eingeschlossen werden. Das gilt auch im Freistaat Sachsen, wo die Verwertung von Bodenmaterial ist in Sachsen per Erlass vom 27.09.2006 geregelt ist. Darin wird auf die Feststoffwerte der TR Boden verwiesen. Die Anforderungen an die Eluatwerte sind im Einzelfall festzulegen.

Abbildung 4 soll den Einfluss der Eluatwerte auf die Zuordnung zu den Z-Klassen verdeutlichen. Dazu wird ein Vergleich der Zuordnung auf alleiniger Grundlage der Feststoffwerte gegenüber einer Zuordnung auf Grundlage der Feststoff- **und** Eluatwerte vorgenommen. Dabei wurden auch die Analysen berücksichtigt, deren Feststoffwerte geringer als Z0 waren.

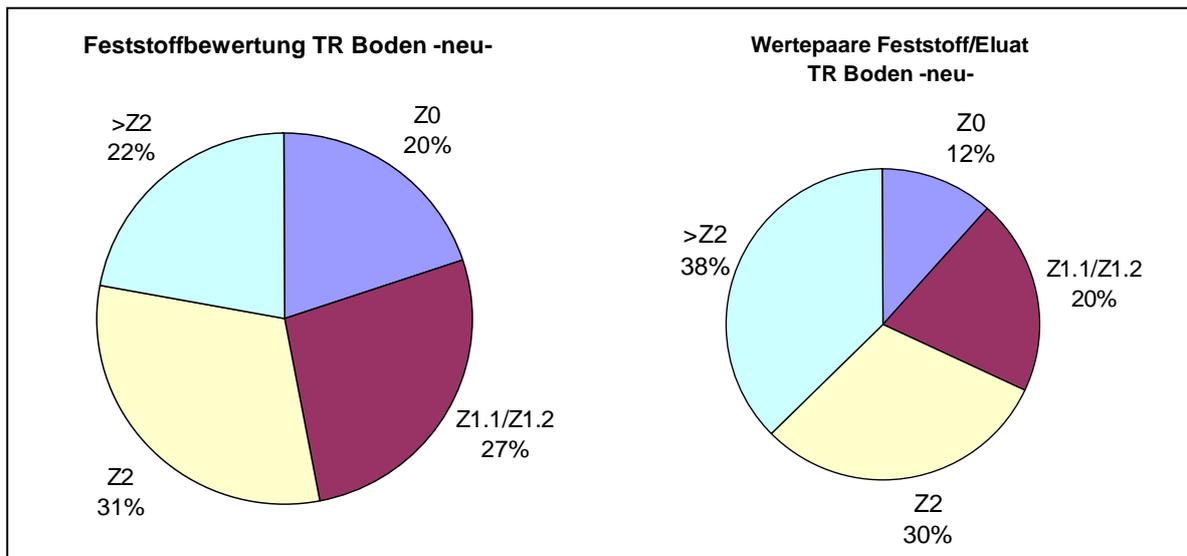


Abbildung 4: Vergleich der Einbauklassen nach TR Boden -neu- bei Feststoffbewertung und Feststoff/Eluat-Bewertung

Es kann festgestellt werden, dass die Eluatwerte die Gesamtbewertung und damit auch die Zuordnung in die Einbauklassen maßgeblich beeinflussen. Der Anteil aus den Zuordnungs-klassen Z0 und Z1 nimmt ab und verlagert sich über den Verwertungsbereich hinaus in die Beseitigung (>Z2).

Da die Eluatwerte die Zuordnung so deutlich beeinflussen, werden im Weiteren die Eluat-analysenwerte des Bodenmaterials mit den Parametern und Grenzwerten nach der TR Bo-den im Eluat betrachtet.

Alle die in diesem Bericht angegebenen Eluatanalysenwerte beziehen sich auf das Elutionsverfahren nach der DIN 38 414 (S4).

Bodenanalysenwerte Eluat

Für eine weitere Bewertung im eingeschränkten Einbau / Technische Bauwerke werden ge-mäß Aufgabenstellung die Eluatwerte herangezogen. In der Tabelle 51 und Tabelle 52 sind die ermittelten Median- und 90%-Perzentilwerte aus allen erfassten Eluatanalysewerten den Zuordnungswerten nach TR Boden -neu- und TR Boden -alt- gegenübergestellt.

Tabelle 51: Analysenwerte Eluat für Bodenmaterial im Vergleich zu den Z-Werten (Eluat) TR Boden -neu-

Parameter		RB Dresden		RB Chemnitz		RB Leipzig		Sachsen		TR Boden -neu-						
		Median	90%-Perzentil	Median	90%-Perzentil	Median	90%-Perzentil	Median	90%-Perzentil	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	> Z2			
pH	-	8,0	9,2	7,9	9,9	7,6	10,4	7,9	9,6	6,5	9,5	6,0	12,0	5,5	12,0	
ele. Leitf.	µS/cm	130	753	187	1.729	353	2.759	170	1.770		250		1500	2000		
Chlorid	mg/l	5	28	5	24	5	55	5	39		30		50	100		
Sulfat	mg/l	10	174	21	423	70	1.565	16	413		20		50	200		
Cyanid	µg/l	10	10	5	141	10	100	10	33		5		10	20		
Phenolindex	µg/l	10	20	10	10	10	86	10	39		20		40	100		
Arsen	µg/l	10	46	10	186	10	13	10	58		14		20	60		
Blei	µg/l	10	20	5	20	10	23	10	20		40		80	200		
Cadmium	µg/l	1	2	2	2	1	9	1	2		2		3	6		
Chrom	µg/l	5	10	10	18	10	19	10	13		13		25	60		
Kupfer	µg/l	10	35	10	26	20	30	10	30		20		60	100		
Nickel	µg/l	10	20	10	30	20	34	10	20		15		20	70		
Quecksilber	µg/l	0,2	0,2	0,2	1,0	0,2	0,2	0,2	0,3		0,5		1	2		
Zink	µg/l	13	100	17	96	20	113	20	100		150		200	600		

Tabelle 52: Analysenwerte Eluat für Bodenmaterial im Vergleich zu den Z-Werten (Eluat) TR Boden -alt-

Parameter		RB Dresden		RB Chemnitz		RB Leipzig		Sachsen		TR Boden -alt-						
		Median	90%-Perzentil	Median	90%-Perzentil	Median	90%-Perzentil	Median	90%-Perzentil	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	> Z2			
pH	-	8,0	9,2	7,9	9,9	7,6	10,4	7,9	9,6	6,5	9,5	6,0	12,0	5,5	12,0	
ele. Leitf.	µS/cm	130	753	187	1.729	353	2.759	170	1.770		500		1000	1500		
Chlorid	mg/l	5	28	5	24	5	55	5	39		10		20	30		
Sulfat	mg/l	10	174	21	423	70	1.565	16	413		50		100	150		
Cyanid	µg/l	10	10	5	141	10	100	10	33		10		50	100		
Phenolindex	µg/l	10	20	10	10	10	86	10	39		10		50	100		
Arsen	µg/l	10	46	10	186	10	13	10	58		10		40	60		
Blei	µg/l	10	20	5	20	10	23	10	20		40		100	200		
Cadmium	µg/l	1	2	2	2	1	9	1	2		2		5	10		
Chrom	µg/l	5	10	10	18	10	19	10	13		30		75	150		
Kupfer	µg/l	10	35	10	26	20	30	10	30		50		150	300		
Nickel	µg/l	10	20	10	30	20	34	10	20		50		150	200		
Quecksilber	µg/l	0,2	0,2	0,2	1,0	0,2	0,2	0,2	0,3		0,2		1	2		
Zink	µg/l	13	100	17	96	20	113	20	100		100		300	600		

Medianwerte

Im Median liegen alle Analysenwerte im verwertbaren Bereich.

