





# **Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Böden**

Wiesbaden, 2011

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

## Impressum

### Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Böden

Version: 1.1

Bearbeitung: Dezernat Bodenschutz, Bodeninformationen  
Klaus Friedrich, Katrin Lügger

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main  
Institut für Physische Geographie, Bodenkunde  
Janina Sehr

URL: <http://www.hlug.de/start/boden/hintergrundwerte.html>

Herausgeber, © und Vertrieb:

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611/6939-111  
Telefax: 0611/6939-113  
E-Mail: [vertrieb@hlug.hessen.de](mailto:vertrieb@hlug.hessen.de)

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers

## Vorwort

Umfassende Daten des Bodenzustandes stellen heute eine wichtige Grundlage für alle Betrachtungen des Landschaftshaushaltes in Raum und Zeit dar. Dies ist bedingt durch die zentrale Stellung des Schutzgutes Boden zwischen Atmo-, Bio-, Hydro- und Lithosphäre. Klima und Umwelteinflüsse, unterschiedlichste Intensitäten der Bodennutzung u. a. wirken dabei unablässig auf den Boden ein. Neben der Behandlung bereits registrierter belasteter Flächen (Altlasten) fokussiert der vorsorgende Bodenschutz vor allem den Funktionsschutz der Böden. Für die Bewertung ubiquitärer Bodenbelastungen oder Belastungen natürlicher Bodensubstrate sind Kenntnisse über die Zusammensetzung und den Chemismus der Böden wie auch deren räumliche Verbreitung in Hessen von großem Wert.



Seit dem Erscheinen der Karte „Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen und oberflächennahem Untergrund“ (ROSENBERG & SABEL 1996) Mitte der neunziger Jahre haben sich die Datengrundlagen in Hessen weiter verbessert. Dies gibt Anlass, aufbauend auf dem Leitfaden „Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden“ (LABO 2003), eine Neubewertung auf der aktuellen Datengrundlage zu vollziehen. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf einer dezidierten Differenzierung der Ausgangsgesteine der Böden, speziell der unterschiedlichen Deckschichten-Substrate, die i. d. R. aus verschiedenen Gesteinskomponenten bestehen. Die statistischen Betrachtungsgruppen werden dabei so gebildet, dass die Ergebnisse auch mittelmaßstäbig in einer Karte der „Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden“ in ihrer räumlichen Verbreitung präsentiert werden konnten. Somit kann der Anwendungsbezug, z. B. für Belange der Bodenbeaufschlagung (§12 BBodSchV), deutlich verbessert werden.

Die Dokumentation ist als Blattsammlung konzipiert, wodurch sie zukünftig erweitert und aktualisiert werden kann. Die sich zurzeit in der Bearbeitung befindliche Auswertung von organischen Schadstoffen wird die Sammlung zeitnah ergänzen und weitere Grundlagen zur Bewertung von Stoffgehalten bieten.

A handwritten signature in blue ink that reads "Thomas Schmid". The signature is fluid and cursive.

Dr. Thomas Schmid

Präsident des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie

## Inhalt

Vorwort

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis

I	Einleitung und Definitionen zu den betrachteten Spurenstoffgehalten.....	I-1
II	Datengrundlagen und Methodik.....	II-1
II.1	Datengrundlagen.....	II-1
II.2	Methodik zur Auswertung der Bodendaten.....	II-1
II.3	Substratklassifikation.....	II-3
II.4	Horizontgruppen.....	II-7
II.5	Bodennutzung.....	II-7
II.6	Gebietstyp .....	II-8
III	Probennahme und Analytik .....	III-1
III.1	Beprobung .....	III-1
III.2	Laboranalytik.....	III-1
III.2.1	Bestimmung anorganischer Stoffe .....	III-1
III.2.2	Umrechnung der Totalgehalte.....	III-2
III.2.3	Bestimmung organischer Schadstoffe .....	III-2
III.2.4	Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen .....	III-3
IV	Datenauswertung.....	IV-1
IV.1	Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze .....	IV-1
IV.2	Statistische Auswertung .....	IV-1
IV.2.1	Statistische Kennwerte der Parameter.....	IV-1
IV.2.2	Boxplots .....	IV-2
IV.2.3	Bodenartendiagramme .....	IV-2
IV.2.4	Darstellung der Hintergrundwerte .....	IV-3
V	Anorganische Stoffe.....	V-1
V.1	Organogene Substrate .....	V-2
V.2	Fluviatile Substrate.....	V-3
V.2.1	Auensandsubstrate .....	V-6
V.2.2	Auenschluffsubstrate .....	V-9
V.2.3	Auentonsubstrate .....	V-13
V.2.4	Flusssedimentsubstrate.....	V-15
V.2.5	Hochflutsubstrate .....	V-17
V.3	Äolische Substrate.....	V-21

## Inhalt

V.3.1	Lösssubstrate.....	V-25
V.3.2	Sandlöss- und Lösssandsubstrate.....	V-29
V.3.3	Flugsandsubstrate.....	V-32
V.3.4	Tephrastrate.....	V-36
V.4	Kolluviale Substrate.....	V-37
V.4.1	Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung.....	V-39
V.4.2	Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten.....	V-43
V.5	Bodensubstrate mit periglazialer Überprägung.....	V-48
V.5.1	Carbonatische Substrate.....	V-49
V.5.2	Psammitische und psephitische Substrate.....	V-59
V.5.3	Pelitische Substrate.....	V-73
V.5.4	Vulkanogene Substrate.....	V-85
V.5.5	Plutonitische Substrate und metamorphe Äquivalente.....	V-97
V.6	Substratübergreifende nutzungsspezifische Schwermetallgehalte.....	V-104
V.6.1	Humusaufgaben unter waldbaulicher Nutzung.....	V-104
V.6.2	Weinbau (Rigsole).....	V-109
VI	Organische Schadstoffe.....	VI-1
VII	Ergebnis und Ausblick.....	VII-1
VIII	Schriftenverzeichnis.....	VIII-1

Kartenanlage

**Abkürzungsverzeichnis**

AAS	Atomabsorptionsspektroskopie
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
Al	Aluminium
As	Arsen
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BG	Bestimmungsgrenze
BoFA	Bodenformenarchiv
BZK	Bodenzustandskataster
CaCO <sub>3</sub>	Calciumcarbonat
Cd	Cadmium
CKW	Chlorkohlenwasserstoffe
C <sub>org</sub>	Organisch gebundener Kohlenstoff
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
d1-PCB	dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (dioxin-like PCB)
FISBO	Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz
HCl	Salzsäure
HF	Flusssäure
Hg	Quecksilber
HLAGE	Auflage(-horizonte)
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry)
ICP-OES	Optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppeltem Plasma (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry)
KAK <sub>pot</sub>	Potenzielle Kationenaustauschkapazität
KW	Königswasser(-extraktion)
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ammoniumnitrat(-extraktion)
Ni	Nickel
OB	Oberboden(-horizonte)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
pH	pH-Wert (negativer dekadischer Logarithmus der H <sup>+</sup> -Ionen-Aktivität)
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
Sb	Antimon
Tl	Thallium
TM	Trockenmasse Boden
UB	Unterboden(-horizonte)
UG	Untergrund
V	Vanadium
Zn	Zink

## **I Einleitung und Definitionen zu den betrachteten Spurenstoffgehalten**

Nach Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG 1998) ist der Boden vor schädlichen Veränderungen bzw. Belastungen zu schützen. In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) wurden dazu Vorsorgewerte definiert. Um eine Basis für derartige Bewertungen zu schaffen, sind entsprechende Vergleichswerte nötig. Diese werden von den Hintergrundwerten gebildet.

Um der Variabilität der geogenen Gehalte gerecht zu werden, werden Substratgruppen differenziert, die den vorliegenden Bericht als Hauptgliederungsmerkmal strukturieren. Zurückgegriffen wird dabei auf die Liste der „prioritären Bodenausgangsgesteine“ nach LABO (2003), die an hessische Gesteinsvorkommen angepasst wurde. Der Anteil einer äolischen Komponente, der je nach Ausgangsgestein zu einer Minderung (Verdünnung) oder Erhöhung des Gehaltes führen kann, dient der weiteren Gliederung. Zur Lokalisierung der Substratgruppen werden die Bodeneinheiten der Bodenkarte 1 : 50 000 (HLUG 2002) herangezogen.

Die bisherige Ausweisung von Hintergrundwerten für hessische Böden, veröffentlicht in LABO (2003), orientierte sich an einer abweichenden Substratklassifizierung, wobei weiterhin die Hintergrundwerte für Oberböden in anderen Substratgruppen als die Hintergrundwerte für Unterböden oder Untergrund vorlagen. Ebenso wurde bei der Gebietstypisierung auf eine inzwischen veraltete, siedlungsstrukturelle Einteilung zurückgegriffen. In der vorliegenden Arbeit wird die von LABO (2003) empfohlene, gemeindebezogene Differenzierung berücksichtigt.

Die Datengrundlage für die Berechnung von Hintergrundwerten bildet das Bodenzustandskataster Hessen, das im Bodenformenarchiv (BoFA) des HLUG verwaltet wird. Das Bodenformenarchiv repräsentiert das Datenbanksystem zur Erfassung, Pflege und Auswertung der Daten des Bodenzustandskatasters. Bei den Bodendaten handelt es sich um Punktdaten, die sich aus Profilbeschreibungen sowie Labordaten zusammensetzen. Erhoben wurden die Daten im Rahmen verschiedener Projekte und über einen langen Zeitraum, weshalb vor der aktuellen statistischen Auswertung eine Qualitätsprüfung der Daten stattgefunden hat. Grundlegende Arbeiten zur Qualitätssicherung und vorbereitende Auswertungen der Daten wurden in der Arbeit „Schwermetallbezogene Auswertung des Bodenzustandskatasters Hessen“ vorgenommen (SEHR 2010).

Die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes werden über eine Substratgruppenkarte (s. Kartenanlage) im BodenViewer Hessen eingebunden (<http://bodenviewer.hessen.de>). Mittels Abfragen können die Hintergrundwerte für die jeweiligen Substrate eingesehen werden.

### ***Geogener Grundgehalt von Bodensubstraten***

Der geogene Grundgehalt umfasst den natürlichen Stoffbestand eines Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein (lithogener Anteil) und der durch bodenbildende Prozesse beeinflussten sekundären Umverteilung (An- oder Abreicherung) von Stoffen im Boden ergibt (pedogener Anteil). Gegebenenfalls können oberflächennah anstehende Vererzungen als chalkogener Anteil zu einem deutlichen Anstieg der lokalen bis regionalen geogenen Grundgehalte führen (HINDEL et al. 1998; LABO 2003).

### ***Hintergrundgehalt***

Der Hintergrundgehalt ist gemäß § 2 Absatz 9 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) definiert als „Schadstoffgehalt eines Bodens, der sich aus dem geogenen (natürlichen) Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden zusammensetzt“.

Diffus sind Einträge, die sich nicht auf eine lokalisierbare Quelle (z.B. punktueller Emittenteneinfluss, Altlasten) zurückführen lassen, sondern großräumig (ubiquitär) und über längere Zeiträume erfolgt sind, wie beispielsweise durch Hausbrand, Kraftfahrzeugverkehr oder landwirtschaftliche Emissionen.

Der Hintergrundgehalt organischer Schadstoffe ist überwiegend identisch mit den ubiquitären anthropogenen Einträgen, eine geogene Komponente gibt es nicht oder sie ist vernachlässigbar gering. Die bedeutendste Einflussgröße für die Verteilung im Boden ist die Bodennutzung.

### **Hintergrundwerte**

Hintergrundwerte beschreiben den stofflichen Ist-Zustand der diffus-ubiquitär belasteten Böden und bilden somit Vergleichswerte für verschiedene Fragestellungen des Bodenschutzes. Nach LABO (2003) sind sie definiert als „repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden“.

### **Vorsorgewerte**

In § 8 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG (1998) sind Vorsorgewerte definiert als „Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht“. Prinzipiell beruht die Ableitung dieser Vorsorgewerte auf ökotoxikologischen Kriterien, sie wurden jedoch auch mit Hintergrundwerten abgeglichen (BACHMANN et al. 1998).

Die in der BBodSchV (1999) aufgeführten Vorsorgewerte für Metalle werden nach den Hauptbodenarten unterschieden. Sie gelten für Böden mit einem Humusgehalt von  $\leq 8\%$  und berücksichtigen elementspezifisch die Bodenreaktion (Tabelle I-1).

**Tabelle I-1: Vorsorgewerte für Metalle (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Königswasseraufschluss; BBodSchV 1999)**

Böden	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5 <sup>1)</sup>	100 <sup>1)</sup>	100	60	1	70 <sup>1)</sup>	200 <sup>1)</sup>
Bodenart Lehm/Schluff	1 <sup>2)</sup>	70 <sup>2)</sup>	60	40	0,5	50 <sup>2)</sup>	150 <sup>2)</sup>
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60
<b>Böden mit naturbedingt und großflächig siedlungsbedingt erhöhten Hintergrundgehalten</b>	unbedenklich, soweit eine Freisetzung der Schadstoffe oder zusätzliche Einträge nach § 9 Abs. 2 und 3 dieser Verordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen erwarten lassen						

<sup>1)</sup> bei einem pH-Wert von  $< 6$  (für Blei  $< 5$ ) gelten die Vorsorgewerte der Bodenart Lehm/Schluff

<sup>2)</sup> bei einem pH-Wert von  $< 6$  (für Blei  $< 5$ ) gelten die Vorsorgewerte der Bodenart Sand

Für organische Stoffe werden Vorsorgewerte differenziert nach dem Humusgehalt angegeben (Tabelle I-2).

**Tabelle I-2: Vorsorgewerte für organische Stoffe (in mg/kg Trockenmasse, Feinboden; BBodSchV 1999)**

Böden	Polychlorierte Biphenyle (PCB <sub>6</sub> )	Benzo-(a)pyren	Polyzykl. Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK <sub>16</sub> )
Humusgehalt $> 8\%$	0,1	1	10
Humusgehalt $\leq 8\%$	0,05	0,3	3

## II Datengrundlagen und Methodik

### II.1 Datengrundlagen

Die Datenbasis der Auswertung zur Ableitung der Hintergrundwerte von Spurenstoffen bildet das Bodenzustandskataster Hessen. Im Bodenformenarchiv Hessen (BoFA) werden sowohl umfassende Profilbeschreibungen der Böden als auch Analysenergebnisse geführt, die eine systematische Auswertung der Daten ermöglichen. Die Daten entstammen diversen Projekten. Neben aktuellen, wie beispielsweise der Bodeninventur oder der Bodendauerbeobachtung, flossen auch Datensätze seit langem abgeschlossener Projekte (sog. Altdaten) mit ein. Insgesamt umfasst der Erhebungszeitraum der Daten für die Berechnung der Hintergrundwerte anorganischer Stoffe die Jahre 1984-2010.

Für die Ermittlung der Hintergrundwerte organischer Schadstoffe muss der Erhebungszeitraum enger gefasst werden. Organische Stoffe unterliegen in Böden Ab- und Umbauprozessen. Gerade bei den Stoffgruppen, bei denen bereits seit längerer Zeit ein Anwendungsverbot besteht, ist eine Abnahme der Schadstoffgehalte und eine Verschiebung zu Gunsten von Abbauprodukten zu erwarten. Generell sollen zur Ermittlung von Hintergrundwerten möglichst aktuelle Datenkollektive verwendet werden; bei Daten, die älter als ein Jahrzehnt sind, soll der Erhebungszeitraum angegeben werden (LABO 2003). Die Basis der hier verwendeten Daten bildet die Bodendauerbeobachtung, bei der die Flächen in einem Turnus von ungefähr 5 Jahren wiederholt beprobt werden. Für die Berechnung der Hintergrundwerte organischer Schadstoffe wird die jeweils aktuellste Probennahme ausgewertet. Darüber hinaus werden Ergebnisse von weiteren, in den letzten Jahren durchgeführten Projekten verwendet, wie beispielsweise der Bodenzustandserhebung im Wald II (BZE II). Insgesamt umfasst der Erhebungszeitraum der Daten für die Berechnung der Hintergrundwerte organischer Schadstoffe die Jahre 2005-2011.

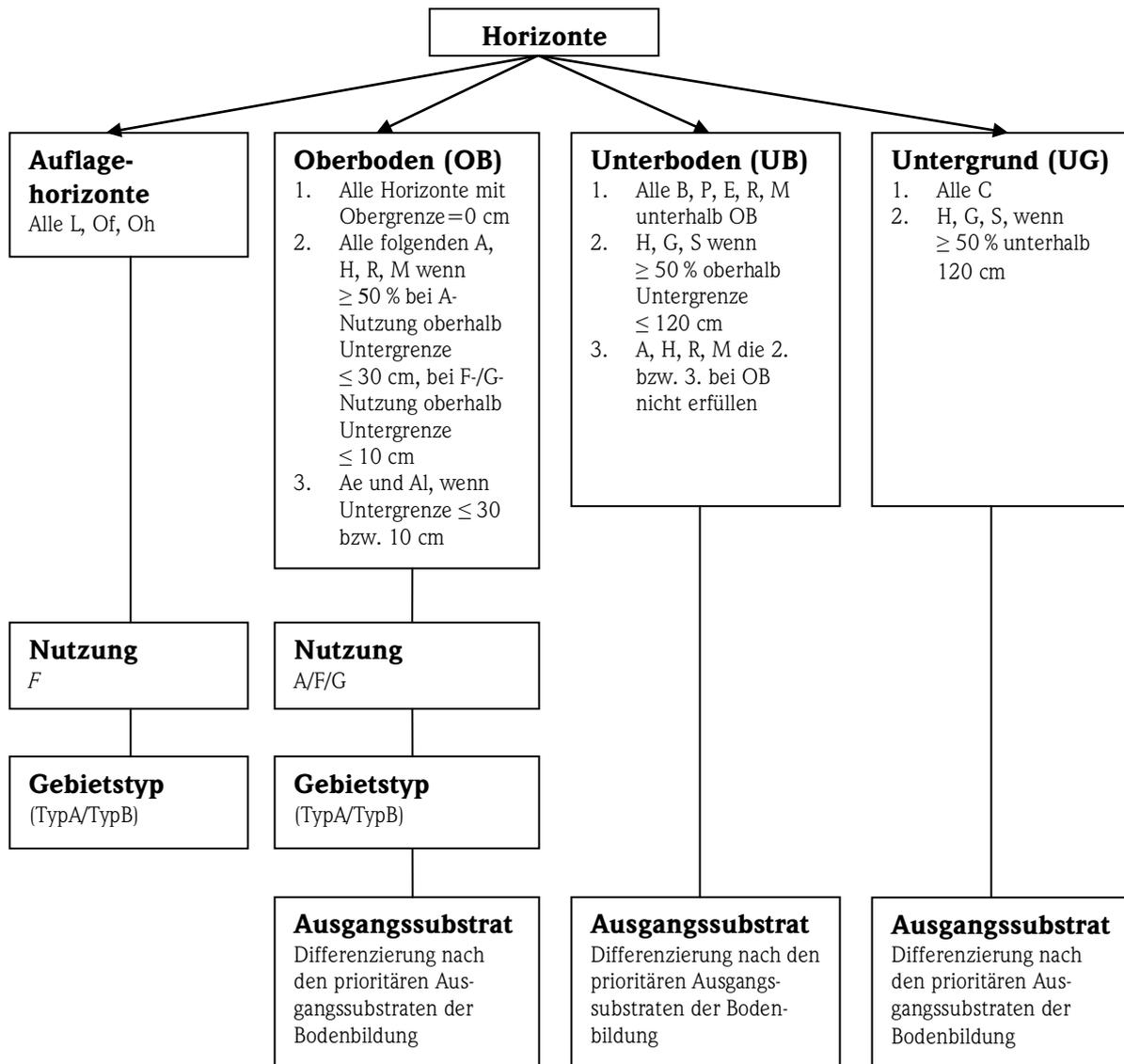
Tabelle II-1 gibt einen Überblick über die Anzahl der verwendeten Bodenformen, Horizonte und nach Extraktionsverfahren differenzierten Labordatensätze sowie Erhebungszeiträume.

**Tabelle II-1: Übersicht über die verwendeten Datengrundlagen**

Hintergrundwerte	Erhebungszeitraum	Anzahl Bodenformen	Anzahl Horizonte	Anzahl Labordaten	Labordaten KW- und Totalgehalte (umgerechnet)	Labordaten NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
Anorganische Stoffe	1984-2010	2855	10570	153974	117944	36030
Organische Stoffe	2005-2011	190	290	28710	--	--

### II.2 Methodik zur Auswertung der Bodendaten

Die Auswertung der hessischen Daten zur Berechnung von Hintergrundwerten erfolgt nach den Kriterien der LABO (2003). Im Fokus steht dabei die Bildung von Betrachtungsgruppen nach der Substratzusammensetzung, der Horizontansprache und Tiefenstufe, der Bodennutzung und dem Gebietstyp (vgl. Abbildung II-1).



**Abbildung II-1: Schema der Gruppenbildung zur Bestimmung der Hintergrundwerte anorganischer Stoffe (nach LABO 2003)**

Die wichtigste Einflussgröße für die Gehalte anorganischer Stoffe in Böden bildet das Ausgangssubstrat, da es – mit Ausnahme der Auflagehorizonte – das gesamte Bodenprofil prägt. Das Ausgangssubstrat wird durch die bodenbildenden Ausgangsgesteine (Fest- oder Lockergesteinszersatz) sowie durch eingemischte oder überlagernde Fremdkomponenten charakterisiert. Durch pedogene Prozesse findet teilweise eine weitere Überprägung der Substrate statt. Dies wird unter anderem durch die Differenzierung von Horizontgruppen (Auflage-, Oberboden- und Unterbodenhorizonte sowie Untergrund) berücksichtigt. Da die Oberboden- und Auflagehorizonte darüber hinaus durch Bodennutzung und Immissionen beeinflusst sind, werden diese bei ausreichender Datengrundlage weiter nach Bodennutzungsklassen und Gebietstypen untergliedert.

### II.3 Substratklassifikation

Die Substrate werden im Bodenformenarchiv Hessen (BoFA) mit 3 Parametern charakterisiert, die als Grundlage einer substratbezogenen Gruppenbildung dienen:

- Schichtbeschreibung mit Stratigraphie, Petrographie und Genese  
→ u. a. Gliederung der periglazialen Lagen (Hauptlage (LH), Mittellage (LM), Basislage (LB))
- Beschreibung der standörtlichen Komponenten (anstehendes Untergrundgestein)  
→ Klassifikation in Anlehnung an die Liste der „prioritären Bodenausgangsgesteine“ (LABO 2003)
- Beschreibung der äolischen Fremdkomponente (Löss, Sandlöss, Flugsand, Bimsasche)  
→ Klassifizierung in Anlehnung an den Erfassungsstandard Boden/Bodenschutz Hessen (FRIEDRICH et al. 2003):
  - „kein Anteil bis arm an Komponente“ mit einem Anteil  $< 35\%$ ,
  - „deutlicher bis reicher Komponentenanteil“ mit einem Anteil  $\geq 35\%$  bis  $< 90\%$  (beide Klassen gelten nur für Lösssubstrat) und
  - „ausschließlicher Anteil“ mit einem Anteil  $\geq 90\%$  (alle äolischen Substrate).