Es überwiegt der Einbaubereich Z 1.1. Das trifft sowohl bei einer Bewertung nach TR Boden –alt- als auch nach TR Boden –neu- zu.

Im RB Leipzig sind insbesondere die Parameter Elektrische Leitfähigkeit, Sulfat, Cyanid (ges.) und Nickel auffällig. Diese wären nach TR Boden –neu- einen Zuordnungswert höher in Z 1.2 bzw. Z 2 einzuordnen. Das korrespondiert mit der prozentualen Verteilung der Analysenwerte (s. Tabelle 49).

90%-Perzentilwerte

Der Vergleich der 90%-Perzentilwerte mit den Zuordnungswerten nach TR Boden –alt- und TR Boden –neu- zeigt deutlich die Veränderungen in der Zuordnung auf. Für Sachsen insgesamt wäre eine Verschiebung der Zuordnung von Z 1.1 nach Z 1.2 und höher zu verzeichnen. Das korrespondiert ebenso wie bei den Medianwerten mit der prozentualen Verteilung der Analysenwerte. Wesentliche Ursache dafür sind die Verschärfung der Zuordnungswerte nach TR Boden (neu) bei den Parametern Chrom, Kupfer und Nickel. Deutliche Auswirkungen würden sich ebenso bei den Parametern Cyanid (ges) und Cadmium (nur RB Leipzig) ergeben. Diese lägen nicht mehr im Verwertungsbereich. Bei den Parametern Elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat wäre mit einer Entspannung zu rechnen. Das würde sich in einigen Regierungsbezirken zu Gunsten der Verwertung auswirken.

Nach einer Bewertung nach TR Boden –neu- lägen im RB Leipzig die Parameter Elektrische Leitfähigkeit, Sulfat, Cyanid (ges.) und Cadmium außerhalb des Verwertungsbereiches. Im RB Chemnitz betrifft das die Parameter Sulfat, Cyanid (ges.) und Arsen. Nur im RB Dresden wären bei den 90%-Perzentilwerten keine Überschreitungen von Z 2 zu verzeichnen.

Einzelparameterbewertung nach TR Boden –neu-

Der Parameter **Sulfat** ist in allen 3 Regierungsbezirken auffällig. Insgesamt wurden 435 Eluatwerte Sulfat für Sachsen erfasst. Die Verteilung nach den Zuordnungswerten in Sachsen und in den Regierungsbezirken zeigt nachstehende Tabelle. Die Abbildungen 1 bis 4 geben einen Überblick zu der Anzahl und Konzentration der Eluatanalysenwerte für Sulfat im Vergleich zu den Zuordnungswerten.

Tabelle 53: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Sulfat Eluat in Sachsen und in den Regierungsbezirken

Sulfat Eluat nach TR Boden-neu-	Z 1.1 [%]	Z1.2 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
RB Leipzig	38	10	21	31
RB Chemnitz	49	23	13	15
RB Dresden	69	13	9	9
Sachsen	57	14	13	16

Für Sachsen sind über die Hälfte der Sulfat-Analysen Z 1.1 zuzuordnen. Die Verteilung bei Z1.2 und Z 2 ist nahezu gleich. Es fallen 16% der Analysen aus dem Verwertungsbereich heraus. Beim Vergleich der Regierungsbezirke ist die deutlich steigende Reihenfolge Leipzig, Chemnitz, Dresden bei Z 1.1 und eine fallende Tendenz bei >Z 2 erkennbar.

Der Parameter **Cyanid** ist im RB Chemnitz und RB Leipzig auffällig. Ein wesentlicher Prozentsatz der Analysen aus Bodenproben der genannten Regierungsbezirke liegt außerhalb des Verwertungsbereiches (s. Tabelle 53). Nur im RB Dresden können die Analysenwerte ausschließlich dem Verwertungsbereich zugeordnet werden. Insgesamt für Sachsen tendiert die Zuordnung nach Z 1.1 und Z 1.2. Die Abbildungen 5 bis 8 geben einen Überblick zu der Anzahl und Konzentration der Eluatanalysenwerte für Cyanid im Vergleich zu den Zuordnungswerten.

Tabelle 54: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Cyanid (ges.) Eluat in Sachsen und in den Regierungsbezirken

Cyanid Eluat nach TR Boden-neu-	Z 1.1 [%]	Z1.2 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
RB Leipzig	35	35	6	24
RB Chemnitz	52	30	0	18
RB Dresden	23	71	6	0
Sachsen	32	51	5	12

Der Parameter **Elektrische Leitfähigkeit** ist im RB Leipzig auffällig. Die Tabelle 54 zeigt die prozentuale, die Abbildung 9 die absolute Verteilung nach Zuordnungswerten. Von 138 Analysen liegen 82 % im Verwertungsbereich.

Tabelle 55: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Elektrische Leitfähigkeit im Regierungsbezirk Leipzig

Elektr. Leitfähigkeit nach TR Boden-neu-	Z 1.1 [%]	Z1.2 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
RB Leipzig	40	38	4	18

Der Parameter **Cadmium** ist im RB Leipzig auffällig. Obwohl 89 % der Analysen dem Verwertungsbereich zugerechnet werden können, befindet sich der 90%-Perzentilwert (Tab. 55 und Abbildung 10) außerhalb des Verwertungsbereiches. Die zwei „Ausreißer“ mit über 50 µg/l stammen von Bodenmaterial aus der Altlastensanierung des Leipziger Gasometers und aus einer Bodenbehandlungsanlage.

Tabelle 56: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Cadmium Eluat im Regierungsbezirk Leipzig

Cadmium Eluat nach TR Boden-neu-	Z 1.1 [%]	Z1.2 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
RB Leipzig	87	0	2	11

Der Parameter **Arsen** ist im RB Chemnitz auffällig. Dies ist mit der Hintergrundbelastung von Arsen insbesondere im Raum Freiberg erklärbar. Nahezu ein Viertel der Analysen fallen aus dem Verwertungsbereich heraus (s. Tabelle 56 und Abbildung 11).