Eine Übersicht der Substratgruppen mit deren Zusammensetzungen und Häufigkeiten (Anzahl der Schichten vor Ausreißerbereinigung) ist in Tabelle II-2 dargestellt. Die Substrathauptgruppen bilden dabei lithogenetisch übergeordnete Gruppen. Abbildung II-2 zeigt die räumliche Verteilung der verwendeten Bodenprofilaten in Hessen.

**Tabelle II-2: Beschreibung der Substratgruppen**

Substrat-hauptgruppe	Substratgruppe	Beschreibung	An-zahl
Organogene Substrate	Torfe und Anmoor-substrate	organogene Substrate mit > 15 % organischer Substanz	24
Fluviatile Substrate	Auensandssubstrate	Auensand (holozäne, fluviatile Sande)	154
	Auenschluffsubstrate	Auenschluff/-lehm (holozäne, fluviatile Schluffe und Lehme)	366
	Auentonssubstrate	Auenton (holozäne, fluviatile Tone)	140
	Flusssedimentsubstrate	Terrassen-/Flusssand (pleistozäne, fluviatile Sande und Kiese der Terrassenkörper)	382
	Hochflutsubstrate	Hochflutsedimente (pleistozäne, fluviatile Schluffe, Lehme und Tone)	359
Äolische Substrate	Lösssubstrate	Löss- und Lösslehmsubstrat (pleistozäne, äolische Substrate bzw. solifluktiv in LH und LM) mit einem Lössanteil $\geq 90$ %	1143
	Sandlöss- und Lösssandssubstrate	Sandlöss- und Lösssandsubstrat (pleistozäne, äolische Substrate bzw. solifluktiv in LH und LM)	45
	Flugsandssubstrate	Flugsandsubstrat (pleistozäne, äolische Substrate bzw. solifluktiv in periglazialen Lagen)	386
	Tephra-substrate	Bimsaschesubstrat (Alleröd), Bildungsprozesse: solifluktiv, fluviatil, äolisch, angeschwemmt, solimixtiv (in situ)	13
Kolluviale Substrate	Kolluvialsubstrate mit heterogener Zusammensetzung	Kolluvialsubstrate (holozäne, kolluvial sowie anthropogen gekippte und verschobene natürliche Bodensubstrate) mit heterogener Zusammensetzung	385
	Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten	Kolluvialsubstrate (holozäne, kolluvial sowie anthropogen gekippte und verschobene natürliche Bodensubstrate) aus Löss- und Sandlössderivaten	310
<b>Bodensubstrate mit periglazialer Überprägung</b>			
Carbonatische Substrate	Substrate aus Carbonaten	Carbonatgesteine – Zechstein (Kalkstein, Dolomitstein), Trias (Kalkstein), Muschelkalk (Kalkstein), Tertiär (Kalkstein)	17
	lössarme Substrate aus Carbonaten	Periglaziale Lagen (v. a. LB) aus Carbonatgesteinen – Zechstein (Kalkstein, Dolomitstein), Muschelkalk (Kalkstein), Tertiär (Kalkstein) – mit einem Lössanteil von > 0 - 35 %	67
	lössreiche Substrate mit Carbonaten	Periglaziale Lagen (LH und LM) mit Carbonatgesteinen – Devon (Carbonat-Festgestein), Zechstein (Kalkstein), Muschelkalk (Kalkstein) – mit einem Lössanteil von ca. 35 bis < 90 %	39
Psammitische und psephitische Substrate (und metamorphe Äquivalente)	Substrate aus Psammiten und Psephiten	Grobklastische Gesteine – Devon (Grauwacke), Rotliegend (Arkose, Konglomerat), Zechstein (Konglomerat), Buntsandstein (Fein-/Sandstein), Sand (Tertiär)	62
	lössarme Substrate aus Psammiten und Psephiten	Periglaziale Lagen (v. a. LB) aus grobklastischen Gesteinen – Paläozoikum (Grauwacke, Quarzit, Sandstein), Devon (Grauwacke, Quarzit), Rotliegend (Konglomerat, Arkose, Quarzit), Zechstein (Sandstein), Buntsandstein (Sandstein), Tertiär (Quarzit), Pleistozän (Sand) – mit einem Lössanteil von > 0 - 35 %	898

Substrat-hauptgruppe	Substratgruppe	Beschreibung	An-zahl
	lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten (überwiegend Sand)	Sandige periglaziale Lagen (LH und LM) mit grobklastischen Gesteinen – Paläozoikum (Grauwacke), Rotliegend (Konglomerat, Sandstein), Buntsandstein (Sandstein), Tertiär (Quarzit), Pleistozän (Sand) – mit einem Lössanteil von ca. 35 bis < 90 %	260
	lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten (überwiegend Schluff)	Sandig-schluffige periglaziale Lagen (LH und LM) mit grobklastischen Gesteinen – Paläozoikum (Grauwacke), Devon (Grauwacke, Quarzit), Rotliegend (Konglomerat, Sandstein), Buntsandstein (Sandstein), Tertiär (Sand), Pleistozän (Sand) – mit einem Lössanteil von ca. 35 bis < 90 %	81
Pelitische Substrate (und metamorphe Äquivalente)	Substrate aus Peliten	Feinklastische Gesteine – Paläozoikum (Tonschiefer), Devon (Phyllit, Tonschiefer), Karbon (Schluff(Silt-)stein, Tonschiefer), Rotliegend (Ton), Buntsandstein (Tonstein, Schluff(Silt-)stein), Tertiär (Ton, Schluff)	74
	lössarme Substrate aus Peliten	Periglaziale Lagen (v. a. LB) aus feinklastischen Gesteinen – Paläozoikum (Tonschiefer), Devon (Tonschiefer, Phyllit), Karbon (Tonschiefer, Schluff(Silt-)stein), Zechstein (Tonstein), Buntsandstein (Tonstein, Schluffstein), Tertiär (Ton, Tonmergel), Pleistozän (Ton, Schluff) – mit einem Lössanteil von > 0 - 35 %	716
	lössarme Substrate aus Peliten (überwiegend Schutte)	Schuttreiche periglaziale Lagen (v. a. LB) aus feinklastischen Gesteinen – Devon (Tonschiefer), Karbon (Tonschiefer, Schluff(Silt-)stein), Buntsandstein (Tonstein, Schluff(Silt-)stein) – mit einem Lössanteil von > 0 - 35 %	82
	lössreiche Substrate mit Peliten	Periglaziale Lagen (LH und LM) mit feinklastischen Gesteinen – Paläozoikum (Tonschiefer, Phyllit), Devon (Tonschiefer, Phyllit), Karbon (Tonschiefer, Schluff(Silt-)stein, Alaunschiefer), Rotliegend (Tonstein), Buntsandstein (Tonstein), Tertiär (Ton) – mit einem Lössanteil von ca. 35 bis < 90 %	523
Vulkanogene Substrate (und metamorphe Äquivalente)	Substrate aus Vulkaniten	Paläozoische Metavulkanite, tertiäre (quarz- bis foidführende) Vulkanite	54
	lössarme Substrate aus Vulkaniten	Periglaziale Lagen (v. a. LB) aus paläozoischen Metavulkaniten, tertiären (quarz- bis foidführenden) Vulkaniten mit einem Lössanteil von > 0 - 35 %	592
	lössreiche Substrate mit Vulkaniten	Periglaziale Lagen (LH und LM) mit paläozoischen Metavulkaniten, tertiären (quarz- bis foidführenden) Vulkaniten mit einem Lössanteil von ca. 35 bis < 90 %	338
Plutonitische Substrate (und metamorphe Äquivalente)	Substrate aus Plutoniten	Plutonite – quarz- bis foidführende bis quarzreiche Plutonite	13
	lössarme Substrate aus Plutoniten	Periglaziale Lagen (v. a. LB) aus Plutoniten – Paläozoikum (quarzreiche Plutonite, plutonische Gesteine, Gneis), Karbon (quarzreiche Plutonite), Silur (Glimmerschiefer), ohne Angabe der Stratigraphie (Diorit) – mit einem Lössanteil von > 0 - 35 %	46
	lössreiche Substrate mit Plutoniten	Periglaziale Lagen (LH und LM) mit Plutoniten – Paläozoikum (plutonisches Gestein, quarzführender bis -reicher Plutonit, Ganggestein), Karbon (quarzreicher Plutonit), Silur (Glimmerschiefer), ohne Angabe der Stratigraphie (Diorit) – mit einem Lössanteil von ca. 35 bis < 90 %	37
<b>Summe der Substratschichten</b>			<b>7606</b>

## Räumliche Verteilung der Auswertungsprofile nach Substrathauptgruppen im Oberboden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

0 10 20 40 km

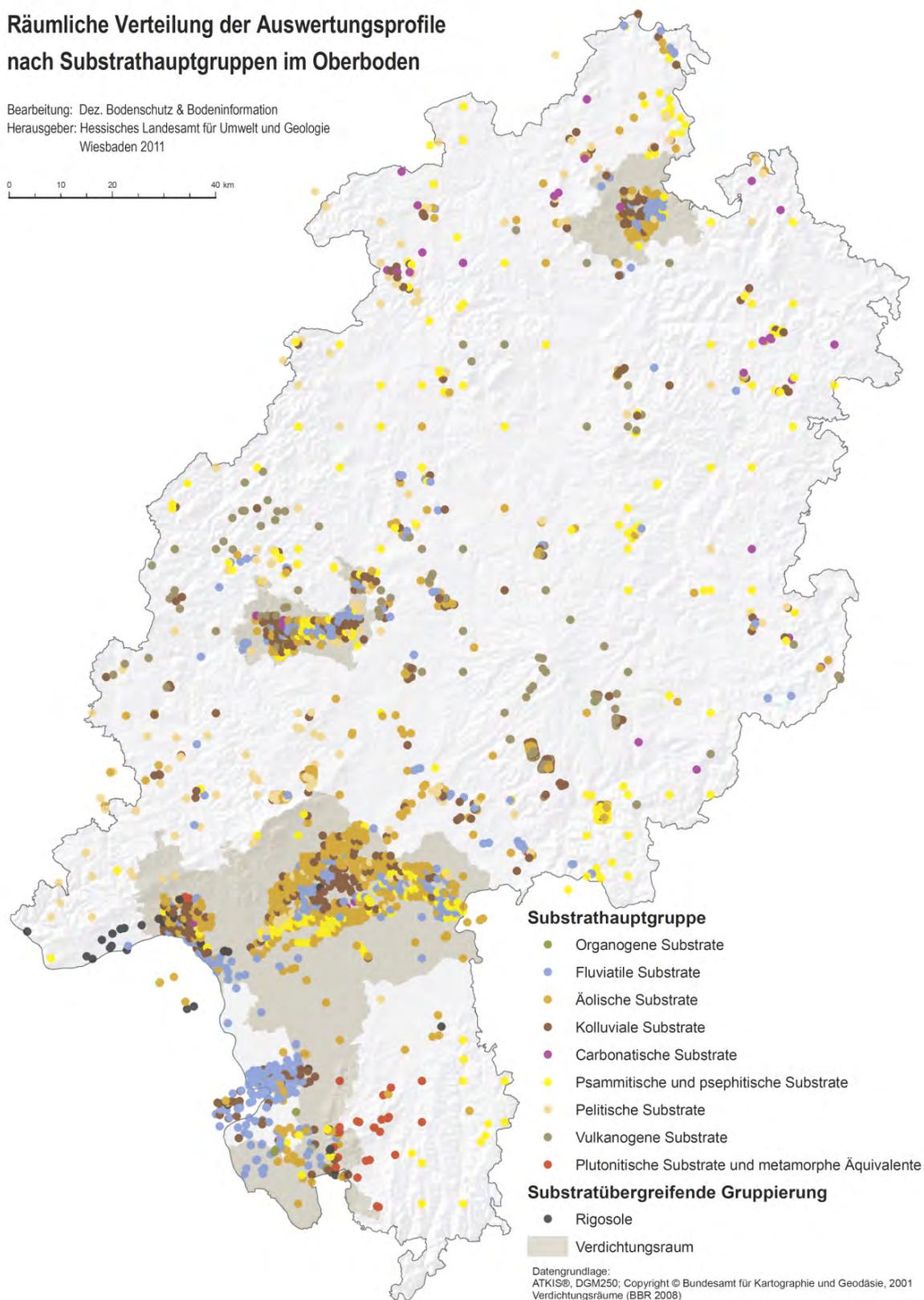


Abbildung II-2: Verteilung der Profile differenziert nach den Substrathauptgruppen im Oberboden

## II.4 Horizontgruppen

Die Differenzierung der Horizonte in Horizontgruppen erfolgt nach den Vorgaben der LABO (2003) horizont- und tiefenbezogen. Dabei werden die Horizontsymbole nach Ad-hoc-AG Boden (1994) unter Einbeziehung der Tiefenstufen nach BBodSchV, Anhang 1 (1999), verwendet. Es werden folgende Horizontgruppen gebildet:

### ***Auflagehorizonte (HLAGE)***

Diese Gruppe beinhaltet die unter Forstnutzung dem Mineralboden aufliegenden organischen Auflagehorizonte, die durch die Horizontsymbole L, Of und Oh beschrieben werden.

Neben der substratdifferenzierten Auswertung werden in einem Extrakapitel (Kapitel V.6.1) die Ergebnisse einer substratübergreifenden Auswertung dargestellt. Dabei werden die Auflagehorizonte als mächtigkeitsgewichteter Mittelwert zusammengefasst sowie einzeln (L, Of+Oh, Of, Oh) hessenweit ausgewertet. Darüber hinaus werden die Auflagen nach den Bestandstypen Laub-, Misch- und Nadelwald sowie nach Gebietstyp differenziert.

### ***Oberbodenhorizonte (OB)***

Diese Gruppe umfasst **alle** obersten mineralischen und organischen Bodenhorizonte sowie alle folgenden A-, H-, R- oder M-Horizonte, wenn sie innerhalb einer nutzungsabhängigen Untergrenze von  $\leq 30$  cm für Acker- und Gartennutzung sowie Sonderkulturen und  $\leq 10$  cm für Grünland- und Forstnutzung vorkommen. Überschreiten diese Horizonte die entsprechenden Untergrenzen, liegen aber zu mehr als 50 % ihrer Mächtigkeit innerhalb der definierten Teufen, so zählen sie ebenfalls zur Gruppe der Oberbodenhorizonte. Zu berücksichtigende Verarmungshorizonte Ae und Al müssen oberhalb der nutzungsspezifischen Untergrenzen enden. Bei einer Teufenüberschreitung werden sie der Gruppe Unterbodenhorizonte zugeordnet.

### ***Unterbodenhorizonte (UB)***

Zur Gruppe der Unterböden zählen die Horizonte zwischen Oberboden und Untergrund, die durch die wesentlichen pedogenetischen Prozesse der Stoffan- und -abreicherung beeinflusst sind. Darunter fallen alle B-, P-, E-, R- und M-Horizonte für den gesamten Tiefenbereich unterhalb des Oberbodens sowie alle H-, G- und S-Horizonte, die mehr als 50 % ihrer Mächtigkeit oberhalb von 120 cm aufweisen.

### ***Untergrundhorizonte (UG)***

Zu dieser Gruppe gehören alle C-Horizonte. Bei Stauwasser-, Grundwasserböden oder Mooren ohne Ausweisung eines C-Horizontes werden die H-, G- und S-Horizonte zu den Untergrundhorizonten gezählt, wenn mehr als 50 % der Horizontmächtigkeit Teufen unterhalb 120 cm einnimmt.

## II.5 Bodennutzung

Bei der Ableitung von Hintergrundwerten soll nach LABO (2003) für die Oberböden eine weitere Differenzierung nach Nutzungsarten vorgenommen werden, da die Nutzung einen unmittelbaren Einfluss auf die Stoffverteilung nimmt und nutzungsspezifische Stoffeinträge möglich sind. Bei Ackerböden treten i. d. R. geringere Stoffgehalte auf, da die regelmäßige Bodenbearbeitung eine Verdünnung zur Folge hat. Dagegen reichern sich Stoffe in den oberen Horizonten der Böden unter Dauergrünlandnutzung häufig an. Auch Waldböden können durch den Filtereffekt („Auskämmeffekt“) der Vegetation höhere Gehalte aufweisen.

Die Einteilung erfolgt nach den drei Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Forst. Knapp 39 % der Profile der verwendeten Daten wurden unter Ackernutzung, 31 % unter Grünland- und 30 % unter Forstnutzung aufgenommen.

Zusätzlich zu den drei Hauptnutzungsarten werden in Kapitel V.6.2 substratübergreifende regionale Hintergrundwerte für Böden unter weinbaulicher Nutzung (Rigosole) beschrieben.

## **II.6 Gebietstyp**

Diffuse atmogene Einträge beeinflussen den Hintergrundgehalt in Oberböden. Um die gebiets-spezifische Immissionssituation zu berücksichtigen, empfiehlt die LABO (2003) eine Gruppierung in Gebietstypen, bei der die Differenzierung auf Gemeindeebene erfolgt. Es werden vorwiegend ländlich geprägte Räume (Typ A, 67 % der verwendeten Bodenformen) und Verdichtungsräume (Typ B, 33 %) unterschieden.

Zu den Verdichtungsräumen gehören nach der Definition des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR 2011) Gemeinden, deren Fläche im Vergleich zum Bundeswert überdurchschnittlich als Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt wird und die gleichzeitig eine über dem Bundeswert liegende Siedlungsdichte aufweisen. Ein wesentliches Kriterium eines Verdichtungsraumes ist darüber hinaus, dass dort mehr als 150.000 Einwohner leben. In Hessen sind vier Verdichtungsräume ausgewiesen. Dies sind von Norden nach Süden die Gebiete um Kassel und Gießen, das Rhein-Main-Gebiet und der nördliche Teil des Rhein-Neckar-Raumes. Die räumliche Ausdehnung der Verdichtungs-räume ist Abbildung II-2 zu entnehmen. Die LABO (2003) empfiehlt, spezifische Hintergrundwerte je Verdichtungsraum zu berechnen. Da die vorliegenden Datenkollektive dafür jedoch nicht umfassend genug sind, werden zusammenfassende Hintergrundwerte über alle hessischen Verdichtungsräume gebildet.

## **III Probennahme und Analytik**

### **III.1 Beprobung**

Um eine Vergleichbarkeit der erhobenen Daten zu gewährleisten, muss bereits bei der Probennahme auf gewisse Vorgaben geachtet werden (LABO 2003). Grundsätzlich erfolgten die Probennahmen horizontbezogen. Für jeden untersuchten Standort wurde pro definierter Horizontgruppe (OB, UB, UG) ein Wert ermittelt, der für die Berechnung der Hintergrundwerte verwendet wurde. Wurden je Horizontgruppe mehrere Horizonte beprobt oder innerhalb eines Horizontes mehrere Proben entnommen, so ging der mit der Mächtigkeit gewichtete Mittelwert der Analysenwerte in die Berechnungen ein.

### **III.2 Laboranalytik**

#### **III.2.1 Bestimmung anorganischer Stoffe**

Die Ermittlung von Hintergrundgehalten anorganischer Stoffe kann nach LABO (2003) entweder anhand der königswasserextrahierbaren Fraktion (KW-Extraktion) oder anhand sogenannter Totalgehalte in flusssäurehaltigen Aufschlüssen (HF-(Druck-)Aufschluss) bzw. mittels Röntgenfluoreszenzanalyse nach Schmelzaufschluss (RFA) erfolgen. Begründet durch die in der BBodSchV (1999) bzw. der AbfklärV (1992) definierten Bodenwerte, stellt die KW-Extraktion das Referenzverfahren dar und wird für die Ableitung von Hintergrundwerten empfohlen. Die vorhandenen Totalgehalte wurden daher in KW-Gehalte umgerechnet (s. Kapitel III.2.2).

Für Fragestellungen bezüglich des Wirkungspfades Boden-Nutzpflanze sind pflanzenverfügbare Gehalte zu ermitteln. Diese werden nach BBodSchV (1999) mittels Ammoniumnitrat-Extraktion ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Extraktion) analysiert.

In Tabelle III-1 werden die bei der Analytik der anorganischen Spurenstoffe verwendeten Extraktionen und Analysenverfahren (Bestimmungsverfahren und entsprechende Normen) aufgeführt. Aufgrund des langen Erhebungszeitraums und der einhergehenden Weiterentwicklung der Messtechnik, variieren die eingesetzten Analysenverfahren. Ein Großteil der Methoden und Normen (KW- und  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte) ist in Anhang 1 der BBodSchV (1999) enthalten, in dem geeignete Untersuchungsverfahren aufgelistet werden. Dort nicht aufgeführte Verfahren wurden gesondert auf ihre Plausibilität geprüft und auffällige Datensätze, erkenntlich beispielsweise an stark abweichenden Bestimmungsgrenzen (s. Kapitel IV.1), wurden eliminiert. Für die Interpretation der Analysedaten ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Labore eingesetzt wurden.

Die Angabe der Stoffgehalte erfolgt für alle Auswertungsgruppen in mg/kg TM (Trockenmasse Boden). Zwar wäre bei Horizonten mit geringem spezifischem Gewicht (Auflagehorizonte, Moorhorizonte) eine volumenspezifische Angabe sinnvoller, jedoch sind bei vielen untersuchten Standorten keine volumenbezogenen Proben entnommen worden, so dass eine entsprechende Datengrundlage fehlt.

**Tabelle III-1: Bestimmung anorganischer Spurenstoffe**

	Extraktionsmittel	Analysenverfahren
<b>KW-Gehalte</b>	Königswasser nach DIN 38414 S7 oder DIN ISO 11466	<b>AAS</b> (nach DIN ISO 11047, DIN EN ISO 11969, DIN EN ISO 5961, DIN EN 1233, DIN EN 1483, DIN 38405 D18, DIN 38406 E6-1, DIN 38406 E7-1, DIN 38406 E8-1, DIN 38406 E11-1, DIN 38406 E12-2, DIN 38406 E24-1, DIN 38406 E25-1, DIN 38406 E26) <b>ICP-OES</b> (nach DIN 38406 E22, DIN EN ISO 11885)
<b>Totalgehalte</b>	Schmelzaufschluss mittels Lithium-Borat oder -Tetraborat	Röntgenfluoreszenzanalyse ( <b>RFA</b> )
	HF/HNO <sub>3</sub> /HClO <sub>4</sub> -(Druck-)Aufschluss	<b>AAS</b> oder <b>ICP-OES</b> (ohne nähere Angabe von Normen)
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte</b>	1 M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> nach DIN 19730	<b>AAS</b> (nach DIN ISO 11047, DIN EN ISO 11969, DIN 38405 D18, DIN 38406 E6-3, DIN 38406 E7-1, DIN 38406 E8-1, DIN 38406 E11-1, DIN 38406 E12-2, DIN 38406 E25-1, DIN 38406 E26) <b>ICP-MS</b> (nach DIN 38406 E29) <b>ICP-OES</b> (nach DIN 38406 E22)

### III.2.2 Umrechnung der Totalgehalte

Das Ziel, die Datengrundlage zu maximieren, wird durch die Umrechnung der Totalgehalte in königswasserextrahierbare Gehalte erreicht. Dabei werden die substratübergreifenden Regressionsfunktionen der Ad-hoc-AG Boden (2005) für die Elemente Cd, Cu, Ni, Pb und Zn verwendet. Die Elemente Cr, Hg und V werden mittels der Funktionen von HORNBURG (2002, 2003), die Cr-Gehalte (RFA) nach UTERMANN et al. (2000) transformiert. Diese Umrechnungsverfahren dürfen nur innerhalb nach unten und oben abgegrenzter, elementspezifisch definierter Gültigkeitsbereiche angewendet werden.