Tabelle 57: Prozentuale Verteilung der Zuordnung des Parameters Arsen Eluat im Regierungsbezirk Chemnitz

Arsen Eluat nach TR Boden-neu-	Z 1.1 [%]	Z1.2 [%]	Z 2 [%]	>Z 2 [%]
RB Chemnitz	57	6	13	24

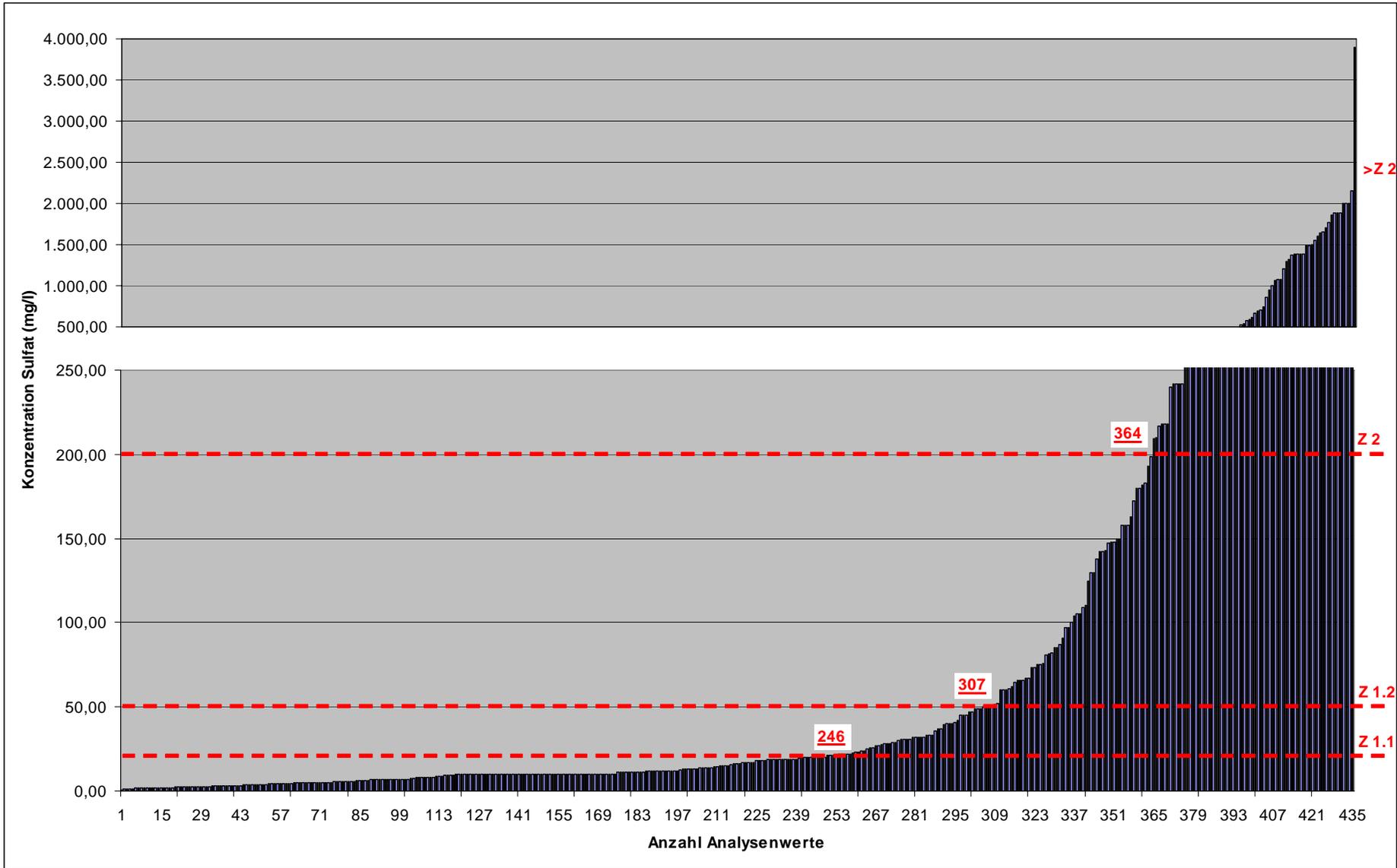