Insgesamt wurden knapp 50.000 Datensätze nach den genannten Methoden umgerechnet. Dies entspricht einem Anteil von ca. 40 % der verwendeten Datensätze. Außerhalb der Gültigkeitsbereiche, die für eine Umrechnung eingehalten werden müssen, lagen nur ca. 8 % der analysierten Totalgehalte. Diese Datensätze wurden von den weiteren Auswertungen ausgeschlossen.

### III.2.3 Bestimmung organischer Schadstoffe

Tabelle III-2 gibt die zur Bestimmung der organischen Stoffgruppen verwendeten Extraktionen und Labormethoden wieder. Bei einigen Stoffgruppen werden mehrere Methoden genannt, da wie bei den anorganischen Spurenstoffen entweder im Laufe der Jahre ein Wechsel der Methodik erfolgte oder die Daten in unterschiedlichen Laboren nach verschiedenen Normen analysiert wurden. Da die Untersuchungsverfahren mit Ausnahme des bisher nicht genormten Verfahrens zur dl-PCB-Analytik in Anhang 1 der BBodSchV (1999) als geeignete Verfahren aufgeführt werden, ist eine Vergleichbarkeit der Analysemethoden gewährleistet.

**Tabelle III-2: Bestimmung organischer Schadstoffe**

Stoffgruppe	Extraktionsmittel	Analysenverfahren
PCDD/F	Toluol	DIN 38414 S24: Bestimmung von polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF).
PAK	Aceton/Petrol-ether/Wasser	VDLUFA (1996): Methodenbuch, Band VII, Umweltanalytik, 3.3.3. Darmstadt.
	Aceton/Petrol-ether	DIN ISO 13877: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen - HPLC-Verfahren.
	Tetrahydrofuran	LUA NRW (1994): Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Bodenproben. Merkblätter LUA NRW Nr. 1.
PCB	Aceton/Petrol-ether/Wasser	VDLUFA (1996): Methodenbuch, Band VII, Umweltanalytik, 3.3.2. Darmstadt.
	Hexan/Aceton	DIN ISO 10382: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden (OCP) und polychlorierten Biphenylen (PCB)-Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor.
dl-PCB	Toluol	Angelehnt an EPA (1994): Method 1613 - Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS. Modifiziert für dl-PCB.
CKW	Aceton/Petrol-ether/Wasser	VDLUFA (1996): Methodenbuch, Band VII, Umweltanalytik, 3.3.2. Darmstadt.
	Hexan/Aceton	DIN ISO 10382: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden (OCP) und polychlorierten Biphenylen (PCB)-Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor.

### III.2.4 Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen

Die Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen erfolgte nach den in Tabelle III-3 aufgeführten Analyseverfahren. Ein Methodenwechsel fand nur bei der Bestimmung des organischen Kohlenstoffs statt.

**Tabelle III-3: Bestimmung weiterer Bodenkenngrößen**

Parameter	Analysenverfahren	Beschreibung
CaCO <sub>3</sub>	DIN ISO 10693	Freisetzen mit Salzsäure. Bestimmung des Karbonatgehaltes mittels volumetrischem Verfahren nach SCHEIBLER.
C <sub>org</sub>	DIN 19684-2	Extraktion mit einem Gemisch aus Kaliumdichromat und Schwefelsäure. Bestimmung des Humusgehaltes durch nasse Veraschung der organischen Substanz (Lichterfelder Methode).
	DIN ISO 10694	Bestimmung von org. Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse).
pH (CaCl <sub>2</sub> )	DIN ISO 10390	Potentiometrische Bestimmung in einer Boden-CaCl <sub>2</sub> -Suspension.
KAK <sub>pot</sub>	DIN ISO 13536	Extraktion mit Bariumchlorid-Lösung nach DIN 19684-8. Bestimmung der KAK <sub>pot</sub> nach MEHLICH.
Korngrößenverteilung	DIN 19683-2	Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat (Sieb-Pipett-Methode nach KÖHN).

## **IV Datenauswertung**

### **IV.1 Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze**

Durch die projektspezifischen und über die Zeit weiter entwickelten Analysenverfahren differieren die Bestimmungsgrenzen (BG) einiger Parameter deutlich. Hinsichtlich der Handhabung von Messwerten unterhalb der BG bei der statistischen Auswertung sind in der Literatur verschiedene Vorgehensweisen beschrieben. Die häufigsten Verfahren sind:

- Ersetzen der Messwerte mit der „halben BG“
- Eliminierung von einzelnen Messwerten mit abweichenden BG
- Normieren der Messwerte auf den Wert 0

In der vorliegenden Auswertung wurden die Daten nach der zuletzt genannten Methode behandelt und durch den Wert „0“ ersetzt.

Im Falle einiger Parameter variieren die BG über mehrere Größenordnungen. Bei diesen wurden die einzelnen Messreihen zunächst getrennt überprüft und in begründeten Fällen die Datensätze mit den unempfindlicheren Methoden aus dem Datenkollektiv zur Berechnung der Hintergrundwerte ausgeschlossen.

### **IV.2 Statistische Auswertung**

#### **IV.2.1 Statistische Kennwerte der Parameter**

Als statistische Maßzahlen zur Charakterisierung von Hintergrundwerten werden nach Vorgaben der LABO (2003) das 50. Perzentil (Median) und das 90. Perzentil herangezogen. Generell haben Perzentile den Vorteil, dass sie keine Normalverteilung der Datenkollektive voraussetzen. Weiterhin sind sie relativ robust gegenüber Ausreißern und erlauben, dass auch Werte unterhalb der BG sinnvoll ausgewertet werden können.

Definiert ist das q-Perzentil als derjenige Wert in einer der Größe nach geordneten Datenreihe, der oberhalb q % und unterhalb (100-q) % der Variablenwerte liegt (BAHRENBERG et al. 1999). Weiterhin ist gegeben, dass 50 % der Proben im Wertebereich zwischen dem 25. und 75. Perzentil, dem Interquartilabstand, liegen.

Das 90. Perzentil kann auf anthropogene Kontaminationen und unter Umständen auch auf im Untergrund vorhandene natürliche Stoffanreicherungen deuten (LABO 2003). Um statistisch abgesicherte Aussagen treffen zu können, muss der Stichprobenumfang  $n \geq 20$  betragen (LABO 2003). Bei einem geringeren Stichprobenumfang von  $10 \leq n < 20$  werden die Werte in den Ergebnistabellen kursiv dargestellt. Sie haben nur einen orientierenden Charakter und eignen sich nicht zur Abgrenzung des Hintergrundwertebereichs. Bei einem Stichprobenumfang von  $n < 10$  werden keine Werte dargestellt, sondern lediglich die Anzahl der vorhandenen Datensätze (n) angegeben.

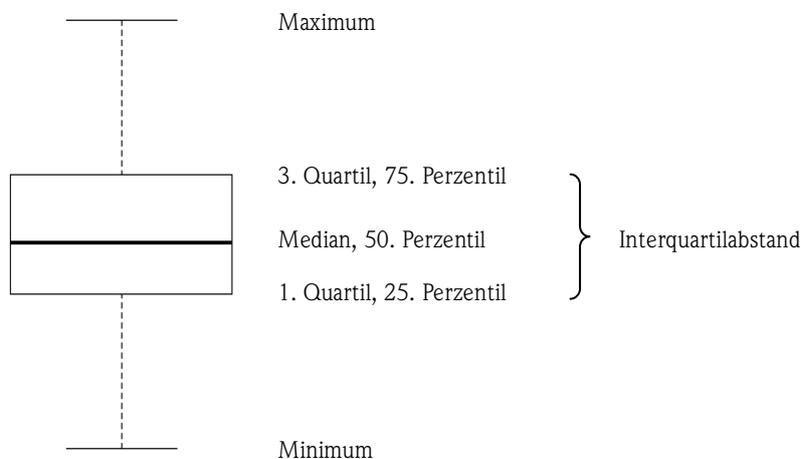
Vor den eigentlichen Berechnungen der Perzentile werden die Datenkollektive auf untypisch belastete Bodenproben überprüft und auffällige Datensätze eliminiert. Diese Ausreißerbereinigung erfolgt elementspezifisch für jede auszuwertende Teilgruppe. Als Ausreißer werden die Extremwerte definiert, die das 75. bzw. das 25. Perzentil um mehr als den dreifachen Interquartilabstand über- bzw. unterschreiten.

Neben der Ausreißerbereinigung wird in LABO (2003) als weiterer Harmonisierungsschritt eine räumliche Repräsentanzanalyse nach UTERMANN et al. (1999) durchgeführt, die durch Ausdünnung des Datenkollektivs eine regionale Übergewichtung verhindern und eine räumliche Unabhängigkeit der

Proben sicherstellen soll. Ebenso sollen die Hintergrundgehalte repräsentativ für die stoffspezifisch relevanten Bezugsgrößen wie Bodenausgangssubstrate oder Nutzungen vorliegen. Dieser Schritt wurde in der vorliegenden Version des Berichtes zunächst zurückgestellt, da das Datenkollektiv bei Ausdünnung und Eliminierung von Datensätzen für viele Gruppen die geforderte Mindestanzahl an Werten unterschreiten würde.

## IV.2.2 Boxplots

Boxplots (Box-and-whisker-Plots) eignen sich zur graphischen Darstellung mehrerer statistischer Kennwerte und geben einen guten Überblick über die Daten und deren Verteilung. Der Aufbau eines Boxplots ist in Abbildung IV-1 dargestellt. Der Median wird durch die Linie innerhalb des Kastens repräsentiert. Die untere Linie des Kastens zeigt das 25. Perzentil (1. Quartil), die obere Linie das 75. Perzentil (3. Quartil). Der Abstand dazwischen gibt den Interquartilabstand wieder und beschreibt die Variabilität der Werte. Minimum und Maximum werden durch die sogenannten Whisker dargestellt.



**Abbildung IV-1: Aufbau eines Boxplots**

Die Boxplots werden auf die ausreißerbereinigten Daten angewendet und besitzen an die Elemente und Substratgruppen angepasste Skalierungen. Weist eine Stichprobe einen Umfang von  $n < 10$  auf, wird der zugehörige Boxplot nicht dargestellt. Alleine  $n$  wird in diesem Fall, analog zur tabellarischen Darstellung, auf der oberen x-Achse abgebildet.

I. d. R. wird je Substratgruppe ein Boxplot der Oberboden-Gehalte dargestellt. Bei den Substratgruppen, für die nur Daten im Untergrund vorliegen (vgl. u. a. Kapitel V.5.2.1), werden stattdessen diese in einem Boxplot abgebildet.

## IV.2.3 Bodenartendiagramme

Zur Charakterisierung der einzelnen Substratgruppen wird jeweils ein Bodenartendiagramm abgebildet. Die Pfeile an den Diagrammen verweisen dabei auf die eingezeichneten weißen Linien und geben die Leserichtung für die prozentualen Gehalte der Korngrößenfraktionen (Sand, Schluff, Ton) an.

Als Eingangsdaten für diese Diagramme dienen die im Labor ermittelten Korngrößenanalysen. Da als Grundlage zur Differenzierung der Substratgruppen hingegen die Geländeansprache (Fingerprobe) herangezogen wurde, können einzelne Datensätze von den Definitionen in der Substratgliederung abweichen.

## IV.2.4 Darstellung der Hintergrundwerte

Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Hintergrundwertetabellen (vgl. ab Kapitel V) in der Reihenfolge Bodenkennwerte – KW-Gehalte –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte sortiert und farblich differenziert (vgl. Tabelle IV-1). KW-Gehalte erhalten einen bläulichen Hintergrund, während die  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte durch einen Gelbton gekennzeichnet werden. Beide Farbtöne werden wiederum in drei Abstufungen verwendet, wobei die hellste Variante den horizontdifferenzierten Daten vorbehalten ist. Eine Stufe dunkler ist der Hintergrund der nutzungsdifferenzierten Auswertung. Den dunkelsten Ton erhält die Ergebnistabelle der gebietstypdifferenzierten Auswertung. Die Bodenkennwerte werden mit einem grauen Hintergrund dargestellt. Die Ergebnisse zu den Auflagehorizonten werden grün hinterlegt.

Eine Differenzierung der Auflagehorizonte erfolgt in Kapitel V.6.1. Die Abstufung von mittel- zu dunkelgrün kennzeichnet dabei die vegetations- bzw. gebietstypdifferenzierten KW-Gehalte.

**Tabelle IV-1: Übersicht über die Darstellung der Ergebnistabellen**

Reihenfolge	Farbton	Abstufung	Ergebnistabelle
1	grau	-	Bodenkennwerte
2-1	blau	Hellblau	Horizontdifferenzierte KW-Gehalte
2-2		Mittelblau	Nutzungsdifferenzierte KW-Gehalte
2-3		Dunkelblau	Gebietstypdifferenzierte KW-Gehalte
2-4 bzw. 1	grün	Hellgrün	KW-Gehalte der Auflagehorizonte
2		Mittelgrün	Vegetationsdifferenzierte KW-Gehalte der Auflagehorizonte
3		Dunkelgrün	Gebietstypdifferenzierte KW-Gehalte der Auflagehorizonte
3-1	gelb	Hellgelb	Horizontdifferenzierte $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte
3-2		Mittelgelb	Nutzungsdifferenzierte $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte
3-3		Dunkelgelb	Gebietstypdifferenzierte $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte

Zur Kennzeichnung von Hintergrundwerten, die unterhalb der BG liegen, wird in den Tabellen prinzipiell „< BG“ eingesetzt, da für viele Spurenelemente variierende BG eine einheitliche Angabe nicht erlauben.

Neben der kursiven Darstellung von Stichprobengrößen  $10 \leq n < 20$  werden in den Tabellen der Horizontgruppen weiterhin Überschreitungen der Vorsorgewerte der BBodSchV (1999) gekennzeichnet. Liegt ein Wert (Median bzw. 90. Perzentil) über dem Vorsorgewert, wird dieser fett dargestellt. Dabei wird für den direkten Vergleich der nach Substratgruppen differenzierten Hintergrundwerte mit den nach Hauptbodenarten differenzierten Vorsorgewerten die in der entsprechenden Substratgruppe dominierende Bodenart zugrunde gelegt (siehe Bodenartendiagramme, Kapitel V). Ähnlich gehen UTERMANN et al. (2010) vor, die für eine bundesweite Auswertung einen Schlüssel erarbeitet haben, der den zugrundegelegten Bodenausgangsgesteinen jeweils eine dominierende Hauptbodenartengruppe zuweist. In diesem Bericht wird darüber hinaus noch die durchschnittliche Bodenreaktion (pH) berücksichtigt. Liegt der Median der pH-Werte der jeweiligen Substratgruppe unterhalb 5 bzw. 6, werden nach BBodSchV (1999) elementspezifisch die niedrigeren Vorsorgewerte der folgenden Hauptbodenartengruppe für den Vergleich herangezogen (Tabelle I-1).



## V Anorganische Stoffe

Im Folgenden werden die berechneten Hintergrundwerte anorganischer Stoffe in hessischen Böden nach den Substratgruppen gegliedert (s. Tabelle II-2). Nach einer kurzen Beschreibung der Substrathauptgruppen und -gruppen und ihrem regionalen Vorkommen sowie einer Karte ihrer räumlichen Verbreitung erfolgt die tabellarische und graphische Dokumentation der statistischen Kennwerte der einzelnen Auswertungsgruppen. Tabelle V-1 zeigt einen Überblick über die verfügbaren Auswertungstabellen.

**Tabelle V-1: Übersicht der Auswertungstabellen mit Verweis auf die Seitenzahlen**

Substratgliederung		Auswertungsgruppen							
Substrat-hauptgruppe	Substratgruppe	Bodenkennwerte	KW-Gehalte				NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -Gehalte		
			Horizont	Nutzung	Gebietstyp	Auflagehor.	Horizont	Nutzung	Gebietstyp
Organogene Substrate		-	-	-	-	-	-	-	-
Fluviatile Substrate	Auensandsubstrate	V-6	V-7	V-7	V-7	-	-	-	-
	Auenschluffsubstrate	V-9	V-10	V-10	V-10	-	V-12	V-12	V-12
	Auentonsubstrate	V-13	V-14	-	-	-	V-14	-	-
	Flusssedimentsubstrate	V-15	V-16	-	-	-	-	-	-
	Hochflutsubstrate	V-17	V-18	V-18	V-18	-	-	-	-
Äolische Substrate	Lösssubstrate	V-25	V-26	V-26	V-26	V-27	V-28	V-28	V-28
	Sandlöss- und Lösssandsubstrate	V-29	V-30	V-30	V-30	-	-	-	-
	Flugsandsubstrate	V-32	V-33	V-33	V-33	V-34	-	-	-
	Tephra-substrate	-	-	-	-	-	-	-	-
Kolluviale Substr.	Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung	V-39	V-40	V-40	V-40	V-41	V-42	V-42	V-42
	Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten	V-43	V-44	V-44	V-44	-	V-46	V-46	V-46
<b>Bodensubstrate mit periglazialer Überprägung</b>									
Carbonatische Substr.	Substrate aus Carbonaten	-	-	-	-	-	-	-	-
	lössarme Substrate aus Carbonaten	V-52	V-53	-	V-53	-	-	-	-
	lössreiche Substrate mit Carbonaten	V-55	V-56	-	V-56	-	-	-	-
Psammitische und psephitische Substrate	Substrate aus Psammiten und Psephiten	V-61	V-61	-	-	-	-	-	-
	lössarme Substrate aus Psammiten und Psephiten	V-62	V-63	V-63	V-63	V-64	V-65	V-65	V-65
	lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten (überwiegend Schluff)	V-66	V-67	V-67	V-67	V-68	V-69	V-69	V-69
	lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten (überwiegend Sand)	V-70	V-71	V-71	V-71	-	-	-	-
Pelitische Substrate	Substrate aus Peliten	V-75	V-75	-	-	-	V-75	-	-
	lössarme Substrate aus Peliten	V-76	V-77	V-77	V-77	-	V-79	V-79	V-79
	lössarme Substrate aus Peliten (überwiegend Schutte)	V-80	V-80	-	-	-	-	-	-
	lössreiche Substrate mit Peliten	V-81	V-82	V-82	V-82	V-83	V-84	V-84	V-84
Vulkanogene Substr.	Substrate aus Vulkaniten	V-88	V-88	-	-	-	-	-	-
	lössarme Substrate aus Vulkaniten	V-89	V-90	-	V-90	-	V-92	-	-
	lössreiche Substrate mit Vulkaniten	V-93	V-94	V-94	V-94	V-95	V-96	V-96	V-96
Plutonische Substr.	Substrate aus Plutoniten	-	-	-	-	-	-	-	-
	lössarme Substrate aus Plutoniten	V-100	V-100	-	-	-	-	-	-
	lössreiche Substrate mit Plutoniten	V-101	V-102	V-102	V-102	-	-	-	-

## **V.1 Organogene Substrate**

Für die Gruppe der organogenen Substrate liegen nicht genügend Daten vor, so dass keine Hintergrundwerte angegeben werden können. Auf eine kartographische Darstellung der sehr kleinräumigen Verbreitung dieser Substratgruppe wird deshalb verzichtet.

An dieser Stelle sei auf den Bericht „Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz“ (MUFV 2008) hingewiesen, dem Hintergrundwerte für organische Substrate entnommen werden können.

## V.2 Fluviatile Substrate

Auen- und Flusssubstrate sind aquatische Ablagerungen der Fließgewässer (vgl. Abbildung V-1). Unter Auensedimenten versteht man eine flächenhafte Fluvialakkumulation bei Hochwasser. Je nach Fließgeschwindigkeit und Materialherkunft werden unterschiedliche Korngrößen, von Sand bis Ton mit einem Schwerpunkt der Kornfraktion Schluff (2 - 63  $\mu\text{m}$ ), abgelagert. Das Material wurde zuvor an anderer Stelle erodiert und entstammt daher meist humosem Oberbodenmaterial. Auensedimente sind holozäne Sedimente, sie sind zeitlich also in die heutige Warmzeit zu datieren und hängen wesentlich vom landschaftsbildenden Eingriff des Menschen ab. Lithostratigraphisch werden die Hochflut- von den Auensedimenten differenziert. Hochflutsedimente sind zwar genetisch bezüglich der Sedimentation unter ähnlichen Bedingungen entstanden, jedoch zeitlich bereits im Pleistozän als feinkörnige Sedimente auf der Niederterrasse abgelagert worden.

Auen- und Hochflutsedimente bilden i. d. R. Deckschichten der pleistozänen Flusssedimente mit Sand- oder Kieskörpern. Diese grobklastischen Flussablagerungen entstammen der eiszeitlichen Sedimentfüllung der Täler, als große Schmelzwassermengen morphologische Taleinschnitte ermöglichten. Sand- und Kies-Terrassenkörper finden sich aber nicht nur als Untergrundsubstrat in den Tälern unter den heutigen Auensedimenten wieder, sie stehen auch an vielen Stellen als mittel- bis altpleistozäne Sedimente an den Talflanken oder alten Terrassenverebnungen an. Sie stellen somit Relikte der unterschiedlichen Eiszeiten dar, bei denen es immer wieder zu neuen Einschneidungsphasen kam und die Terrassenbasis immer tiefer gelegt wurde.