Abbildung 5: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im FS Sachsen

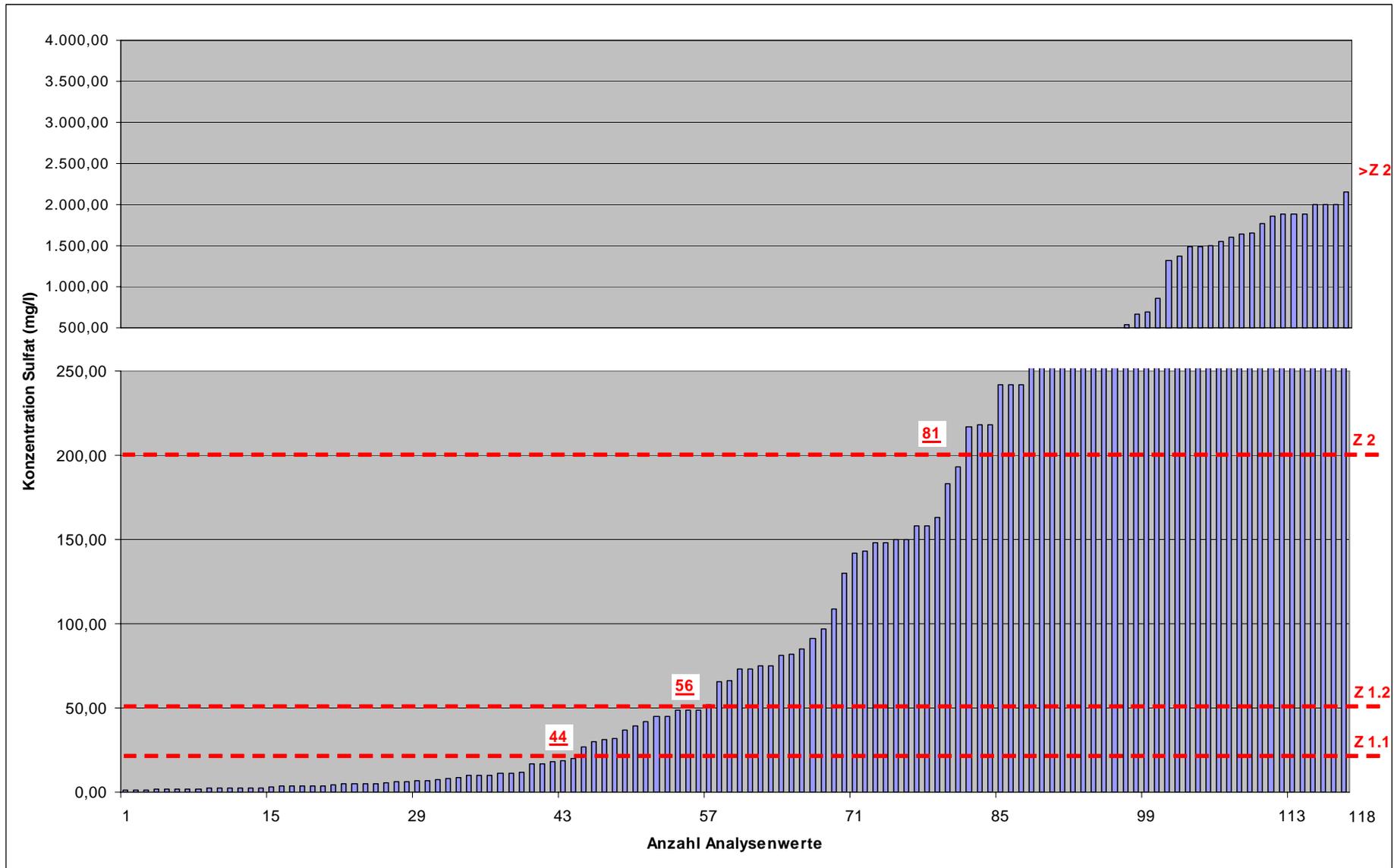


Abbildung 6: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im RB Leipzig

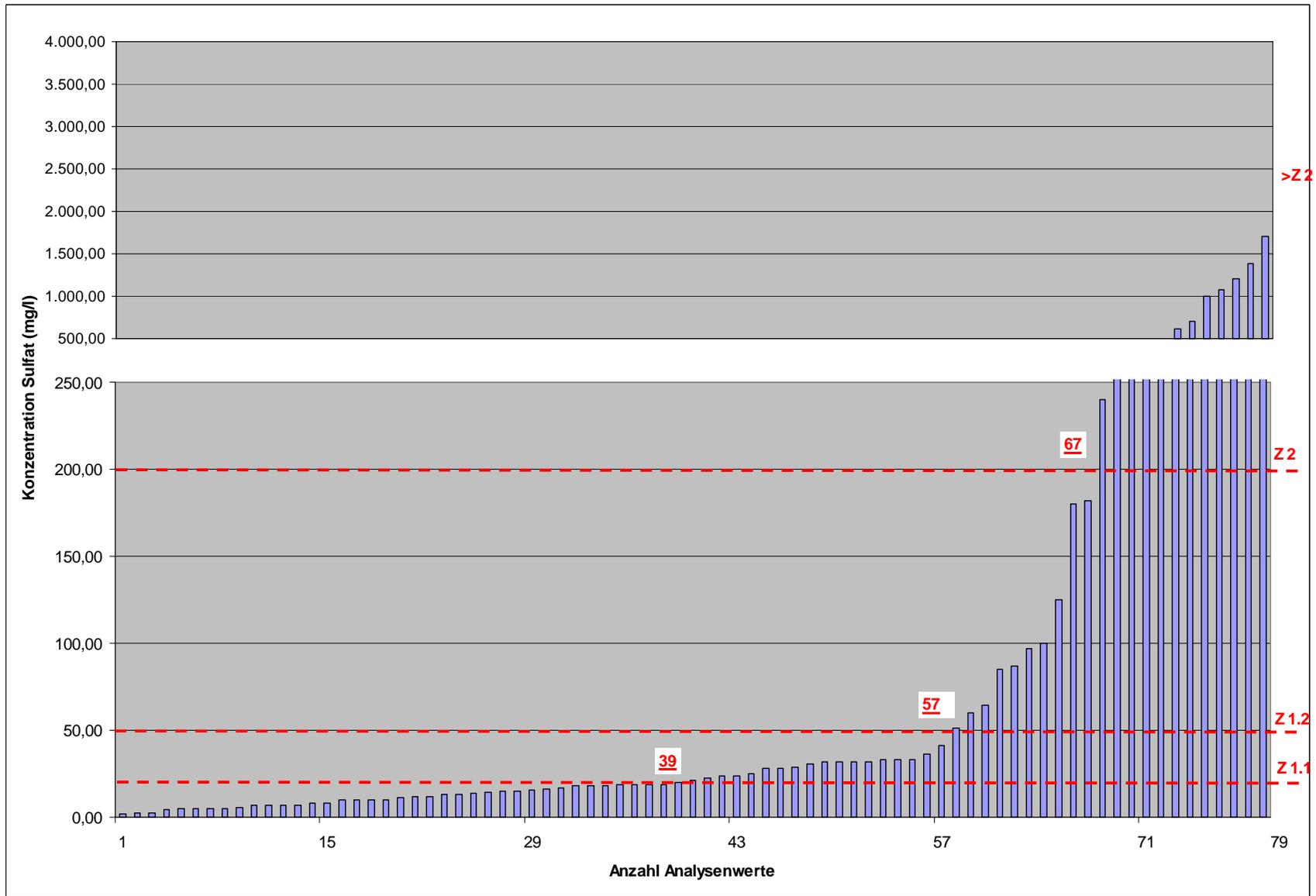


Abbildung 7: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im RB Chemnitz

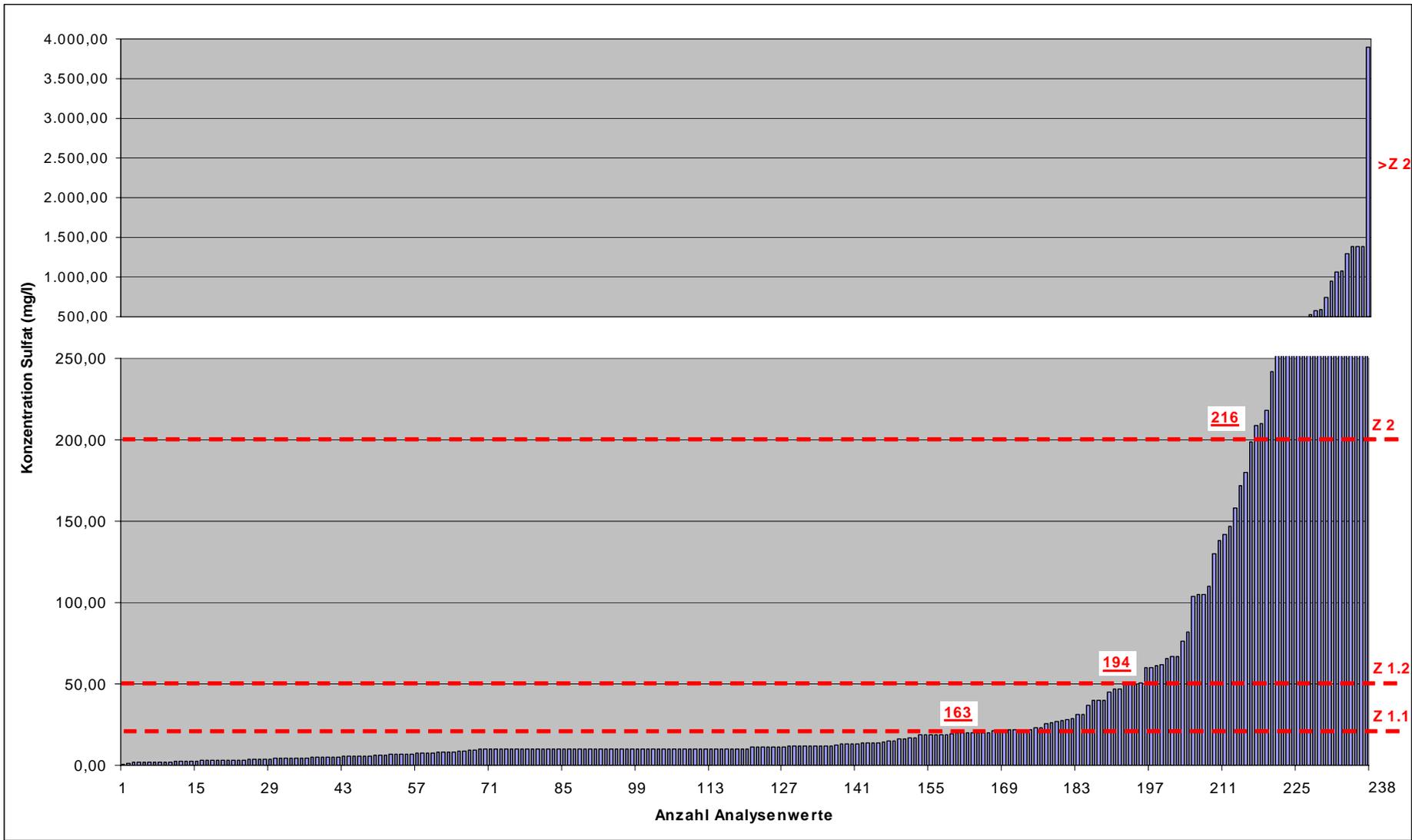


Abbildung 8: Eluatanalysen Sulfat im Bodenmaterial im RB Dresden

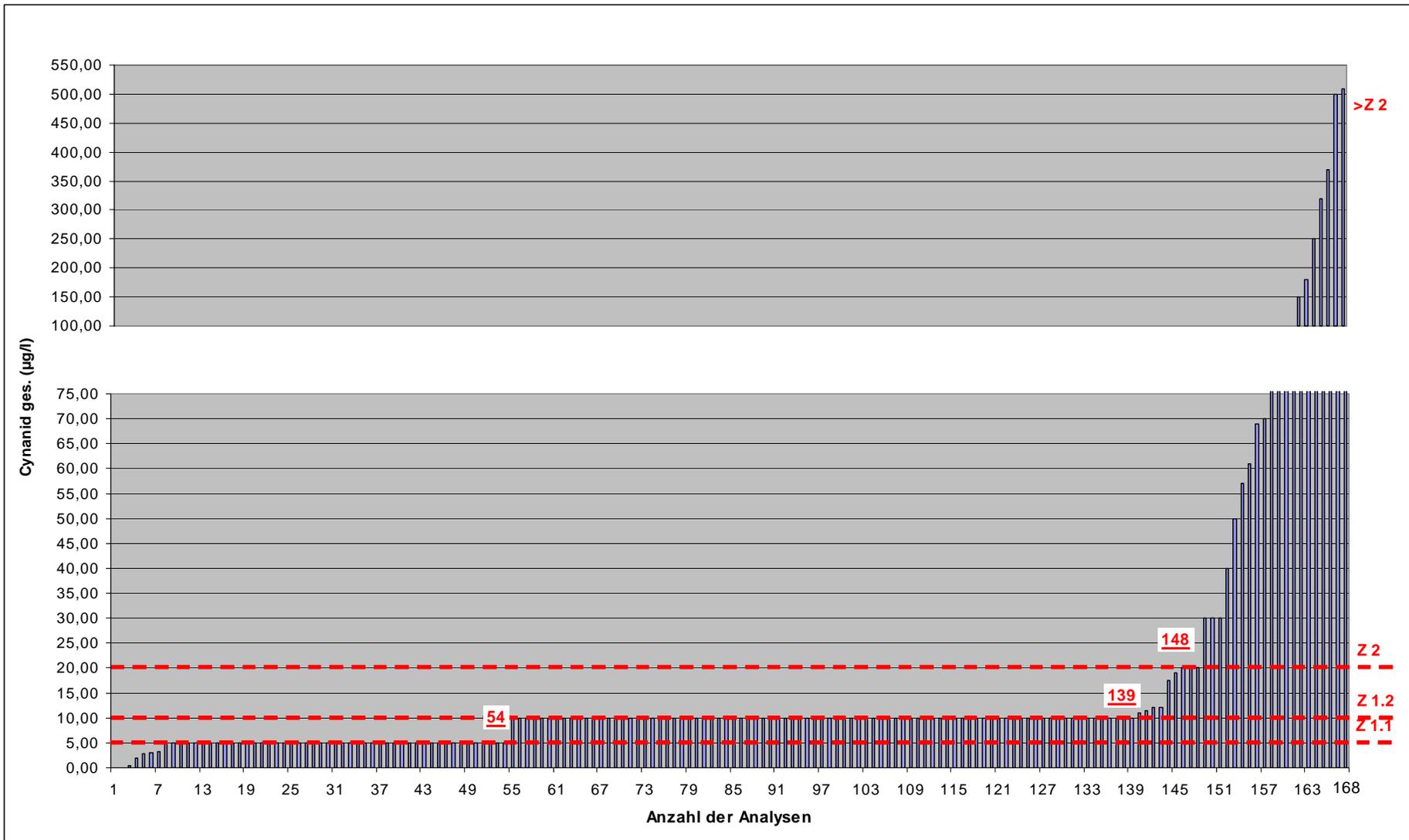


Abbildung 9: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im FS Sachsen