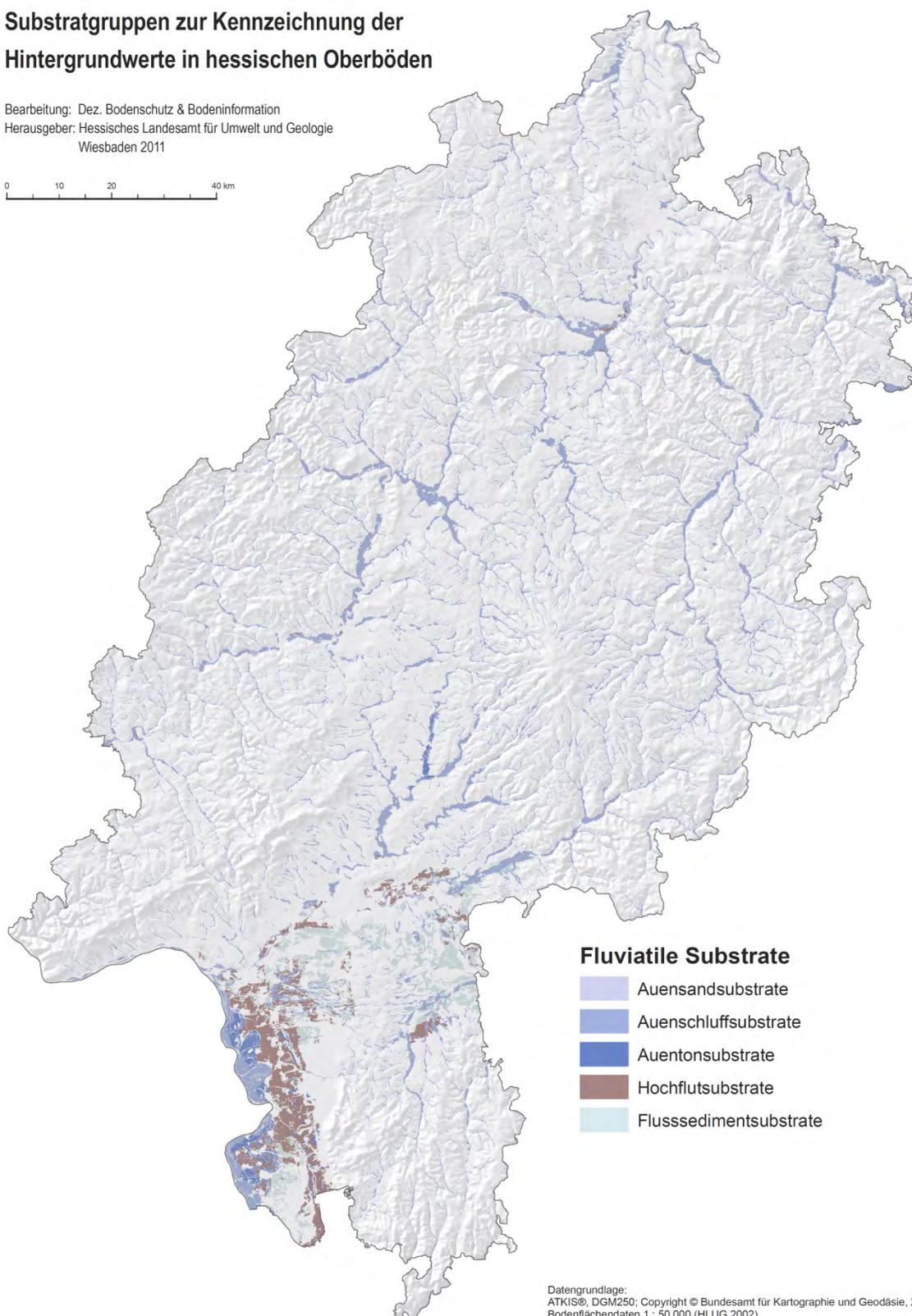
Neben der Korngrößenvariabilität aufgrund unterschiedlicher Sedimentationsverhältnisse hängt die Zusammensetzung der Flusssedimente vor allem auch von dem Liefer- oder Einzugsgebiet ab. Während die größeren Flüsse wie Rhein und Main vielgestaltige Einzugsgebiete mit unterschiedlicher Morphologie und variierenden Bodenausgangsgesteinen besitzen, sind die Bachtäler der Mittelgebirge oft durch spezifischere Bodenlandschaften mit tendenziell einheitlichen Erosionssubstraten aus dem Einzugsgebiet geprägt. Hieraus resultieren Flusssedimente mit unterschiedlicher mineralischer Zusammensetzung sowie differierenden Korngrößen, -sortierungen und -formen. Bei den Auen- und Hochflutsedimenten dominiert aufgrund der leichten Erodierbarkeit und der Transport- wie Ablagerungseigenschaften die Korngröße Schluff. Da große Flächenanteile Hessens durch leicht erodierbare, lössreiche Böden geprägt sind, ist auch ein Großteil der Auensedimente aus lössbürtigem Material aufgebaut.

Die Substratgruppen der Auen- und Flusssubstrate orientieren sich hinsichtlich der Spurenstoffgehalte an der dominanten Eigenschaft der Korngröße. So sind die Perzentile der Auensandsubstrate durchschnittlich niedriger als die der Auenschluff- und -tonsubstrate. Auch die sandigen Flusssedimentsubstrate weisen niedrigere Werte als die Hochflutsedimente auf. Aufgrund anthropogener Stofffrachten der Flusssysteme zeigen jedoch die holozänen Auensedimente tendenziell höhere Schwermetallgehalte als vergleichbare Korngrößen anderer Substrate. So sind durchschnittlich auch die Gehalte der Auenschluffsubstrate höher als die der pleistozänen Hochflutsedimente und die Gehalte der Auensand- höher als die der Flusssedimentsubstrate. In der Gruppe der Auensedimente treten auch verstärkt belastete Standorte auf, die als Ausreißer für die ubiquitäre Betrachtung eliminiert wurden. Diese Schwermetallbelastungen entstammen häufig früheren Ablagerungsphasen. Einzelne Sedimentschichten können teilweise als Marker zeitlicher Belastungen herangezogen werden und haben dadurch einen Bodenarchivcharakter. Bei der Nutzung von Bodenmaterial aus Auensedimenten muss deshalb die Sedimentationsgeschichte beachtet und ggf. eine spezifische lokale Untersuchung – auch außerhalb der Stoffgruppe Schwermetalle – herangezogen werden.

Für die holozänen Auensubstrate existiert insgesamt eine gute Datenbasis. Erwartungsgemäß dominieren die Auenschluffsubstrate, bei denen eine differenzierte Berechnung der Hintergrundwerte nach verschiedenen Auswertegruppen möglich ist und auch für die  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte Perzentile berechnet werden können. Für die Auensand- und Auentonsubstrate hingegen kann eine nutzungs- und gebietstyp-

### Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011



#### Fluviatile Substrate

- Auensandssubstrate
- Auenschluffsubstrate
- Auentonssubstrate
- Hochflutssubstrate
- Flusssedimentssubstrate

Datengrundlage:  
ATKIS®, DGM250; Copyright © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2001  
Bodenflächendaten 1 : 50 000 (HLUG 2002)

Abbildung V-1: Räumliche Verbreitung der fluviatilen Substrate

differenzierte Auswertung nicht bzw. nur für wenige Parameter durchgeführt werden, und auch für eine Berechnung von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalten ist die Datenbasis größtenteils unzureichend. Gleiches gilt für die pleistozänen Flusssediment- und Hochflutsubstrate.

Vergleicht man die berechneten Hintergrundwerte mit den Vorsorgewerten der BBodSchV, so wird bei den Auensandsubstraten der Vorsorgewert für die Bodenart Sand von dem 50. P.-Wert für Ni erreicht. Von den 90. P.-Werten der Auensand- und Auenschluffsubstrate überschreiten einige in Ober-, Unterboden oder Untergrund die Vorsorgewerte für Sand bzw. Lehm/Schluff für Cd, Cr, Ni, Pb und Zn. Die Auentonssubstrate hingegen zeigen generell keine Überschreitungen der Ton-Vorsorgewerte.

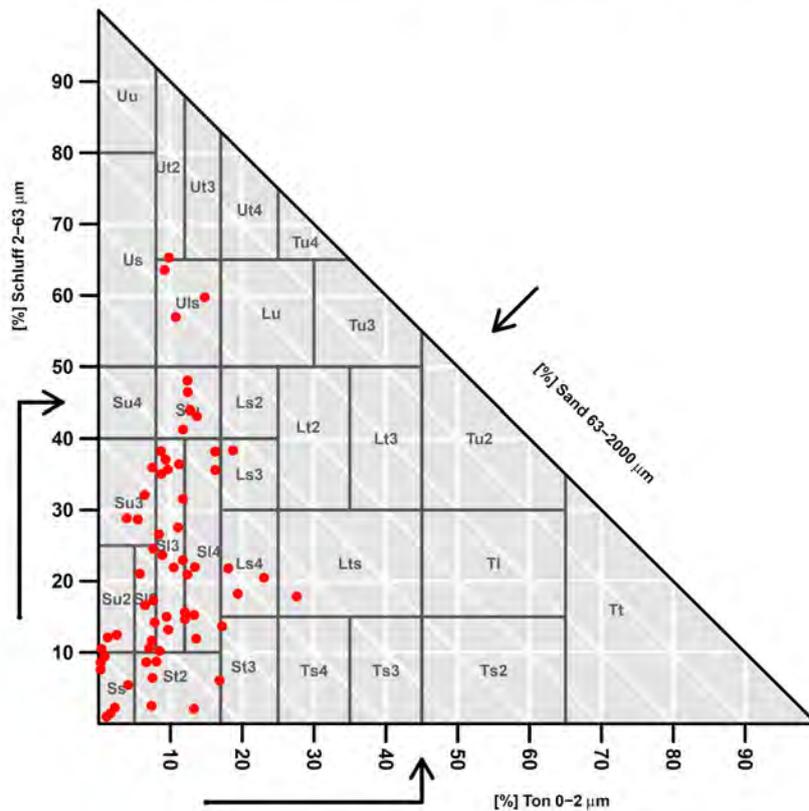
Bei den pleistozänen fluviatilen Substraten fällt die Überschreitung des Hg-Vorsorgewertes für Sand im Falle des Oberboden-Wertes der Flusssedimentssubstrate auf. Allerdings beruht dieser Wert auf einer geringen Fallzahl von  $n=11$  und kann daher nicht als gesichert gelten. Weitere Überschreitungen sind bei den Flusssedimentssubstraten in Bezug auf die 90. P.-Werte für Cr, Ni, Pb und Zn zu beobachten, während die Perzentile der Hochflutsubstrate im Hinblick auf die Bodenart Lehm/Schluff keinerlei Überschreitungen erkennen lassen.

### V.2.1 Auensandssubstrate

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	11	12	20	11
50. Perzentil	0,0	1,40	6,78	16,21
90. Perzentil	2,6	2,74	7,40	23,99
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	45	43	38	33
50. Perzentil	1,7	0,54	7,20	9,26
90. Perzentil	17,8	1,05	7,88	16,50
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	24	21	15	16
50. Perzentil	10,0	0,50	7,90	5,48
90. Perzentil	28,1	0,58	8,01	10,18

Bodenartendiagramm (n=64)



Fluviatile Substrate - Auensandsubstrate

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	6	17	38	10	42	42	8	8	43	39	4	1	10	41
50. Perzentil	-	9	0,10	5	18	11	-	-	16	29	-	-	30	51
90. Perzentil	-	16	<b>0,69</b>	9	<b>37</b>	18	-	-	<b>25</b>	<b>59</b>	-	-	56	<b>112</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	34	59	22	65	65	14	19	67	62	18	2	29	68
50. Perzentil	12500	5	0,06	5	15	8	0,02	276	15	15	0,15	-	19	29
90. Perzentil	22995	10	0,30	8	26	13	0,06	500	<b>20</b>	35	0,49	-	46	53
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	3	15	18	1	18	18	3	4	18	18	11	2	12	18
50. Perzentil	-	3	0,05	-	17	6	-	-	11	7	0,13	-	13	17
90. Perzentil	-	8	0,13	-	<b>33</b>	8	-	-	<b>24</b>	20	0,24	-	41	38

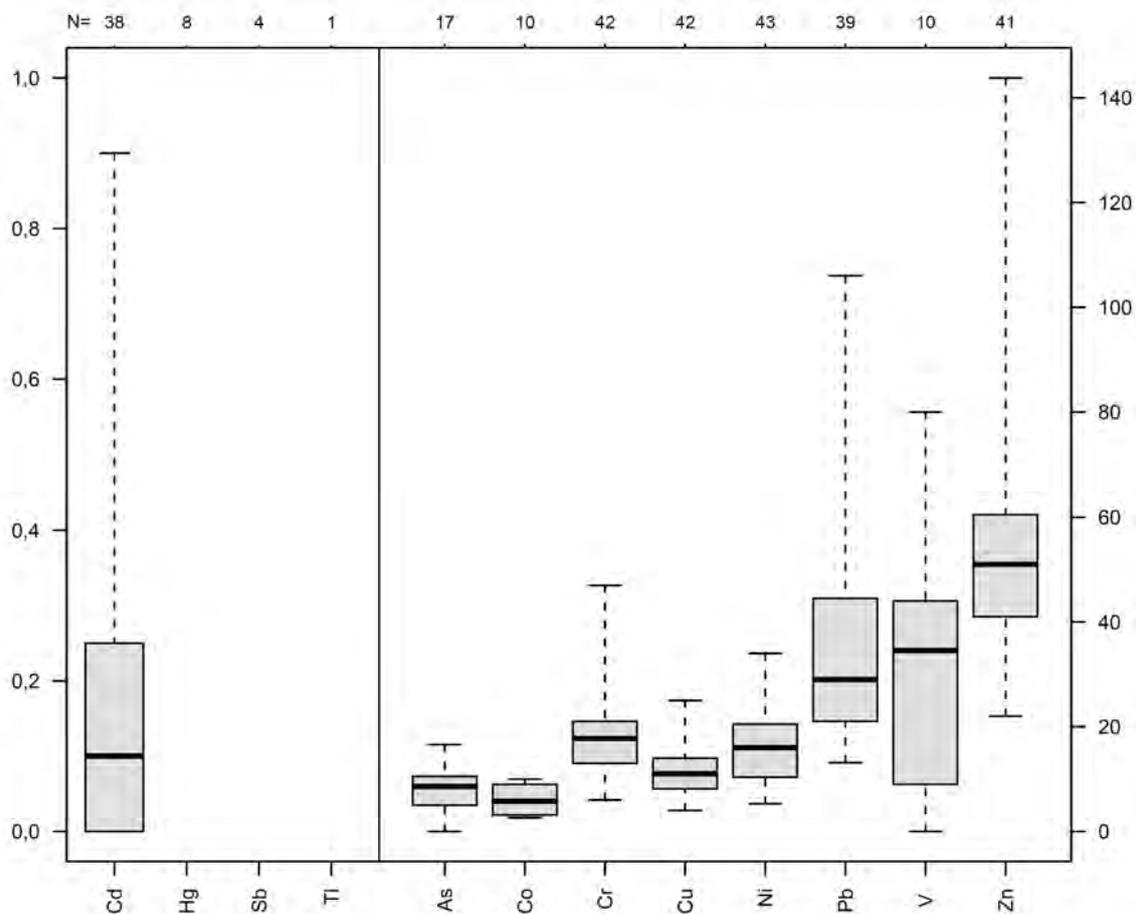
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	5	6	18	5	20	19	6	6	20	17	3	1	3	19
50. Perzentil	-	-	0,10	-	14	11	-	-	14	29	-	-	-	47
90. Perzentil	-	-	0,60	-	21	17	-	-	21	96	-	-	-	75
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	10	20	4	22	22	2	2	22	21	1	-	6	22
50. Perzentil	-	9	0,12	-	19	10	-	-	17	32	-	-	-	54
90. Perzentil	-	12	0,80	-	45	25	-	-	31	58	-	-	-	138

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	8	9	7	13	13	4	5	13	9	2	1	6	13
50. Perzentil	-	-	-	-	19	10	-	-	14	-	-	-	-	47
90. Perzentil	-	-	-	-	37	13	-	-	19	-	-	-	-	59
Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	8	30	3	29	30	4	3	30	30	2	-	4	30
50. Perzentil	-	-	0,10	-	17	11	-	-	17	35	-	-	-	52
90. Perzentil	-	-	0,70	-	29	25	-	-	26	59	-	-	-	138

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



$\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte [mg/kg]

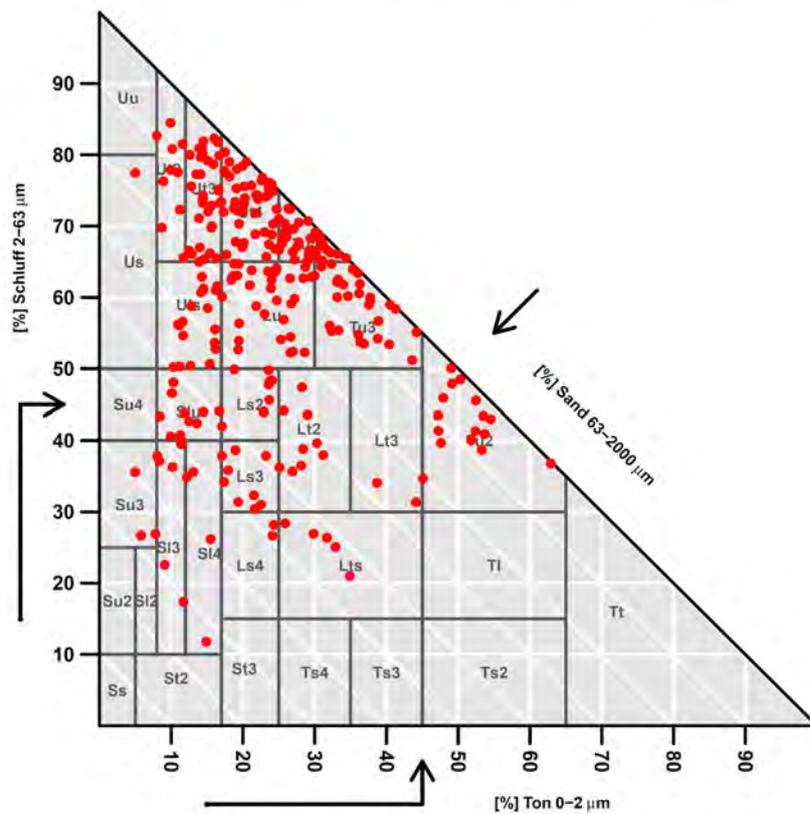
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

## V.2.2 Auenschluffsubstrate

### Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	99	88	107	80
50. Perzentil	0,0	2,92	6,30	25,10
90. Perzentil	15,1	4,70	7,60	38,66
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	124	106	113	94
50. Perzentil	0,4	0,99	6,70	17,07
90. Perzentil	24,4	2,44	7,85	32,52
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	18	13	13	10
50. Perzentil	23,0	0,53	7,80	10,97
90. Perzentil	34,9	0,65	7,95	21,48

### Bodenartendiagramm (n=277)



Fluviatile Substrate - Auenschluffsubstrate

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	55	157	179	63	166	188	85	81	193	181	45	25	58	185
50. Perzentil	25967	10	0,30	13	36	19	0,07	807	33	40	0,81	0,25	59	90
90. Perzentil	43980	16	0,80	19	<b>66</b>	35	0,14	1538	<b>56</b>	<b>73</b>	1,83	0,35	122	<b>156</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	58	142	195	75	184	206	72	89	210	193	54	24	74	205
50. Perzentil	26771	8	0,11	12	31	15	0,03	695	32	24	0,41	0,18	45	64
90. Perzentil	43246	13	0,50	19	<b>62</b>	26	0,06	1621	49	38	0,95	0,29	82	94
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	11	12	3	11	14	3	8	14	14	7	2	9	14
50. Perzentil	-	3	0,08	-	29	11	-	-	29	22	-	-	-	44
90. Perzentil	-	8	0,17	-	49	14	-	-	46	37	-	-	-	86

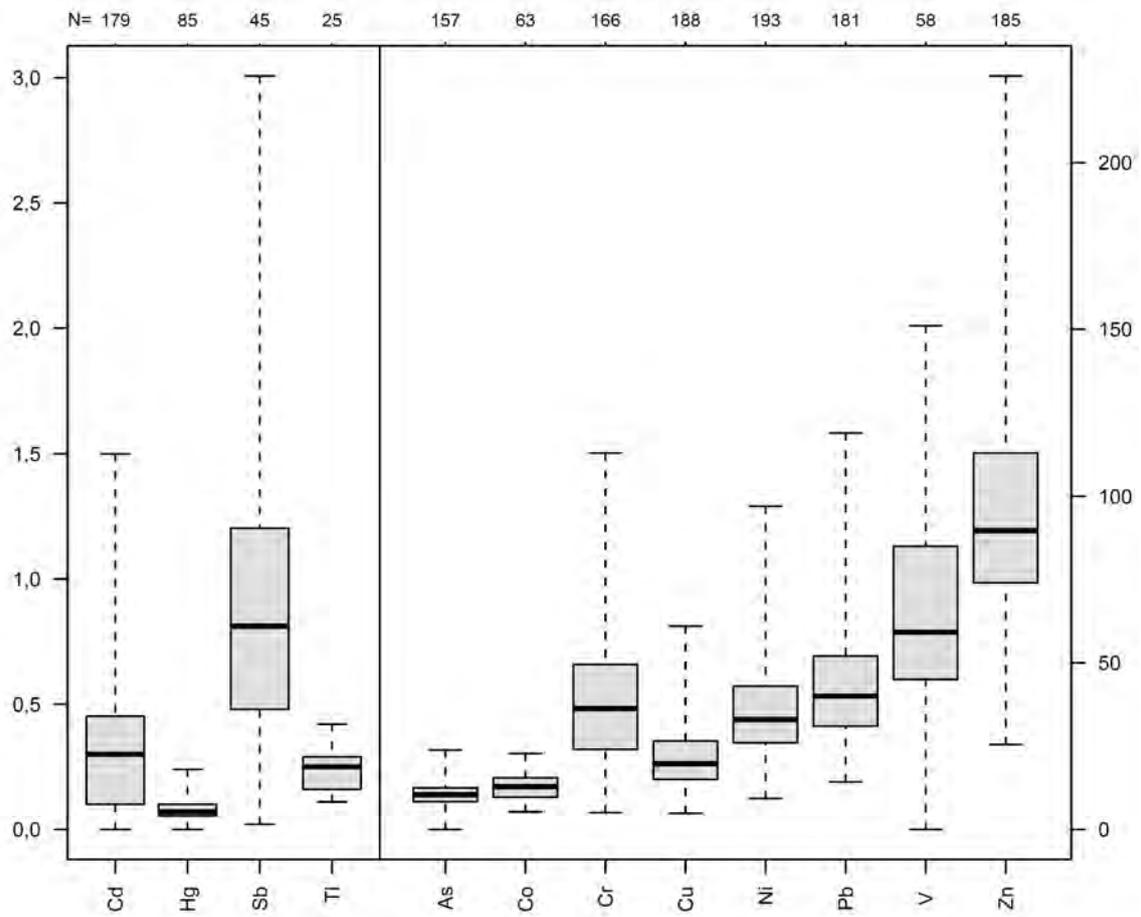
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	60	70	11	69	70	19	18	70	66	18	8	24	69
50. Perzentil	23541	10	0,19	14	35	19	0,07	723	30	34	0,38	-	59	81
90. Perzentil	36360	17	0,60	18	66	28	0,13	1822	45	50	0,72	-	105	113
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	42	85	102	45	92	108	63	58	111	105	25	17	29	107
50. Perzentil	27651	10	0,30	13	37	20	0,07	814	35	44	0,95	0,25	61	98
90. Perzentil	47060	14	0,76	20	70	37	0,13	1597	58	74	2,27	0,32	136	173

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	45	72	82	54	72	91	56	64	92	86	36	21	43	89
50. Perzentil	27651	11	0,29	13	42	21	0,07	807	37	39	0,72	0,25	61	87
90. Perzentil	47060	17	0,55	20	75	36	0,12	1493	59	70	1,48	0,32	122	120
Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	10	85	96	9	98	97	28	17	100	95	9	4	15	97
50. Perzentil	23541	10	0,30	-	33	19	0,06	605	30	40	-	-	43	95
90. Perzentil	39060	16	0,84	-	63	33	0,17	1822	45	74	-	-	111	173