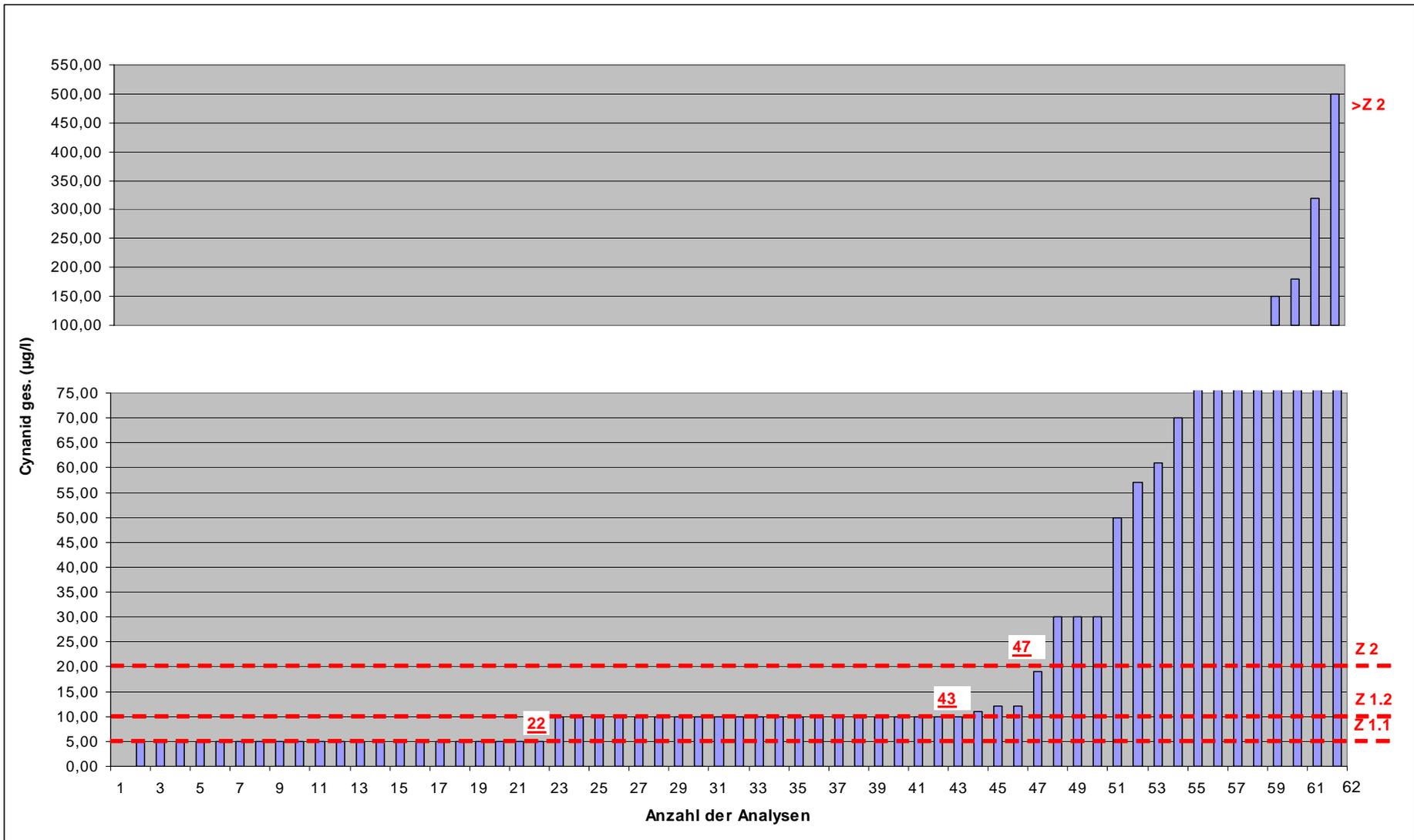


Abbildung 10: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im RB Leipzig

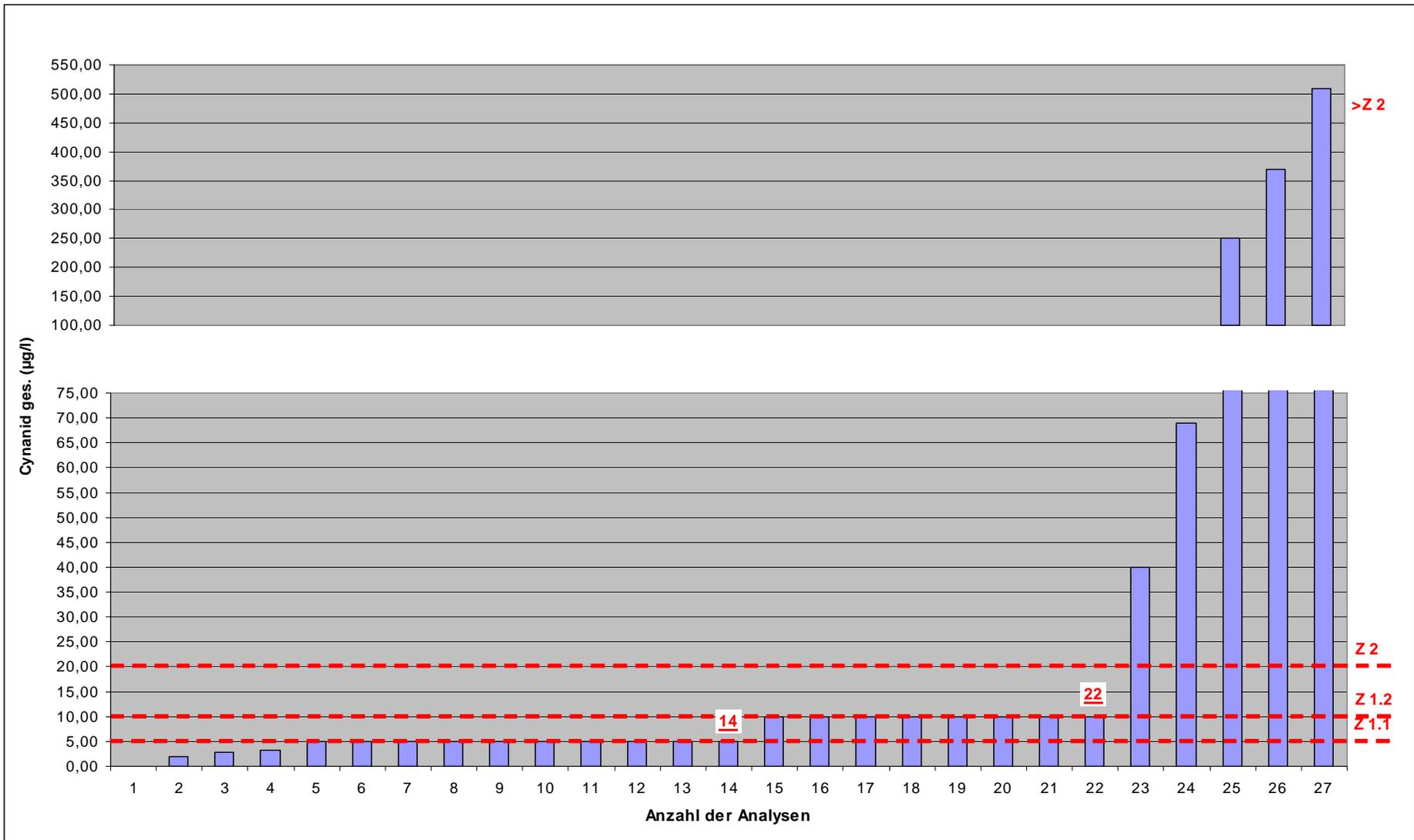


Abbildung 11: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im RB Chemnitz

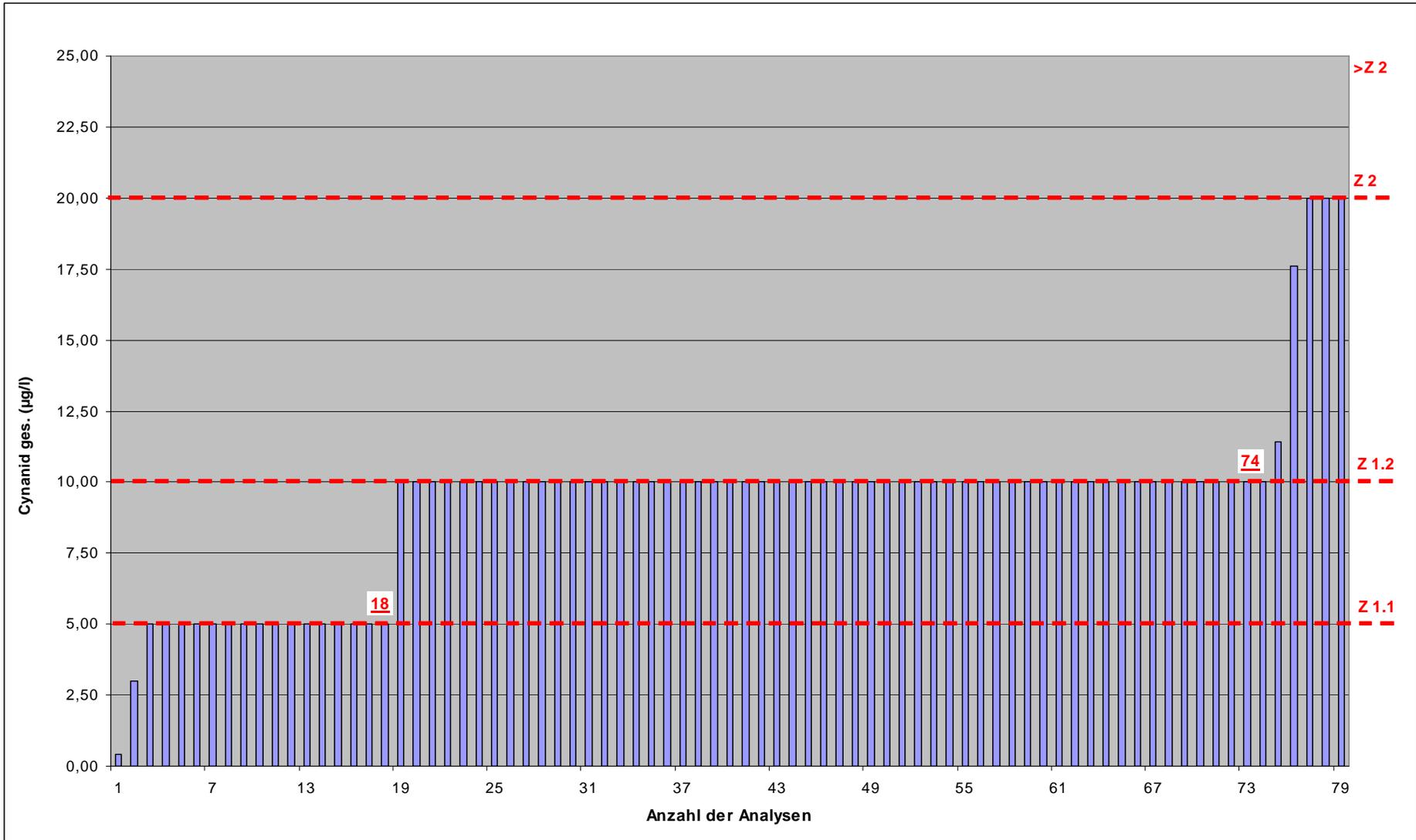


Abbildung 12: Eluatanalysen Cyanid gesamt im Bodenmaterial im RB Dresden

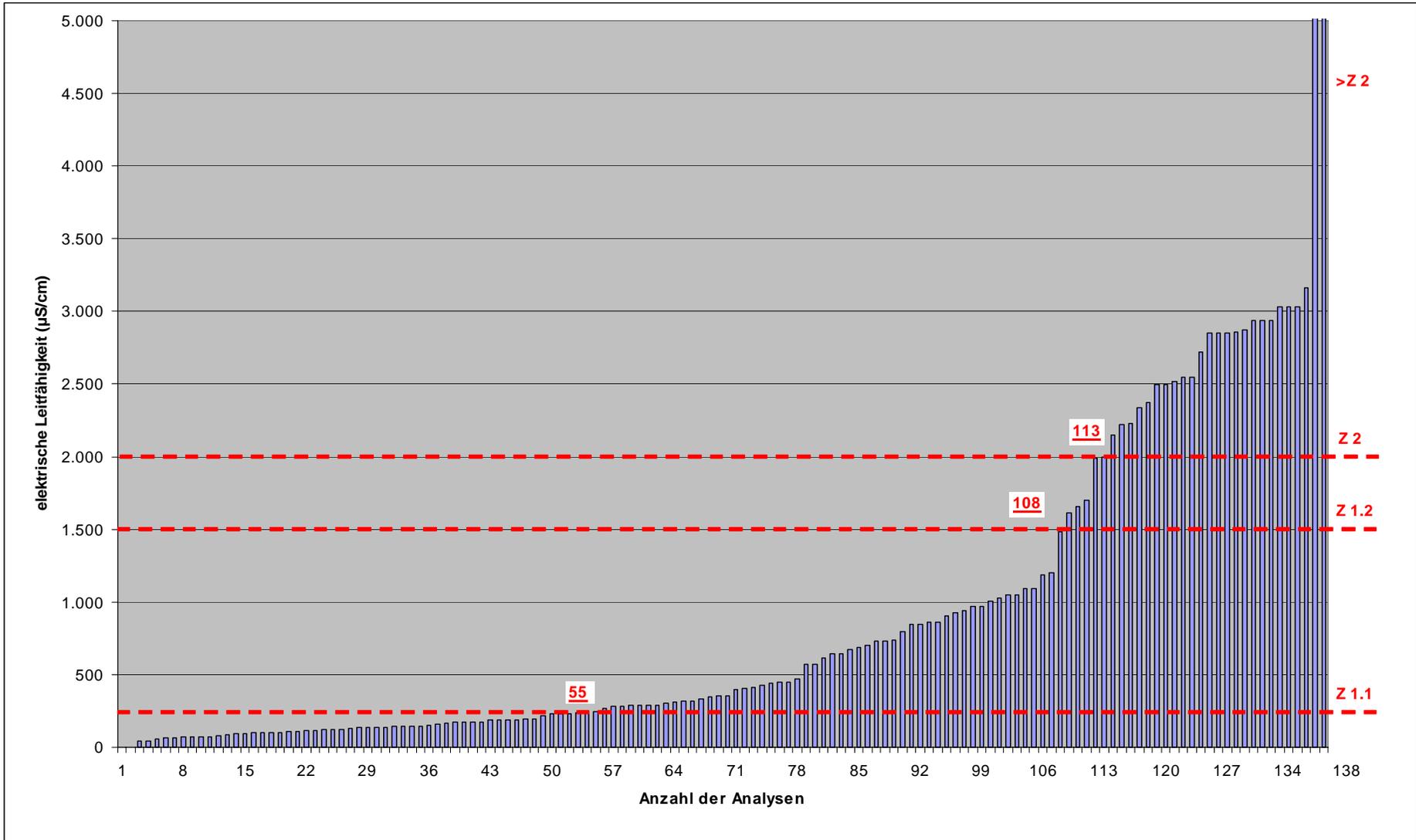


Abbildung 13: Eluatanalysen Elektrische Leitfähigkeit im Bodenmaterial aus dem RB Leipzig