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



Fluviatile Substrate - Auenschluffsubstrate

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	25	55	55	21	56	58	53	28	54
50. Perzentil	0,74	< BG	0,015	< BG	0,152	0,231	< BG	< BG	0,56
90. Perzentil	20,06	0,018	0,082	< BG	0,260	1,946	0,052	0,006	2,26
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	27	51	58	24	59	60	55	30	58
50. Perzentil	< BG	< BG	0,003	< BG	0,125	0,066	< BG	0,004	0,09
90. Perzentil	7,28	0,005	0,024	< BG	0,196	0,721	0,0095	0,010	0,98

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	7	10	13	8	13	12	11	7	13
50. Perzentil	-	< BG	< BG	-	0,07	0,03	< BG	-	< BG
90. Perzentil	-	< BG	0,021	-	0,20	0,22	< BG	-	0,92
Grünland	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	19	43	41	18	43	44	41	20	41
50. Perzentil	3,1	< BG	0,034	< BG	0,17	0,37	< BG	< BG	0,68
90. Perzentil	58,2	0,02	0,092	0,031	0,27	2,04	0,07	0,01	2,31

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

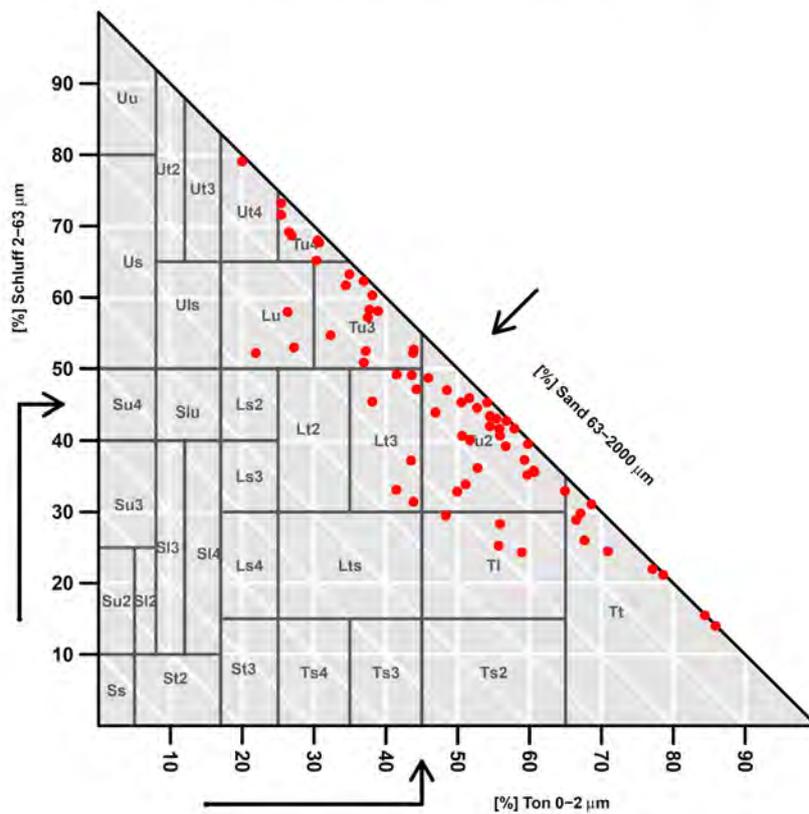
Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	21	45	45	17	46	46	44	24	44
50. Perzentil	1,5	< BG	0,031	< BG	0,15	0,32	< BG	< BG	0,59
90. Perzentil	20,1	0,02	0,092	< BG	0,26	2,04	0,05	0,01	2,26
Typ B	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	5	8	10	4	10	12	9	5	11
50. Perzentil	-	-	0,003	-	0,17	0,05	-	-	0,20
90. Perzentil	-	-	0,049	-	0,27	0,63	-	-	4,78

### V.2.3 Auentonsubstrate

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	17	17	13	14
50. Perzentil	4,2	3,30	7,51	41,80
90. Perzentil	15,3	5,92	7,70	75,75
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	62	57	44	45
50. Perzentil	3,0	1,67	7,59	33,26
90. Perzentil	20,6	2,92	7,80	58,80
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	12	11	8	8
50. Perzentil	5,7	1,51	-	-
90. Perzentil	41,7	3,91	-	-

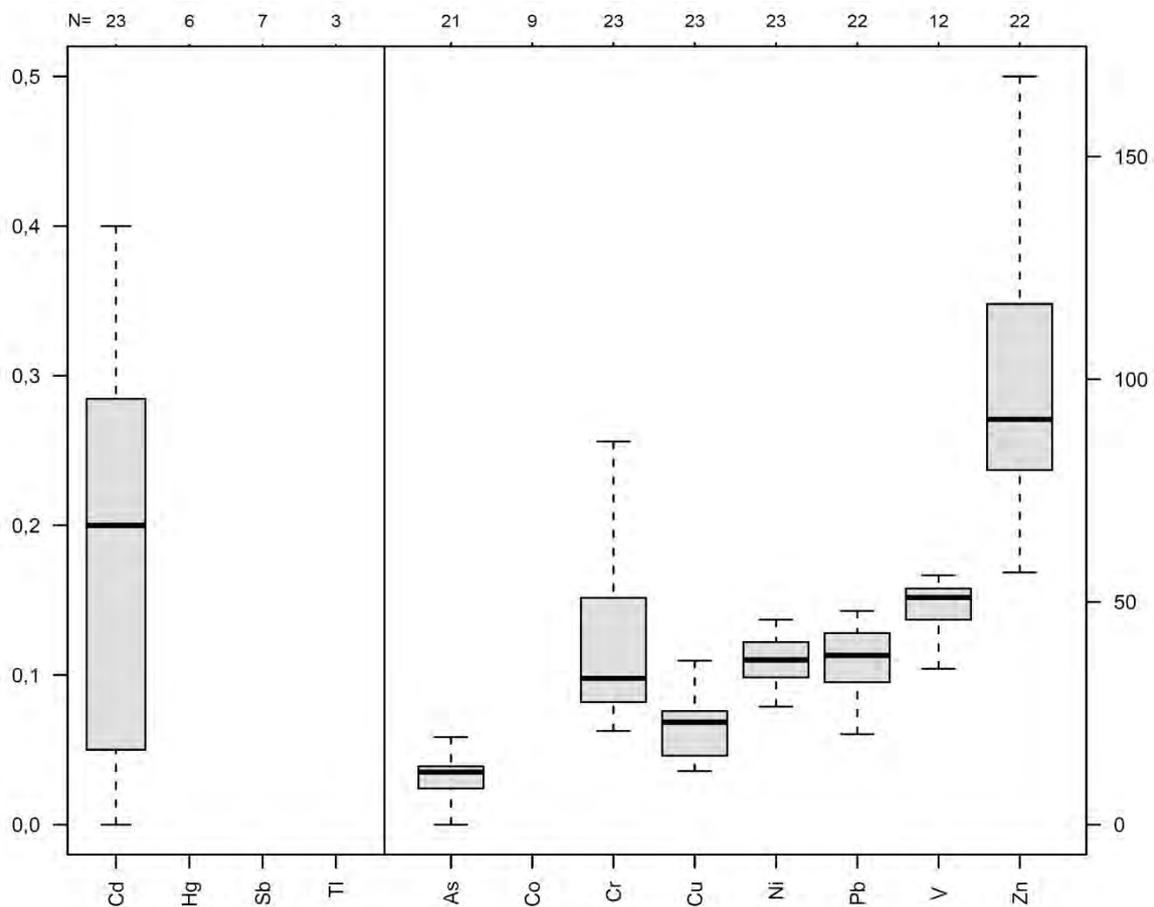
Bodenartendiagramm (n=69)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	5	21	23	9	23	23	6	7	23	22	7	3	12	22
50. Perzentil	-	12	0,20	-	33	23	-	-	37	38	-	-	51	90
90. Perzentil	-	16	0,33	-	68	28	-	-	42	45	-	-	56	123
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	21	60	66	18	69	68	22	24	65	67	22	16	40	69
50. Perzentil	44479	9	0,12	13	44	19	0,04	571	39	26	0,25	0,31	53	72
90. Perzentil	63354	17	0,30	19	93	31	0,08	1088	51	36	0,93	0,49	99	109

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

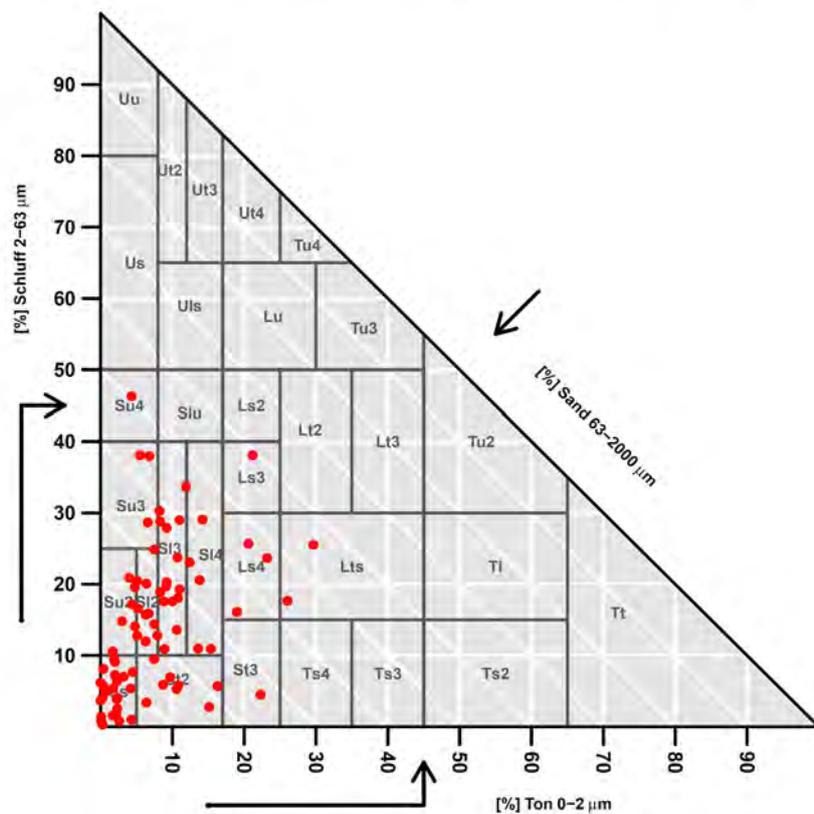
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	13	18	19	16	21	18	20	16	19
50. Perzentil	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	0,01	< BG
90. Perzentil	< BG	< BG	0,005	< BG	0,16	0,21	< BG	0,01	0,09

### V.2.4 Flusssedimentsubstrate

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	12	13	12	5
50. Perzentil	0,0	2,20	3,70	-
90. Perzentil	0,0	7,75	6,72	-
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	29	30	33	21
50. Perzentil	0,0	0,33	5,45	4,01
90. Perzentil	0,7	0,96	7,90	10,31
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	30	29	30	21
50. Perzentil	2,7	0,17	7,63	6,04
90. Perzentil	30,5	0,48	8,02	11,25

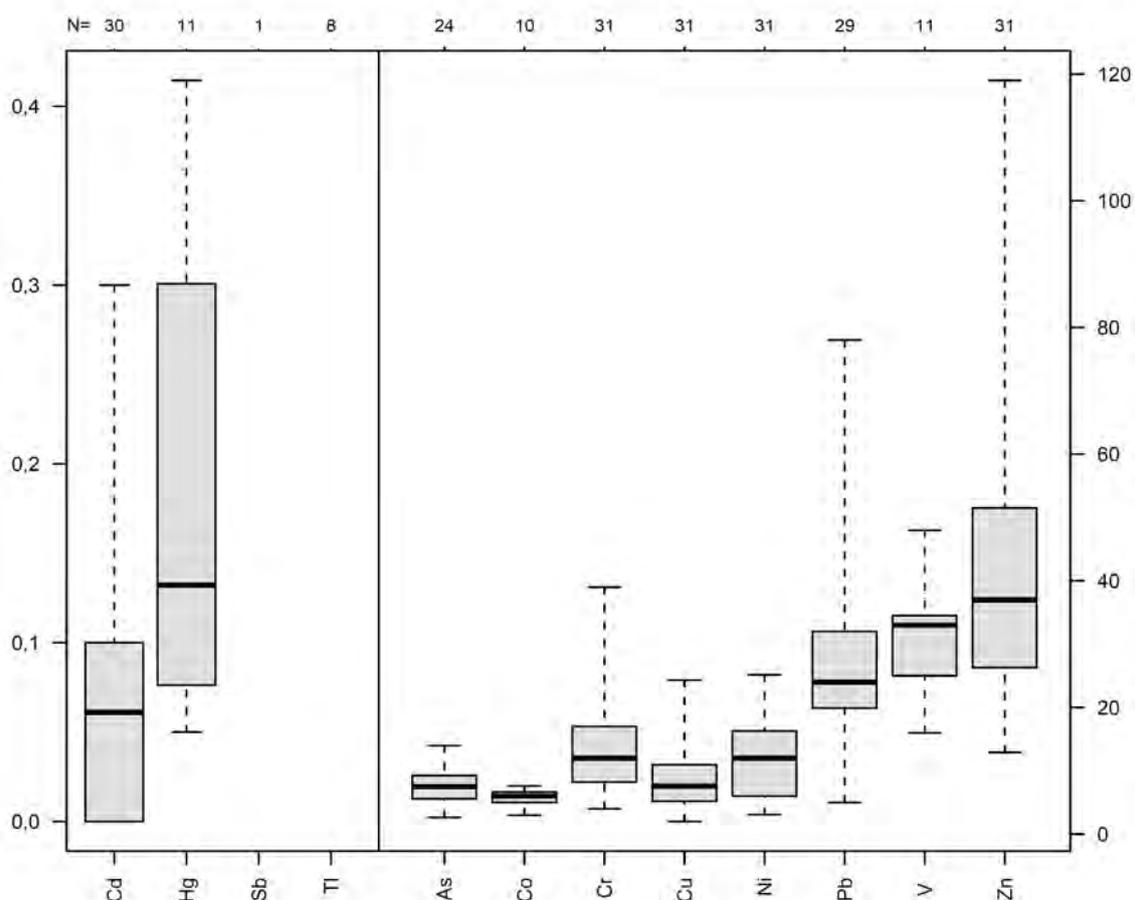
Bodenartendiagramm (n=81)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	9	24	30	10	31	31	11	9	31	29	1	8	11	31
50. Perzentil	-	7	0,06	6	12	8	<b>0,13</b>	-	12	24	-	-	33	37
90. Perzentil	-	13	0,15	7	<b>34</b>	14	<b>0,35</b>	-	<b>18</b>	<b>54</b>	-	-	37	<b>65</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	163	146	122	175	183	16	19	180	183	5	12	127	183
50. Perzentil	7458	5	< BG	6	11	6	0,02	116	14	12	-	0,09	17	22
90. Perzentil	16490	8	< BG	12	22	9	0,07	341	<b>22</b>	22	-	0,14	28	41
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	17	29	32	1	35	34	17	19	35	33	3	16	7	35
50. Perzentil	6931	3	< BG	-	13	5	0,01	169	13	6	-	0,06	-	18
90. Perzentil	13552	7	0,09	-	20	8	0,02	380	<b>19</b>	15	-	0,12	-	42

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.



Fluviatile Substrate - Hochflutsubstrate

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	6	106	108	92	119	118	11	7	121	117	2	5	93	115
50. Perzentil	-	9	< BG	8	21	12	0,07	-	23	28	-	-	44	58
90. Perzentil	-	12	0,20	13	45	18	0,08	-	33	46	-	-	68	102
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	8	152	187	128	204	204	11	12	206	203	4	8	131	206
50. Perzentil	-	8	< BG	10	19	11	0,04	340	27	20	-	-	36	48
90. Perzentil	-	14	0,14	15	44	15	0,07	508	35	31	-	-	51	74
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	12	12	1	13	12	6	6	13	12	3	6	4	12
50. Perzentil	-	8	0,06	-	28	9	-	-	27	18	-	-	-	35
90. Perzentil	-	15	0,19	-	41	15	-	-	35	29	-	-	-	54

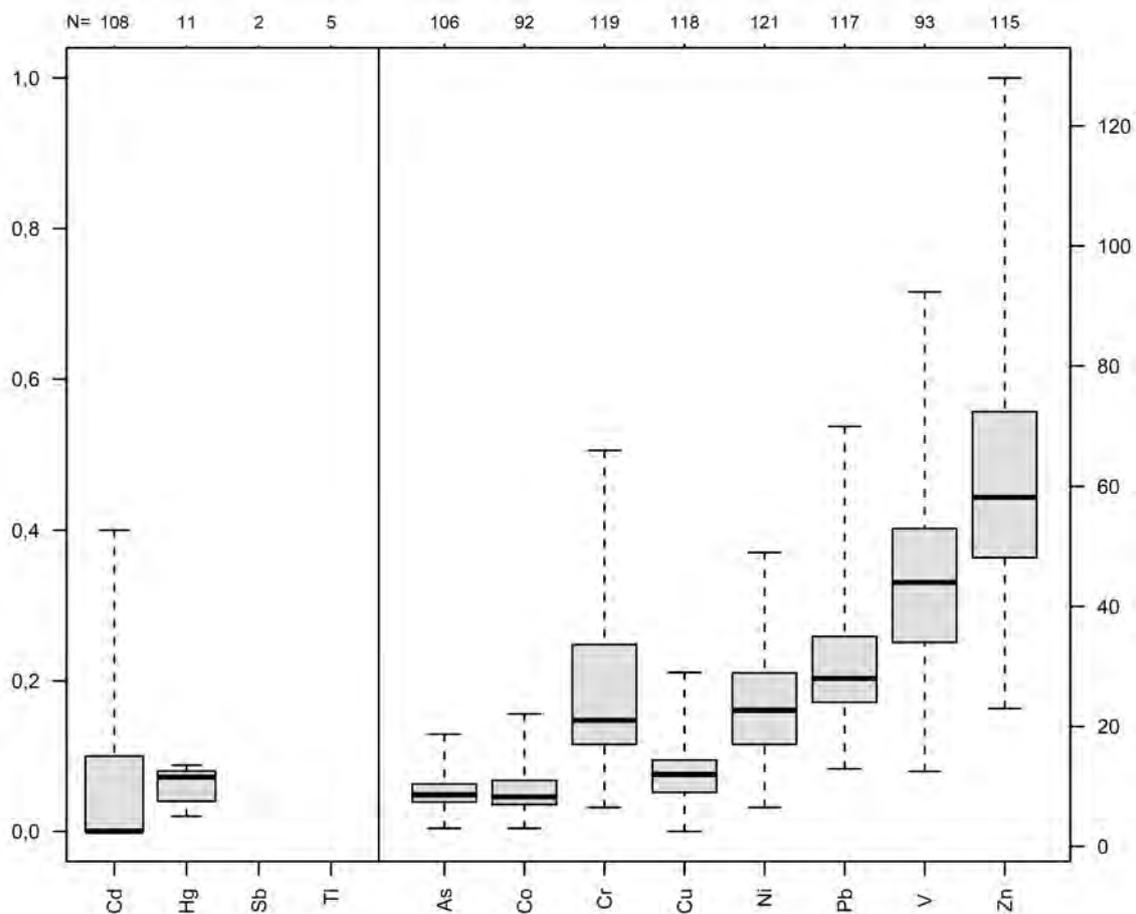
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	53	57	43	59	57	5	4	59	56	-	4	43	57
50. Perzentil	-	9	0,06	9	32	13	-	-	24	28	-	-	49	58
90. Perzentil	-	13	0,22	13	56	18	-	-	35	39	-	-	68	102
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	51	49	48	53	53	5	2	55	53	1	1	47	52
50. Perzentil	-	8	< BG	8	20	10	-	-	22	28	-	-	40	57
90. Perzentil	-	11	0,10	14	27	15	-	-	33	40	-	-	58	85

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	86	88	86	87	88	2	3	89	88	1	2	86	87
50. Perzentil	-	8	< BG	8	21	11	-	-	23	27	-	-	44	56
90. Perzentil	-	12	0,10	13	44	15	-	-	31	36	-	-	65	80
Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	21	30	6	32	32	9	4	32	32	1	3	7	31
50. Perzentil	-	11	0,29	-	24	17	-	-	22	42	-	-	-	76
90. Perzentil	-	19	0,80	-	56	28	-	-	37	70	-	-	-	155

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.



### V.3 Äolische Substrate

Durch Wind transportierte und abgelagerte Bodenausgangsgesteine haben in Hessen eine großflächige Verbreitung. Fast alle Oberböden sind durch eingetragenen Flugstaub beeinflusst, wenn auch in vielen Fällen nur in geringen Mengen, wobei das äolische Material durch substrat- und bodenbildende Prozesse mit dem Untergrundgestein durchmischt wurde (Bio-, Peloturbation sowie Kryoturbation, Solimixtion und Solifluktion). Mächtigere äolische Sedimente von mehreren Dezimetern bis vielen Metern Mächtigkeit wurden während des Quartärs bevorzugt in den Becken- und Grabenlandschaften abgelagert. Die äolischen Substrate werden aufgrund der Ablagerungsprozesse und den damit verbundenen charakteristischen Korngrößenspektren unterschieden.

#### Lösssubstrate

Löss ist ein in den Kaltzeiten mit dem Wind transportierter Flugstaub, der vorwiegend in den Beckenlandschaften, aber auch bis in die Höhenlagen der Mittelgebirge sedimentiert wurde. Die Ablagerungen reichen von wenigen Zentimetern, die mit dem Untergrundmaterial vermischt wurden, bis hin zu zehner Meter mächtigen Lössdecken aus mehreren Kaltzeiten. Böden aus Lösssubstraten stellen hinsichtlich Ertragspotenzial und Filtervermögen, aber auch bezüglich der Erodierbarkeit ein fast optimales Bodensubstrat dar.

Löss besteht zum überwiegenden Teil aus der Korngröße Schluff (2 - 63  $\mu\text{m}$ ). Der Tongehalt liegt in Hessen meist zwischen 15 und 20 %. Der Flugstaub besteht zu 40 - 45 % aus Quarz und zu ca. 15 % aus Feldspäten, überwiegend Orthoklas, sowie Glimmern, Oxiden und Schwermineralen. Der Carbonatgehalt hessischer Lösses liegt meist um 20 % und variiert aufgrund der Kalklösung durch das Sickerwasser erheblich. Eine umfassende Beschreibung hessischer Lösses ist in SCHÖNHALS (1996) zu finden.

Als Lösssubstrat sind hier alle carbonathaltigen und -freien Substrate zusammengefasst, die aus > 90 % lössbürtigem in situ oder solifluidal überprägtem Material bestehen.

In Hessen sind Lösssubstrate großflächig vor allem in den Becken- und Grabenlandschaften verbreitet (vgl. Abbildung V-2). Trotz lokaler Spezifika (vgl. SCHÖNHALS 1996) zeigt der Löss im Vergleich zu anderen Bodenausgangsgesteinen eine relativ einheitliche Zusammensetzung. Als weit verbreitete Komponente in den meisten Bodenausgangsgesteinen Hessens kommt dem Löss eine große Bedeutung zu.

Die Anzahl an untersuchten Standorten mit Lösssubstraten ist sehr hoch, so dass für die Auswertung der KW-Gehalte eine sehr gute Datenbasis besteht. So ist für die meisten Spurenelemente eine nutzungs- und gebietstypdifferenzierte Angabe der Hintergrundwerte möglich, auch bei den  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalten können Werte für alle Horizontgruppen angegeben werden. Eine nutzungsdifferenzierte Auswertung kann jedoch nur für Acker, eine gebietstypdifferenzierte Auswertung nur für den Typ A erfolgen.

Die Gehalte der Spurenelemente liegen für die Lösssubstrate im Vergleich zu anderen Substratgruppen auf mittlerem Niveau. Deshalb verringern oder erhöhen sich die geogenen Gehalte je nach betroffenem Untergrundgestein bei steigendem Lössanteil (siehe Kapitel V.5). Bei der Bewertung von Bodenmaterial muss daher immer eine Abschätzung der Komponentenanteile erfolgen. Durch die Bildung von löss(lehm)freien, -armen und -reichen Substratgruppen und reinen Lösssubstraten wurde diesem wichtigen Zusammenhang bei der Auswertung Rechnung getragen.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV für die Bodenart Lehm/Schluff werden in der Gruppe der Lösssubstrate von den 50. P.-Werten in keiner Horizontgruppe überschritten. Nur bei den 90. P.-Werten sind die Ni-Gehalte in Ober- und Unterboden sowie die Pb-Gehalte im Oberboden höher als die Vorsorgewerte.

## Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

0 10 20 40 km

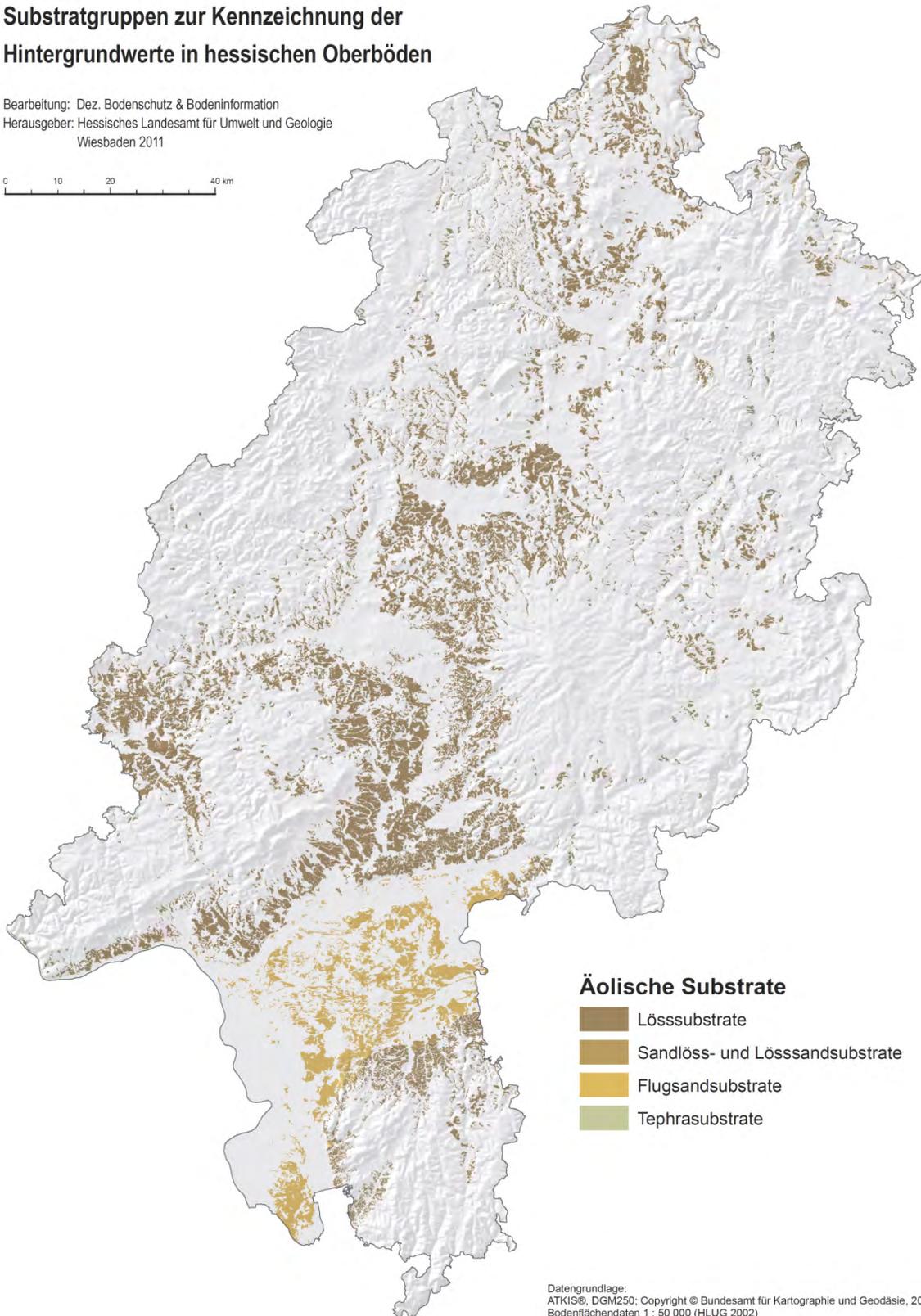


Abbildung V-2: Räumliche Verbreitung der äolischen Substrate

### **Sandlösssubstrate**

Sandlösser und Lösssandsteine werden als Sandlösssubstrate zusammengefasst und liegen bezüglich ihres Korngrößenpektrums zwischen den Lössen und Flugsanden. Damit bilden sie ein Bindeglied in der Glazialen Serie. In der Zusammensetzung vergleichbar, werden beim Sandlöss Sandgehalte von 20 % bis 50 %, beim Lösssand sogar bis 75 % erreicht. Während Flugsand und Löss große Gebiete einnehmen, sind die Sandlösssubstrate auf vergleichsweise kleine Übergangszonen beschränkt.

Das spiegelt sich auch in der vorhandenen Datenbasis wider. Es wurde nur eine geringe Anzahl an Standorten mit Sandlösssubstraten untersucht. Valide Hintergrundwerte (KW-Gehalte) können für den Ober- und Unterboden nur für sechs Spurenelemente angegeben werden,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte können nicht ausgewertet werden.

Auch im Hinblick auf die Höhe der Hintergrundwerte nehmen die Sandlösssubstrate eine mittlere Stellung zwischen den Löss- und Flugsandsubstraten ein. Sie liegen für die meisten Spurenelemente leicht niedriger als die der Lösser, jedoch deutlich höher als die der Flugsande.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV für die Bodenart Lehm/Schluff werden von der Gruppe der Sandlösssubstrate in den ausgewerteten Horizontgruppen nicht überschritten.

### **Flugsandsubstrate**

Flugsande sind kaltzeitliche äolische Sedimente, die in Hessen unter trockenem Tundrenklima gebildet wurden. Grundbedingung sind trocken gefallene Schotterfluren, wenig Vegetation und sehr starke Winde. In Hessen fanden sich diese Bildungsbedingungen im Pleistozän vor allem in der Oberrheinebene, der Untermainebene und der Seligenstädter Senke. Die Mächtigkeiten variieren von dünnen Flugsanddecken (60 cm) bis zu mächtigen Binnendünenzügen. Besonderheiten sind Flugsandvorkommen bis auf die Anhöhen des Odenwaldes am Rande des Oberrheingraben. Hier wurden Flugsande in Richtung der West-Ost verlaufenden Odenwald-Randtäler mit düsenartiger Wirkung bis auf die Hochflächen geblasen. Unter ackerbaulicher Nutzung sind Flugsande der Winderosion stark ausgesetzt, so dass es gelegentlich bei offenen Flächen und Trockenheit auch heute noch zu größeren Verwehungen kommt.

Die Zusammensetzung der Flugsandsubstrate ist aufgrund der geringen Transportstrecken stark an das lokale Liefergebiet gebunden. Vom Westwind getrieben finden wir am südhessischen, östlichen Oberrhein vor allem carbonathaltige Flugsande, während die durch den Main geprägten Flugsande der Untermainebene carbonatfrei sind. Entsprechend unterscheidet sich auch die Zusammensetzung aus Quarz, Silikaten und Oxiden. Der Quarzanteil bei den Flugsanden ist meist deutlich höher als bei Löss und kann vor allem bei den carbonatfreien Flugsanden der Untermainebene bis zu 85 % betragen. Die südhessischen Flugsande hingegen können Carbonatgehalte von über 20 % aufweisen. Die unterschiedlichen primären Carbonatgehalte wirken sich erheblich auf die Bodengenese aus. Durch die Entkalkung im Rahmen der holozänen Bodenbildung entstehen auf den kalkhaltigen Flugsanden deutlich bindigere Braunerden mit stark variierenden Entwicklungstiefen und Bänderung im Untergrund. Ist der holozäne Boden erodiert, finden sich auf den kalkhaltigen Flugsanden Pararendzinen, während die an verwitterbaren Mineralen extrem armen Standorte der Untermainebene deutliche Podsolierungserscheinungen zeigen.

Die Datengrundlage für die Berechnung von Hintergrundwerten für Flugsandsubstrate ist gut, mit Ausnahme einzelner Spurenelemente können horizontgruppen- sowie nutzungs- und gebietstypspezifische Perzentile berechnet werden. Da viele Waldstandorte untersucht wurden, können darüber hinaus einige Werte für Auflagehorizonte angegeben werden. Nur für eine Berechnung der  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte ist die vorhandene Datenbasis zu gering.

Wie aufgrund der hohen Sandgehalte und ihrer mineralischen Zusammensetzung zu erwarten, weisen die Flugsandsubstrate von den äolischen Substraten mit Abstand die geringsten Spurenelementgehalte auf. Wegen der deutlich geringeren Vorsorgewerte für die Bodenart Sand, kommt es dennoch zu Überschreitungen: So liegen die 90. P.-Werte für Ni (alle Horizontgruppen) und für Hg, Pb und Zn (Ober-

boden) im Bereich oder oberhalb der Vorsorgewerte. Im Falle von Hg erreicht sogar das 50. Perzentil den Vorsorgewert.

### **Tephrasubstrate**

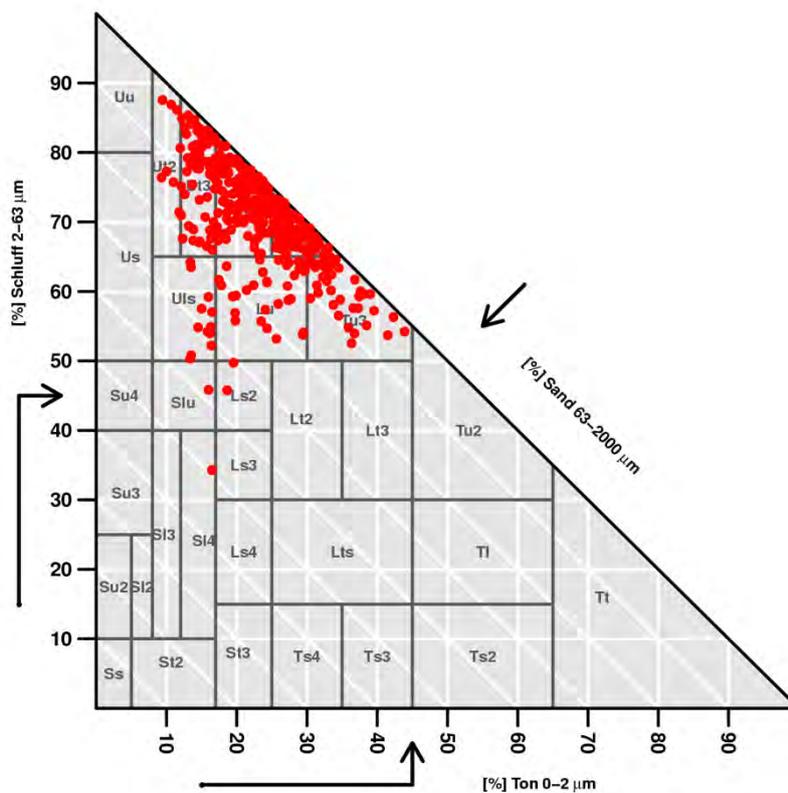
Böden aus Aschen und Lapillisedimenten des Laacher-See-Vulkans sind in Hessen an vielen Standorten zu finden. Sie sind Zeugen intensiver vulkanischer Tätigkeiten vor etwa 12.800 Jahren. Entgegen den mächtigen Sedimenten in der Eifel, im Neuwieder Becken und im Niederwesterwald sind in Hessen i. d. R. nur dünne Decken von einigen Zentimetern bis wenigen Dezimetern Mächtigkeit abgelagert worden. Mächtigere Sedimentschichten sind nur durch Umlagerungsprozesse zusammengespült worden. Die Ober- und Unterbodensubstrate sind meist periglazial stark überprägt und mit aufbereitetem Untergrundgestein und Lösslehm durch eiszeitliche Gefrier- und Auftauprozesse durchmischt worden (Solifluktion). Reine, mehrere Dezimeter mächtige Tephrasubstrate sind selten, so dass für diese Substratgruppe in Hessen nur wenige Daten vorliegen, die keine Berechnung von Perzentilen erlauben. Hinsichtlich Hintergrundwerten sei daher auf die umfassenden Auswertungen in Rheinland-Pfalz verwiesen (MUFV 2008). Die tephrenreichen Substrate wurden aber in der Kartenübersicht (Abbildung V-2) bei den äolischen Substraten aufgenommen, um deren Verbreitung zu dokumentieren.

### V.3.1 Lösssubstrate

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	91	91	191	94
50. Perzentil	0,0	1,30	6,10	15,25
90. Perzentil	0,1	2,20	7,10	21,79
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	116	117	207	120
50. Perzentil	0,0	0,35	6,07	15,65
90. Perzentil	0,1	0,85	7,11	20,62
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	65	54	64	55
50. Perzentil	12,5	0,30	7,60	14,02
90. Perzentil	20,1	0,61	7,74	17,72

Bodenartendiagramm (n=411)



Äolische Substrate - Lösssubstrate

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	73	210	518	328	254	542	469	386	526	535	46	34	77	561
50. Perzentil	20303	9	0,29	11	23	15	0,07	770	28	42	0,65	0,21	51	66
90. Perzentil	27714	12	0,66	23	48	23	0,21	1364	<b>53</b>	<b>80</b>	1,10	0,24	75	104
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	92	167	588	378	260	599	505	465	578	601	53	47	81	619
50. Perzentil	24458	9	0,11	13	24	15	0,03	644	35	26	0,53	0,20	54	61
90. Perzentil	33362	13	0,50	24	51	22	0,08	1279	<b>63</b>	41	0,84	0,25	79	89
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	39	76	89	40	75	98	67	71	95	93	25	24	19	95
50. Perzentil	20013	8	0,07	7	34	12	0,02	517	27	19	0,40	0,16	46	43
90. Perzentil	24326	11	0,21	13	43	17	0,03	721	36	31	0,97	0,22	69	57

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	56	174	278	112	203	281	232	153	276	276	37	23	35	293
50. Perzentil	21600	9	0,29	10	21	16	0,06	759	26	31	0,65	0,21	56	64
90. Perzentil	28100	12	0,60	18	47	24	0,10	1169	37	48	1,05	0,24	95	100
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	19	113	103	32	124	116	113	121	125	4	2	15	127
50. Perzentil	-	9	0,34	18	35	16	0,08	945	45	46	-	-	61	84
90. Perzentil	-	13	0,60	24	50	23	0,12	1443	66	64	-	-	78	107
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	10	17	127	113	19	133	131	114	128	130	6	7	27	139
50. Perzentil	13603	7	0,21	8	22	12	0,17	488	24	66	-	-	40	59
90. Perzentil	18444	11	0,66	19	48	19	0,34	1395	43	105	-	-	46	102

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	63	70	348	318	88	374	380	370	362	367	39	28	75	391
50. Perzentil	20881	8	0,23	11	30	15	0,08	774	32	47	0,65	0,20	51	71
90. Perzentil	27714	11	0,59	23	51	24	0,23	1374	61	90	1,11	0,26	74	105

Äolische Substrate - Lösssubstrate

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	10	140	170	10	164	169	89	16	172	164	7	5	2	165
50. Perzentil	18444	9	0,30	7	19	16	0,04	719	24	29	-	-	-	63
90. Perzentil	24302	13	0,70	9	38	24	0,12	1094	32	48	-	-	-	80

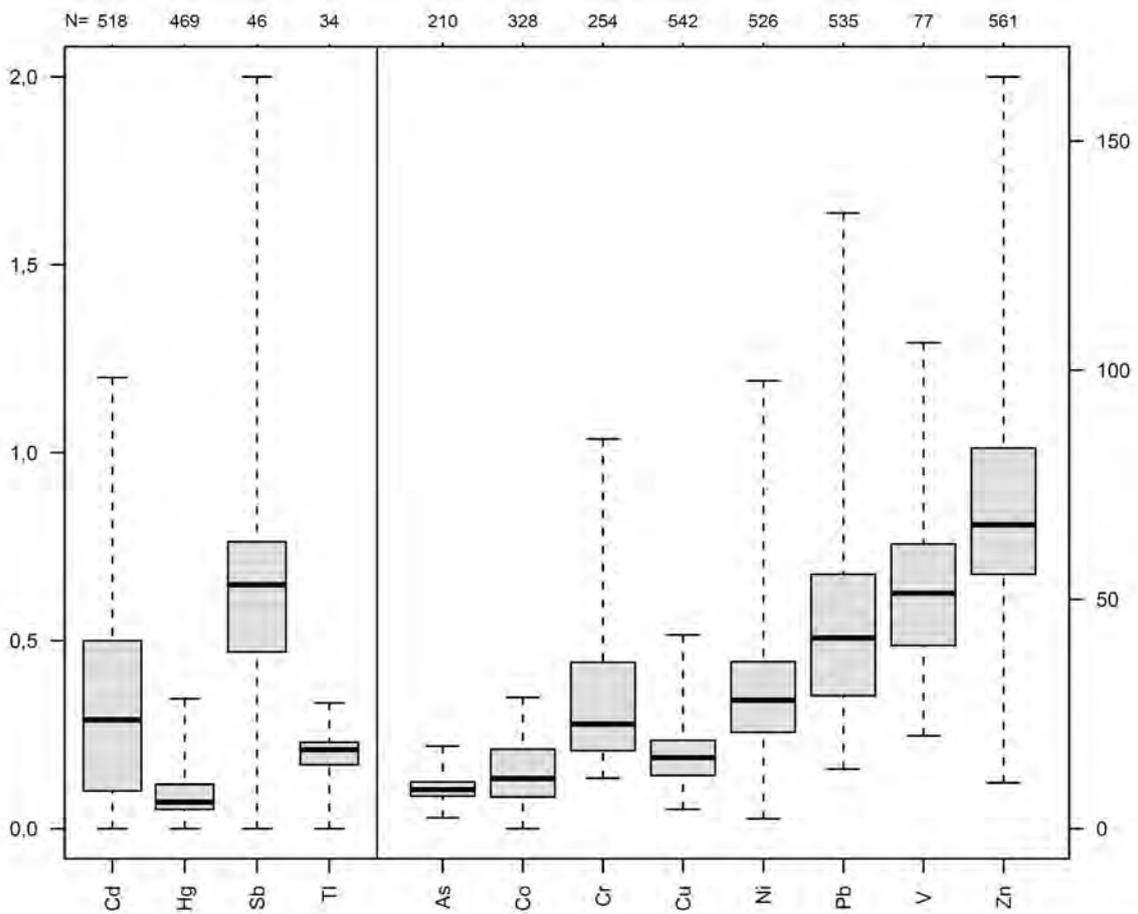
KW-Gehalte der Auflagehorizonte [mg/kg]

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	12	16	7	9	15	2	5	15	16	7	-	1	16
50. Perzentil	-	3	0,33	-	-	12	-	-	15	27	-	-	-	65
90. Perzentil	-	9	0,95	-	-	20	-	-	28	62	-	-	-	144

Of	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	4	35	53	5	57	41	29	57	49	2	-	23	58
50. Perzentil	-	-	0,44	7	-	16	0,47	714	20	75	-	-	21	67
90. Perzentil	-	-	0,66	17	-	25	0,73	1498	52	117	-	-	32	93

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	35	61	71	37	78	71	70	39	75
50. Perzentil	< BG	< BG	0,002	< BG	0,12	0,02	< BG	< BG	0,02
90. Perzentil	1,2	< BG	0,016	< BG	0,20	0,12	< BG	0,01	0,64
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	48	87	98	52	99	101	84	56	96
50. Perzentil	< BG	< BG	0,001	< BG	0,03	0,06	< BG	< BG	0,03
90. Perzentil	0,9	< BG	0,009	< BG	0,19	0,27	< BG	0,01	0,30
Untergrund	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	26	37	36	29	46	44	38	30	38
50. Perzentil	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
90. Perzentil	0,3	< BG	< BG	< BG	0,15	0,05	< BG	< BG	< BG

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	33	54	64	35	67	64	64	37	62
50. Perzentil	< BG	< BG	0,002	< BG	0,11	0,02	< BG	< BG	< BG
90. Perzentil	1,0	< BG	0,011	< BG	0,19	0,11	< BG	0,01	0,51

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

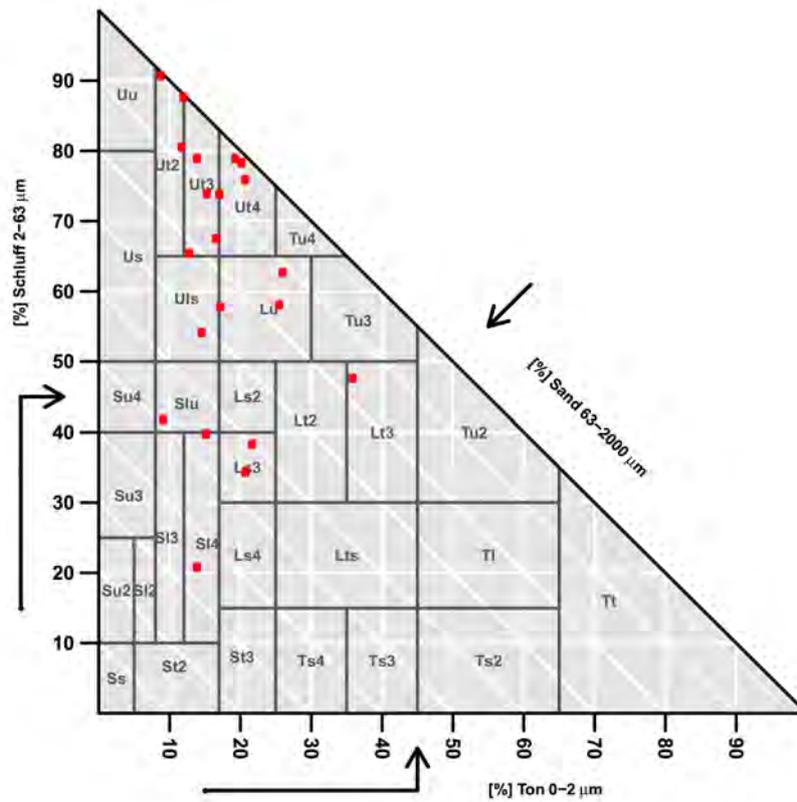
Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	31	54	65	33	70	64	63	35	67
50. Perzentil	< BG	< BG	0,003	< BG	0,11	0,02	< BG	< BG	0,02
90. Perzentil	1,2	< BG	0,017	< BG	0,18	0,13	< BG	0,01	0,64