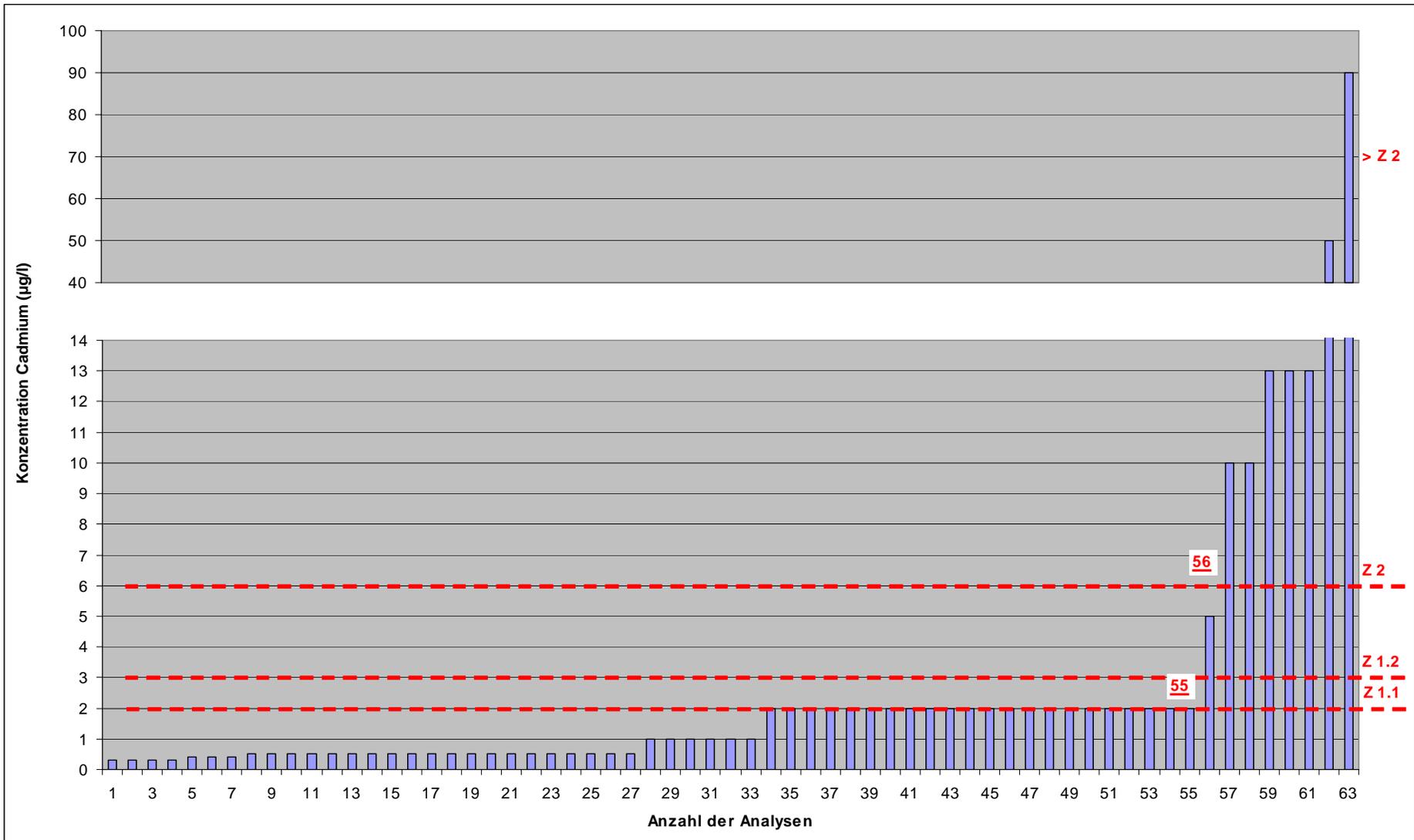


Abbildung 14: Eluatanalysen Cadmium im Bodenmaterial aus dem RB Leipzig

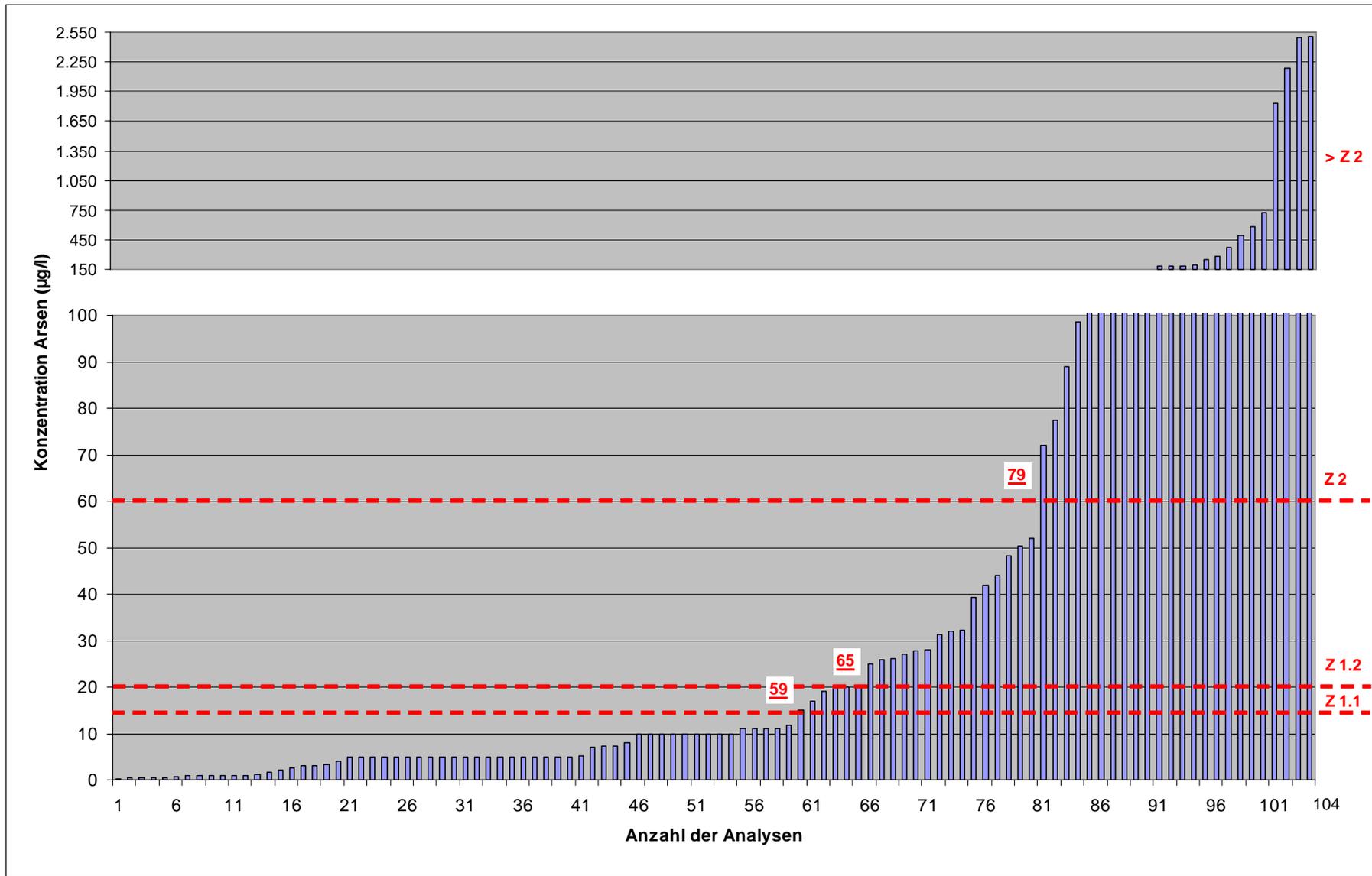


Abbildung 15: Eluatanalysen Arsen im Bodenmaterial aus dem RB Chemnitz

2 Zusammenfassung Technische Bauwerke

Die schutzgutbezogenen Anforderungen bei der Verwertung von Bodenmaterial in technischen Bauwerken (ab Einbauklasse Z1 bis Z2) wurden mit der TR Boden –neu – vom 05.11.2004 neu formuliert. Anhand sächsischer Bodenmaterialdaten wurde geprüft, welche Bodenmaterialqualität durch diese neuen Anforderungen zu erwarten ist und welche Auswirkungen sich auf den Stoffstrom Bodenmaterial ergeben.

Den größten Einfluss auf die Qualität und damit auf die Verwertungsmöglichkeit haben die Analysenwerte im Eluat. Im Detail überschreitet der 90%-Perzentil-Eluatwert der Parameter Sulfat, Cyanid, Elektrische Leitfähigkeit, Cadmium und Arsen die Z-Eluatwerte, die auf die restriktiveren Grenzwerte, höhere Hintergrundwerte im natürlichen Boden, aber auf Einzelfälle (z.B. Sanierung von Altlasten) zurückzuführen sind.

Das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) hat mit Erlass vom 27.09.2006 die Feststoffwerte der TR Boden -neu - in den sächsischen Vollzug eingeführt. Die Anforderungen an die Eluatwerte sind danach zunächst im Einzelfall zu entscheiden. Nähere Informationen dazu finden Sie derzeit (Stand: Mai 2007) auf den Internetseiten des SMUL unter <http://www.smul.sachsen.de> unter dem Thema Wertstoffe und Altlasten.