### V.3.2 Sandlöss- und Lösssandsubstrate

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	5	5	31	3
50. Perzentil	-	-	6,80	-
90. Perzentil	-	-	7,40	-

Bodenartendiagramm (n=21)



Äolische Substrate - Sandlöss- und Lösssandsubstrate

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	7	33	-	32	32	4	4	33	33	2	4	2	33
50. Perzentil	-	-	0,10	-	16	16	-	-	26	32	-	-	-	61
90. Perzentil	-	-	0,30	-	25	20	-	-	29	67	-	-	-	90
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	9	26	-	26	26	6	7	26	26	1	7	1	26
50. Perzentil	-	-	< BG	-	16	14	-	-	25	20	-	-	-	49
90. Perzentil	-	-	0,11	-	40	18	-	-	35	33	-	-	-	67

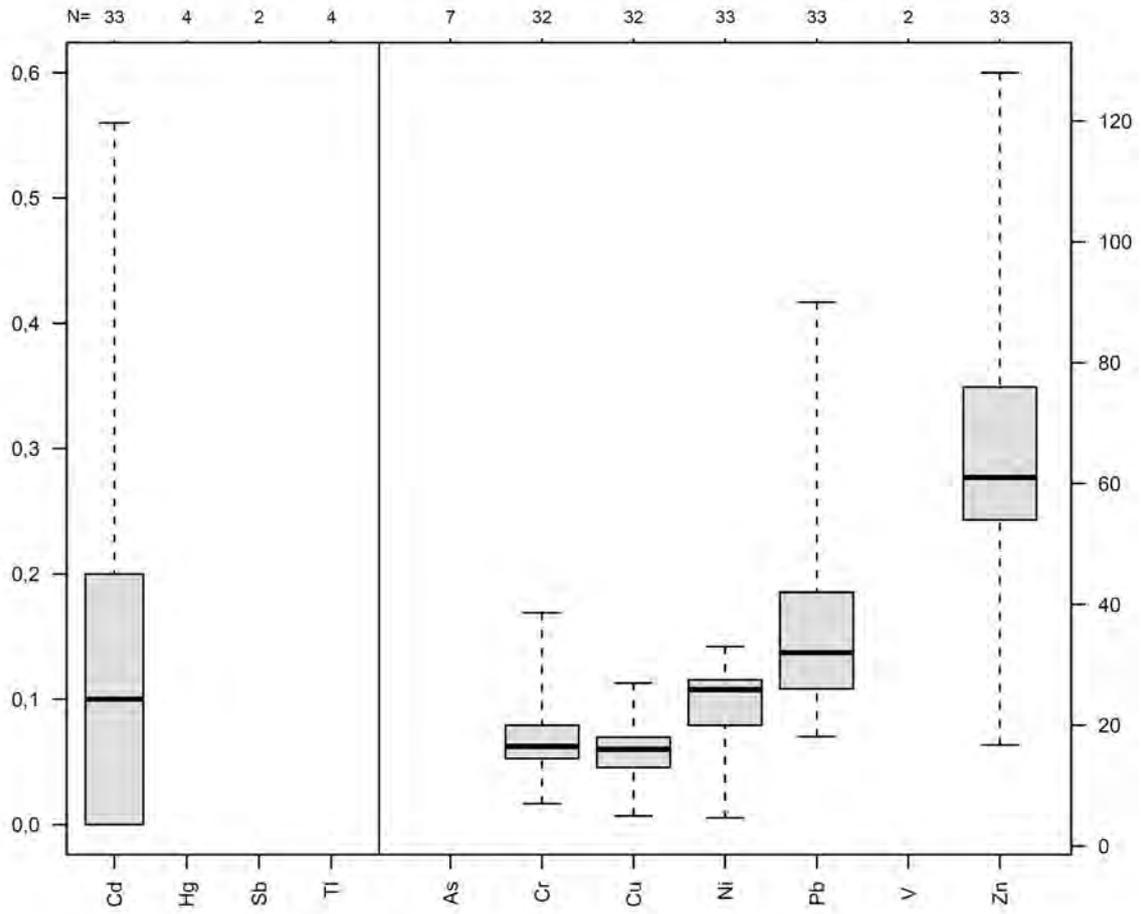
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	3	5	22	-	22	21	3	3	22	20	2	3	2	22
50. Perzentil	-	-	0,10	-	16	17	-	-	26	29	-	-	-	65
90. Perzentil	-	-	0,45	-	36	20	-	-	29	39	-	-	-	79

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	2	28	-	28	27	1	1	28	28	-	1	-	28
50. Perzentil	-	-	< BG	-	16	16	-	-	26	34	-	-	-	61
90. Perzentil	-	-	0,30	-	22	20	-	-	31	79	-	-	-	95

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



$\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte [mg/kg]

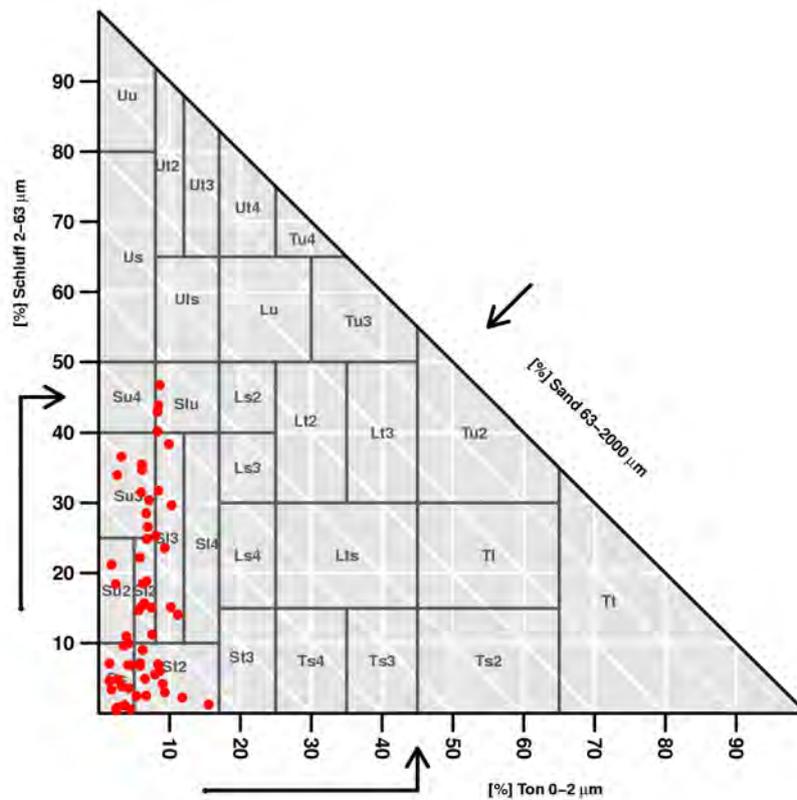
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

### V.3.3 Flugsandssubstrate

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	20	21	44	17
50. Perzentil	0,0	2,00	3,90	6,21
90. Perzentil	0,0	6,50	6,52	14,98
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	19	22	43	18
50. Perzentil	0,0	0,51	4,30	3,24
90. Perzentil	0,0	0,99	6,40	5,10
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	9	6	11	5
50. Perzentil	-	-	4,30	-
90. Perzentil	-	-	4,50	-

Bodenartendiagramm (n=59)



Äolische Substrate - Flugsandssubstrate

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	102	174	40	169	171	41	14	177	175	5	11	39	171
50. Perzentil	4298	7	0,10	4	9	6	<b>0,11</b>	283	8	29	-	0,09	26	31
90. Perzentil	7526	13	0,40	7	19	15	<b>0,32</b>	520	<b>17</b>	<b>58</b>	-	0,13	38	<b>61</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	88	168	37	167	170	34	14	170	168	5	11	36	170
50. Perzentil	5964	4	0,10	4	6	3	0,02	231	7	11	-	0,06	20	22
90. Perzentil	8479	9	0,25	8	15	10	0,04	436	<b>16</b>	23	-	0,08	35	43
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	17	18	5	18	19	3	4	21	19	3	2	3	19
50. Perzentil	-	2	< BG	-	9	2	-	-	7	6	-	-	-	11
90. Perzentil	-	4	0,10	-	17	5	-	-	<b>16</b>	16	-	-	-	28

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	33	45	17	45	42	11	7	46	45	-	7	17	43
50. Perzentil	-	6	0,11	5	14	8	0,05	-	10	24	-	-	28	42
90. Perzentil	-	10	0,60	7	29	13	0,25	-	18	50	-	-	38	80
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	22	26	16	26	26	3	-	27	25	-	-	16	26
50. Perzentil	-	7	< BG	4	13	8	-	-	12	24	-	-	25	40
90. Perzentil	-	11	0,60	8	20	16	-	-	23	45	-	-	43	80
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	48	101	7	99	103	27	7	104	103	5	4	6	103
50. Perzentil	-	7	0,10	-	6	5	0,16	-	6	33	-	-	-	25
90. Perzentil	-	16	0,39	-	11	13	0,35	-	13	64	-	-	-	50

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	39	42	34	43	43	1	1	44	43	-	1	35	44
50. Perzentil	-	6	< BG	4	13	7	-	-	12	21	-	-	28	36
90. Perzentil	-	9	0,14	7	26	11	-	-	18	28	-	-	38	64

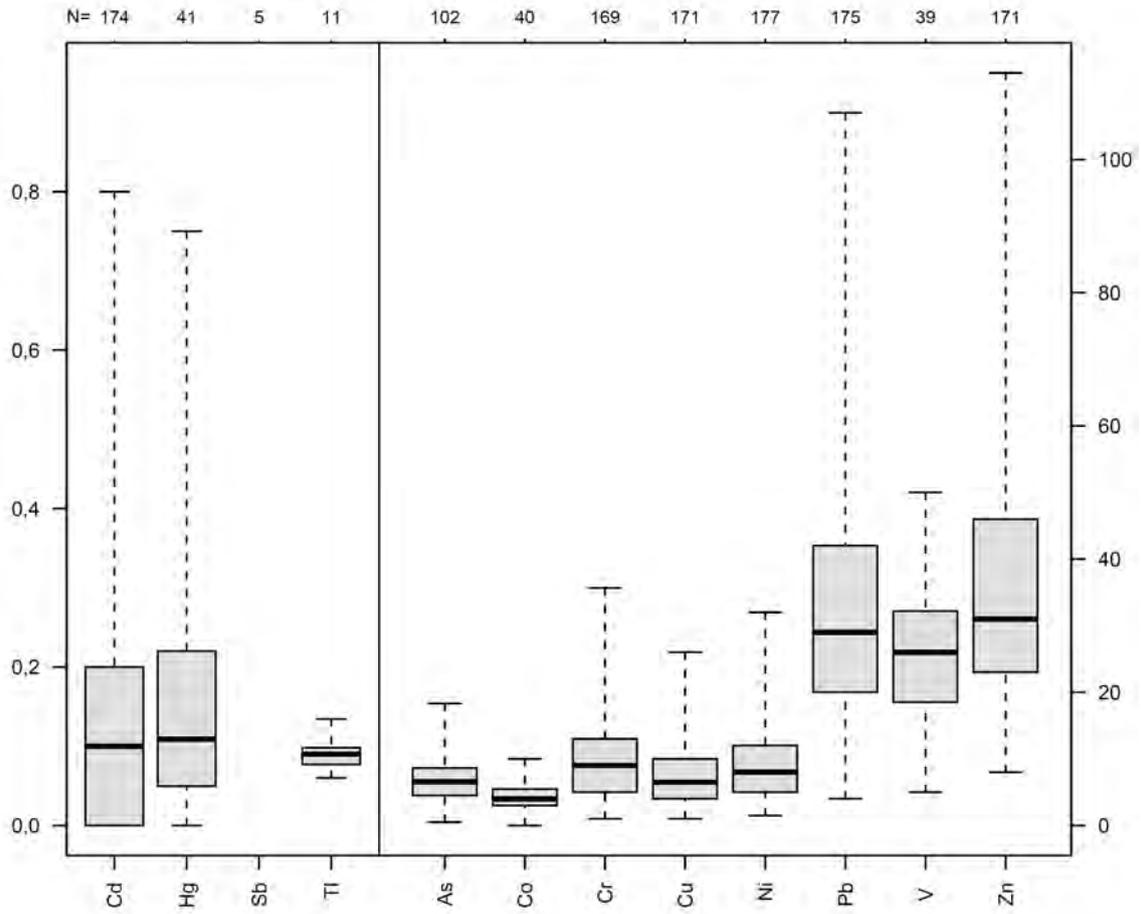
Äolische Substrate - Flugsandsubstrate

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	11	62	130	6	125	128	40	13	131	131	5	10	4	128
50. Perzentil	4298	7	0,10	-	8	6	0,11	283	7	32	-	0,09	-	30
90. Perzentil	7526	15	0,50	-	14	16	0,32	520	13	64	-	0,13	-	64

KW-Gehalte der Auflagehorizonte [mg/kg]

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	48	88	8	86	90	39	3	87	90	5	-	6	87
50. Perzentil	-	1	0,50	-	3	15	0,08	-	6	39	-	-	-	60
90. Perzentil	-	2	0,90	-	6	33	0,14	-	10	60	-	-	-	87
Of	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	24	39	4	34	38	12	3	39	39	5	-	2	38
50. Perzentil	-	4	0,60	-	8	18	0,07	-	12	88	-	-	-	61
90. Perzentil	-	11	1,10	-	11	40	0,31	-	17	148	-	-	-	96
Oh	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	8	11	3	8	11	1	2	11	11	4	-	2	11
50. Perzentil	-	-	0,29	-	-	16	-	-	13	84	-	-	-	46
90. Perzentil	-	-	0,40	-	-	26	-	-	18	112	-	-	-	62

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

#### V.3.4 Tephrastrate

Für diese Substratgruppe liegen nicht genügend Daten vor, so dass keine Hintergrundwerte angegeben werden können. An dieser Stelle sei auf den Bericht „Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz“ (MUFV 2008) hingewiesen, dem Hintergrundwerte für Tephrastrate entnommen werden können.

## V.4 Kolluviale Substrate

Unter kolluvialen Substraten sind vornehmlich Abschwemm Massen und durch Bodenbearbeitung bewegtes Bodenmaterial zu verstehen. Die Kolluvialsubstrate sind dabei sehr heterogen aufgebaut und werden aus den Bodensubstraten der Umgebung gebildet. Subsumiert sind in dieser Gruppe zusätzlich Kippsubstrate aus autochthonem oder ggf. auch allochthonem natürlichem Bodenmaterial. Räumlich sind diese Substrate hessenweit kleinräumig verteilt. Lokal konzentrieren sich die Kolluvien meist auf Hangdellen und Unterhangsituationen (vgl. Abbildung V-3).

Ausgenommen sind Abschwemm- und Kippsubstrate der Rigosole unter weinbaulicher Nutzung. Diese Standorte unterliegen einer nutzungsspezifischen Belastung und werden daher gesondert im Kapitel V.6.2 behandelt.

Kolluviale Substrate enthalten i. d. R. aufgrund der leichten Erodierbarkeit einen relativ hohen Anteil an schluffigen Lössderivaten. In den Lössgebieten bestehen sie meist aus reinem humosem Lösslehm oder bei starker Bodenerosion aus Löss, da an den Erosionsstandorten der entkalkte holozäne Boden schon abgetragen und an der Oberfläche der kalkhaltige Löss der Bodenerosion ausgesetzt ist. Unterschieden wurden für die Berechnung der Hintergrundwerte daher die zwei Substratgruppen „Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten“ und „Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung“.

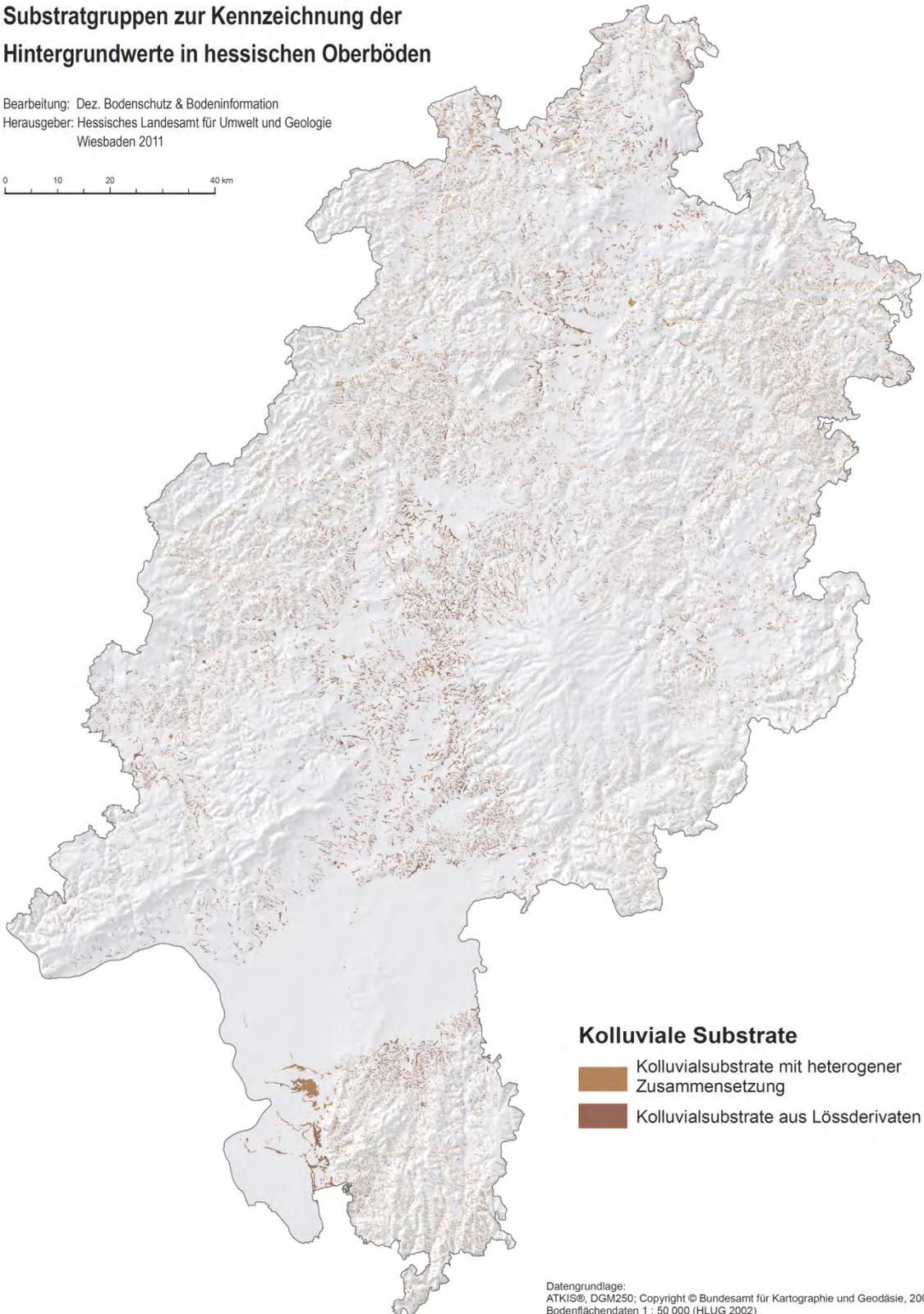
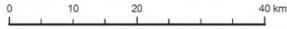
Die Datengrundlagen für Kolluvialsubstrate sind sehr gut, für beide Substratgruppen können Hintergrundwerte nutzungs- und gebietstypdifferenziert ausgewertet werden. Auch bei den  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalten können für alle Parameter Hintergrundwerte berechnet werden, differenziert ausgewertet werden können die Nutzung Acker und der Gebietstyp A.

Die Hintergrundwerte sind für die meisten Spurenelemente bei beiden Kolluvialsubstratgruppen in vergleichbarer Größenordnung, die Varianz ist allerdings erwartungsgemäß bei den Kolluvialsubstraten heterogener Zusammensetzung größer. Auffällige Abweichungen gibt es nur beim Ni-Gehalt, der bei den Kolluvialsubstraten aus Lössderivaten deutlich höher liegt. Aufgrund des Primärmaterials sind bei dieser Substratgruppe ähnliche Gehalte wie beim Löss zu erwarten, was sich für einen Großteil der Spurenelemente auch bestätigt. Eine Ausnahme ist wiederum der Ni-Gehalt, der für die Löss-Kolluvialsubstrate deutlich höher liegt als für Lösssubstrate. Außerdem zeigen sich die Perzentile für Cr und Zn ebenfalls leicht höher.

Vergleicht man die berechneten Perzentile mit den Vorsorgewerten, so überschreitet bei den Kolluvialsubstraten aus Lössderivaten der auffällige Ni-Gehalt im Oberboden sogar für das 50. Perzentil den Vorsorgewert für die Bodenart Lehm/Schluff. Außerdem liegen die 90. P.-Werte von Cu in Ober- und Unterboden über den Vorsorgewerten. Bei den Kolluvialsubstraten heterogener Zusammensetzung gibt es nur bezogen auf die 90. P.-Werte Überschreitungen in Ober-, Unterboden oder Untergrund und zwar neben Ni und Cu für Pb und Zn.

### Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011



#### Kolluviale Substrate

-  Kolluvialsubstrate mit heterogener Zusammensetzung
-  Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten

Datengrundlage:  
ATKIS®, DGM250; Copyright © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2001  
Bodenflächendaten 1 : 50 000 (HLUG 2002)

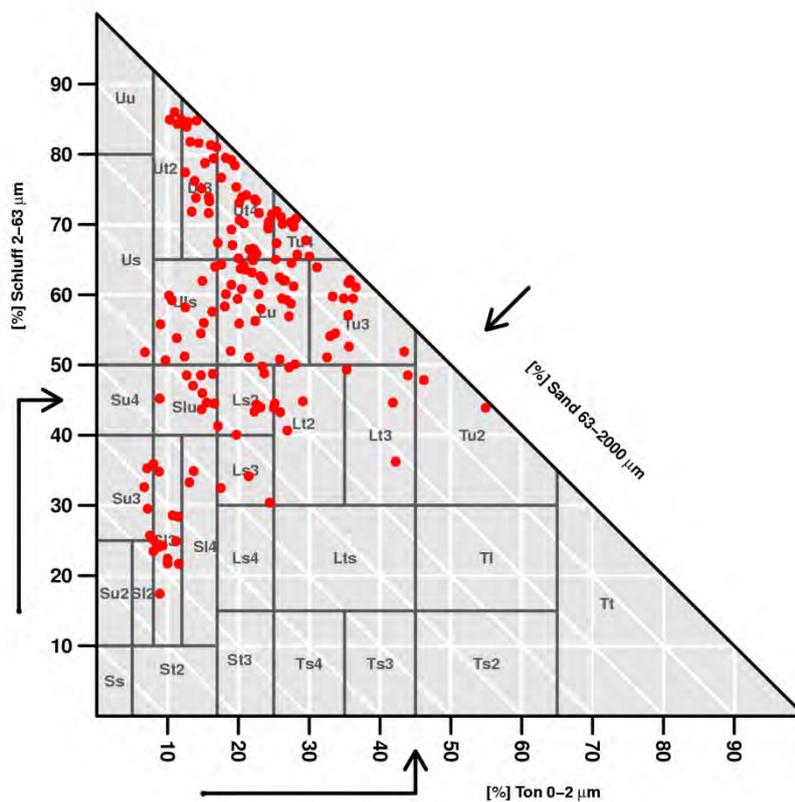
Abbildung V-3: Räumliche Verbreitung der kolluvialen Substrate

### V.4.1 Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	70	80	106	67
50. Perzentil	0,0	2,05	6,30	18,80
90. Perzentil	1,6	4,75	7,30	31,06
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	70	74	70	61
50. Perzentil	0,0	0,98	5,72	15,19
90. Perzentil	6,8	2,40	7,63	26,48

Bodenartendiagramm (n=167)



Kolluviale Substrate - Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	62	194	292	60	227	280	169	130	261	278	27	36	38	296
50. Perzentil	19848	9	0,29	9	27	19	0,06	1118	27	37	0,65	0,18	57	92
90. Perzentil	36360	17	0,80	22	58	<b>45</b>	0,13	1706	<b>69</b>	<b>88</b>	1,25	0,27	145	<b>184</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	55	93	175	58	127	173	111	104	160	173	26	32	35	180
50. Perzentil	24815	7	0,13	10	24	16	0,03	1019	27	26	0,52	0,16	51	64
90. Perzentil	39060	15	0,50	22	51	<b>42</b>	0,08	1703	<b>90</b>	40	1,17	0,26	132	127
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	3	49	80	1	85	82	5	3	81	82	-	3	1	83
50. Perzentil	-	10	0,20	-	27	22	-	-	28	51	-	-	-	101
90. Perzentil	-	17	0,80	-	51	39	-	-	48	<b>141</b>	-	-	-	<b>258</b>

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	29	67	109	21	78	97	73	59	96	104	15	17	18	110
50. Perzentil	18235	8	0,25	8	23	17	0,07	1261	26	32	0,51	0,18	53	77
90. Perzentil	35226	16	0,60	25	60	46	0,12	1780	154	42	0,99	0,26	96	138
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	26	108	156	34	128	152	79	54	144	157	10	14	19	157
50. Perzentil	23300	9	0,29	11	28	21	0,06	1046	28	44	0,70	0,20	58	104
90. Perzentil	38440	19	0,91	24	57	41	0,12	1686	62	132	0,88	0,33	149	209
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	19	31	6	20	32	18	17	34	32	3	7	-	31
50. Perzentil	-	9	0,30	-	32	16	0,09	1063	26	46	-	-	-	76
90. Perzentil	-	20	0,59	-	49	54	0,21	1498	221	96	-	-	-	235

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	54	74	146	57	76	128	128	122	147	139	25	28	35	149
50. Perzentil	21745	6	0,28	9	29	19	0,06	1156	43	35	0,65	0,19	57	83
90. Perzentil	36360	15	0,59	22	86	53	0,12	1727	237	50	1,76	0,33	145	140

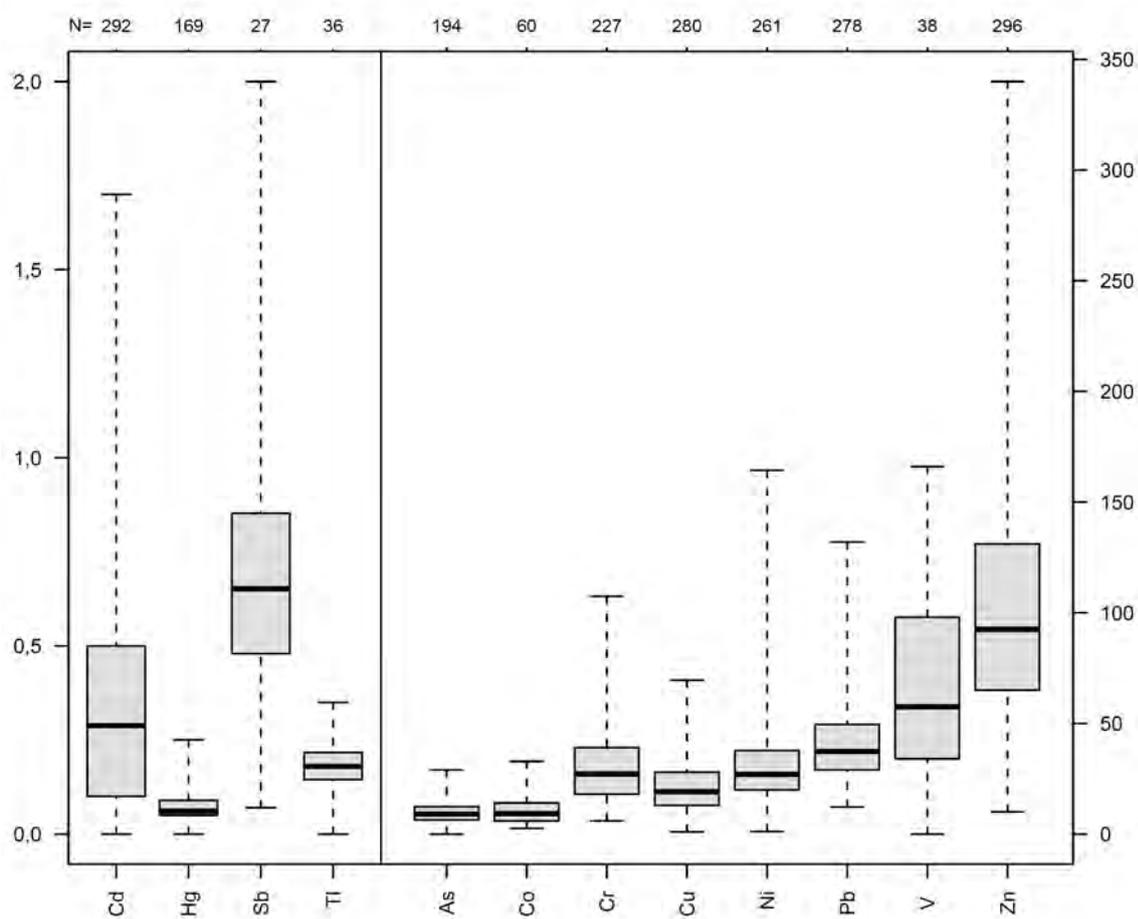
Kolluviale Substrate - Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	8	120	151	3	154	152	52	8	149	154	3	5	3	154
50. Perzentil	-	10	0,30	-	26	19	0,08	-	26	46	-	-	-	104
90. Perzentil	-	18	1,10	-	49	35	0,35	-	43	155	-	-	-	258

KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	11	12	3	10	12	-	3	13	11	3	-	-	12
50. Perzentil	-	2	0,26	-	9	15	-	-	11	17	-	-	-	79
90. Perzentil	-	4	0,40	-	20	31	-	-	15	43	-	-	-	321

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	25	53	54	27	55	56	44	30	53
50. Perzentil	< BG	< BG	0,006	< BG	0,10	0,04	< BG	< BG	0,22
90. Perzentil	3,2	0,01	0,050	< BG	0,23	0,80	0,01	0,01	1,88
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	23	44	52	24	51	52	39	28	51
50. Perzentil	< BG	< BG	0,003	< BG	0,08	0,07	< BG	< BG	0,15
90. Perzentil	8,5	< BG	0,022	< BG	0,20	0,70	< BG	0,01	0,69

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	15	23	28	16	29	25	25	17	28
50. Perzentil	< BG	< BG	0,002	< BG	0,09	< BG	< BG	< BG	< BG
90. Perzentil	0,7	< BG	0,013	< BG	0,23	0,13	< BG	0,02	0,56
Grünland	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	12	27	26	10	26	26	24	13	27
50. Perzentil	2,1	< BG	0,021	< BG	0,10	0,25	< BG	0,01	0,48
90. Perzentil	16,0	0,02	0,061	< BG	0,25	1,35	0,10	0,01	3,51

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

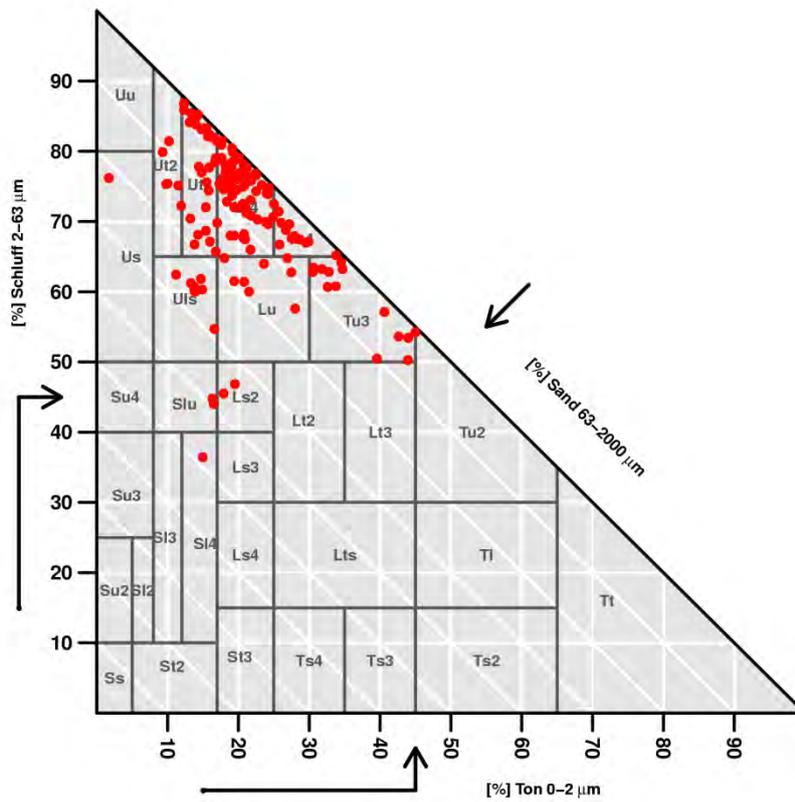
Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	21	38	46	22	47	47	34	25	45
50. Perzentil	< BG	< BG	0,006	< BG	0,10	0,04	< BG	0,01	0,23
90. Perzentil	2,6	< BG	0,043	< BG	0,23	0,80	< BG	0,01	1,81

## V.4.2 Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	41	52	54	51
50. Perzentil	0,0	1,51	6,10	16,56
90. Perzentil	0,0	3,33	7,30	27,91
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	43	54	54	52
50. Perzentil	0,0	0,60	6,20	13,84
90. Perzentil	0,0	1,07	7,40	22,76

Bodenartendiagramm (n=149)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	43	48	219	131	57	213	221	211	231	223	13	29	19	226
50. Perzentil	19690	8	0,29	15	38	19	0,07	948	<b>56</b>	42	0,60	0,19	62	84
90. Perzentil	30100	13	0,59	24	58	<b>45</b>	0,11	1540	<b>198</b>	61	0,88	0,27	136	130
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	44	46	212	141	58	210	217	204	213	212	16	28	20	216
50. Perzentil	21343	7	0,14	18	35	17	0,03	889	49	31	0,44	0,18	53	72
90. Perzentil	34635	9	0,44	27	60	<b>41</b>	0,07	1602	<b>182</b>	45	0,65	0,22	92	113

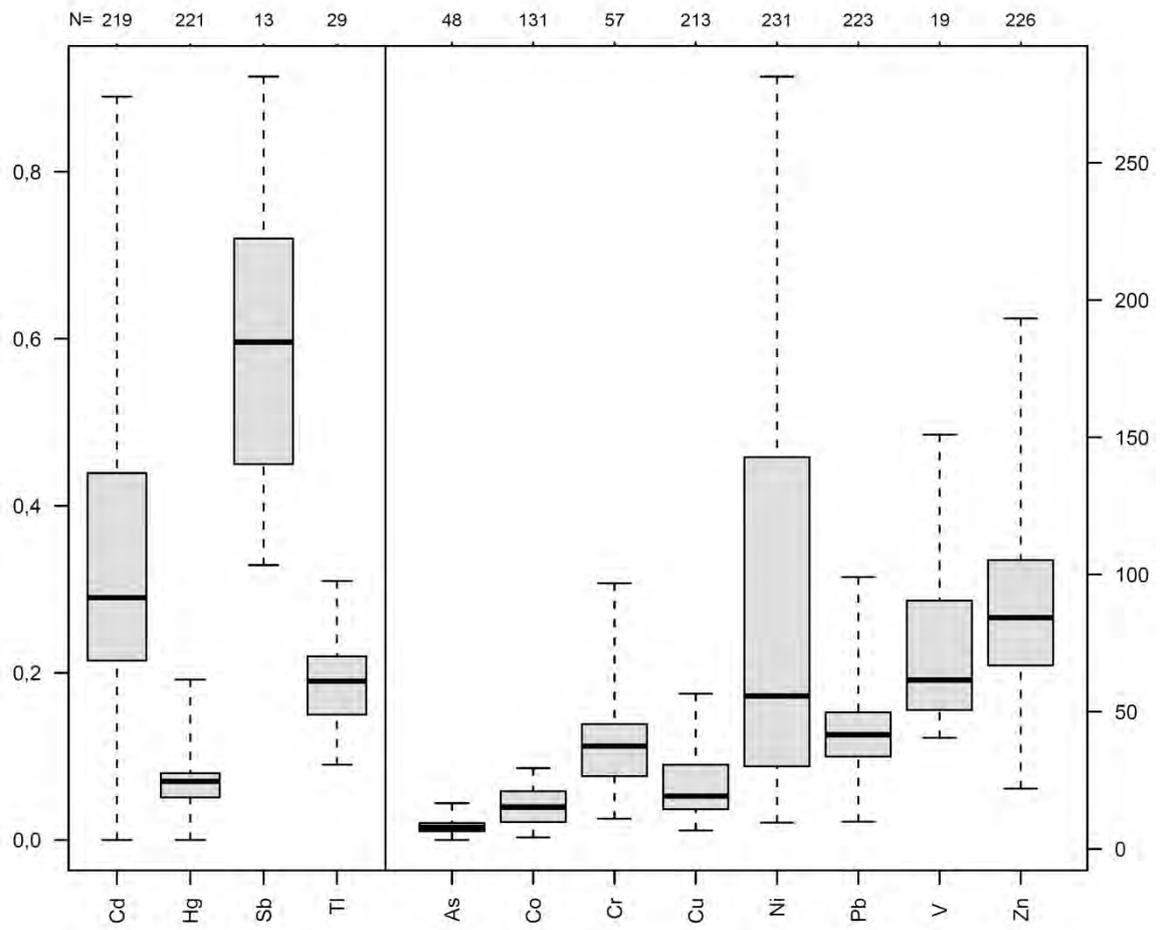
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	27	32	76	32	35	73	79	72	80	75	8	20	10	80
50. Perzentil	19144	8	0,28	10	36	19	0,06	794	33	36	-	0,17	54	73
90. Perzentil	29900	11	0,51	22	59	43	0,10	1519	198	48	-	0,23	89	128
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	14	15	120	91	20	121	121	121	128	127	5	8	8	127
50. Perzentil	24513	9	0,36	16	41	19	0,07	984	56	46	-	-	-	86
90. Perzentil	36820	13	0,59	25	49	45	0,10	1654	181	60	-	-	-	122
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	1	23	8	2	19	22	18	23	22	-	1	1	19
50. Perzentil	-	-	0,48	-	-	32	0,10	1184	163	55	-	-	-	106
90. Perzentil	-	-	0,66	-	-	54	0,19	1602	270	93	-	-	-	144

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	36	36	205	131	42	198	210	204	216	208	13	22	19	211
50. Perzentil	19670	8	0,29	15	39	19	0,07	965	63	43	0,60	0,16	62	86
90. Perzentil	34008	12	0,59	24	50	45	0,10	1550	199	61	0,88	0,23	136	131
Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	12	14	-	15	15	9	7	15	13	-	7	-	15
50. Perzentil	-	9	0,28	-	32	19	-	-	30	32	-	-	-	77
90. Perzentil	-	16	0,60	-	59	26	-	-	33	43	-	-	-	90

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	29	44	45	33	48	46	44	36	49
50. Perzentil	< BG	< BG	0,004	< BG	< BG	0,03	< BG	< BG	0,04
90. Perzentil	1,1	< BG	0,031	< BG	0,16	0,44	< BG	0,01	1,02
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	28	48	49	35	49	51	45	36	47
50. Perzentil	< BG	< BG	0,001	< BG	< BG	0,04	< BG	< BG	< BG
90. Perzentil	0,2	< BG	0,012	< BG	0,13	0,34	< BG	0,01	0,30

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	21	29	30	22	31	29	31	24	29
50. Perzentil	< BG	< BG	0,001	< BG	< BG	0,02	< BG	< BG	< BG
90. Perzentil	0,6	< BG	0,009	< BG	0,16	0,17	< BG	0,01	0,34
Grünland	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	10	14	16	9	16	16	16	11	16
50. Perzentil	1,1	< BG	0,026	-	< BG	0,44	< BG	< BG	0,74
90. Perzentil	5,8	< BG	0,075	-	0,13	1,15	0,03	0,01	1,60

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	23	37	40	26	41	40	37	29	41
50. Perzentil	< BG	< BG	0,006	< BG	< BG	0,04	< BG	< BG	0,11
90. Perzentil	1,1	< BG	0,041	< BG	0,15	0,47	< BG	0,01	1,02



## **V.5 Bodensubstrate mit periglazialer Überprägung**

Im Bereich der hessischen Mittelgebirgslandschaft und deren Übergänge zu den Becken- bzw. Grabenlandschaften wurden die anstehenden Gesteine unter periglazialen Bedingungen während des Pleistozäns stark überprägt. Im Regelfall unterscheiden sich hier die Substrate der Deckschichten deutlich vom liegenden Fest- oder Lockergestein. Die anstehenden Fest- oder Lockergesteine sowie im Altquartär oder Tertiär schon verwitterten Äquivalente wurden unter Dauerfrost oberflächennah zeitweise aufgetaut und dabei physikalisch zerkleinert, unter Kriechbewegungen hangabwärts transportiert und durchmischt. Dabei wurden über den Wind in geringeren Mächtigkeiten abgelagerte Flugstäube (Löss, Tephra, örtlich auch Flugsand) mit eingearbeitet. Dieser Prozess setzte wiederholt aus und nach mehr oder minder intensiven Abtragsphasen wurde er später erneut initiiert. In der heutigen Warmzeit wurde dieser Durchmischungsprozess durch Bio- und Peloturbation fortgesetzt. Die Bodensubstrate sind somit sogenannte Polymikte mit häufig sehr unterschiedlichen Komponenten aus den hangaufwärts anstehenden, mehr oder weniger vorverwitterten Untergrundgesteinen und äolischer Fremdkomponente. Die Gesamtmächtigkeit dieser Deckschichten variiert gebietsweise sowie entsprechend der geomorphologischen Situation sehr stark zwischen 60 cm und mehreren Metern. Durch Bodenerosion sind die periglazialen Deckschichten an vielen Stellen teilweise bis gänzlich wieder abgetragen.

Die verschiedenen Komponenten wirken sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung entsprechend auf die geogenen Gehalte an Spurenstoffen aus. Je nach Spurenelementgehalten von quarzreichen Sedimentgesteinen bis zu foidreichen Magmatiten führt ein steigender Lössderivatanteil im Bodensubstrat zu höheren oder geringeren geogenen Gehalten im Verhältnis zum Untergrundgestein. Die Bildung der Substratgruppen für die statistische Auswertung, wie auch für die räumliche Differenzierung in der Karte der „Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in Oberböden“ (HLUG 2011), kategorisiert daher immer die vorherrschende Gesteinskomponente des hangaufwärts vorkommenden Untergrundgesteins und den Anteil der Lösskomponente. Hierzu wurde für die unterschiedlichen Gesteinsgruppen eine Einteilung in lössfreie, lössarme (> 0 - 35 %) und lössreiche (35 - 90 %) Substratgruppen vorgenommen.

### V.5.1 Carbonatische Substrate

Die Gruppe der carbonatischen Substrate fasst Kalk-, Dolomitsteine und Mergel des Muschelkalks, Zechsteins und Tertiärs zusammen. Subsumiert sind auch physikalische und chemische Verwitterungsderivate, sofern das Bodensubstrat noch hohe Carbonatanteile aufweist. Bodentypologisch finden sich hier Rendzinen aus Kalksteinschutt mit geringem Feinbodenanteil bis hin zu Terra Fusca und Terra Rossa mit intensiven tertiären Verwitterungsbildungen. Die physikalischen wie auch die chemischen Eigenschaften dieser Bodensubstrate sind sehr unterschiedlich. Während die Residualtone oft hohe Spurenelementgehalte aufweisen, sind die Substrate aus gering verwitterten Carbonaten eher spurenelementarm. Aufgrund der geringen Anzahl beprobter Bodenprofile und der engräumigen Vergesellschaftung der Böden konnte keine weitere Aufspaltung dieser Substratgruppe vorgenommen werden. Untergliedert wird nur nach dem Lössderivatanteil im Bodensubstrat in eine lössfreie, eine lössarme und eine lössreiche Substratgruppe. Räumlich sind die Substrate auf die west- und nordhessischen Muschelkalk- und Zechsteingebiete beschränkt. Im kleinräumigen Wechsel treten Mergel- und Kalksteinsubstrate auch im Mainzer Becken zu Tage (vgl. Abbildung V-4).

Die vorliegenden Datengrundlagen sind sehr gering, für reine Substrate aus Carbonaten ohne Lössbeimischung können keine Perzentile berechnet werden. Für die lössarmen und -reichen Substrate aus/mit Carbonaten können valide Hintergrundwerte nur für Ni angegeben werden. Es erfolgt zwar teilweise eine nutzungs- und gebietstypdifferenzierte Auswertung, allerdings haben die Werte nur einen orientierenden Charakter, da für alle Spurenelemente  $n < 20$  bleibt. Perzentile für  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte können nicht berechnet werden.

Aufgrund der je nach Verwitterungsgrad sehr heterogenen Spurenelementgehalte der carbonatischen Substrate können steigende Lössderivatanteile theoretisch entweder zu An- oder zu Abreicherung führen. Hier sind für fast alle Spurenelemente die Hintergrundwerte der lössreichen carbonatischen Substrate etwas höher als die der lössarmen.

Die berechneten 50. P.-Werte für carbonatische Substrate bleiben alle unterhalb der Vorsorgewerte für die Bodenart Lehm/Schluff. Die 90. P.-Werte der lössarmen carbonatischen Substrate überschreiten für Cd, Cr, Pb und Ni im Ober- oder Unterboden, die der lössreichen carbonatischen Substrate darüber hinaus für Cu und Zn die Vorsorgewerte.

## Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

0 10 20 40 km

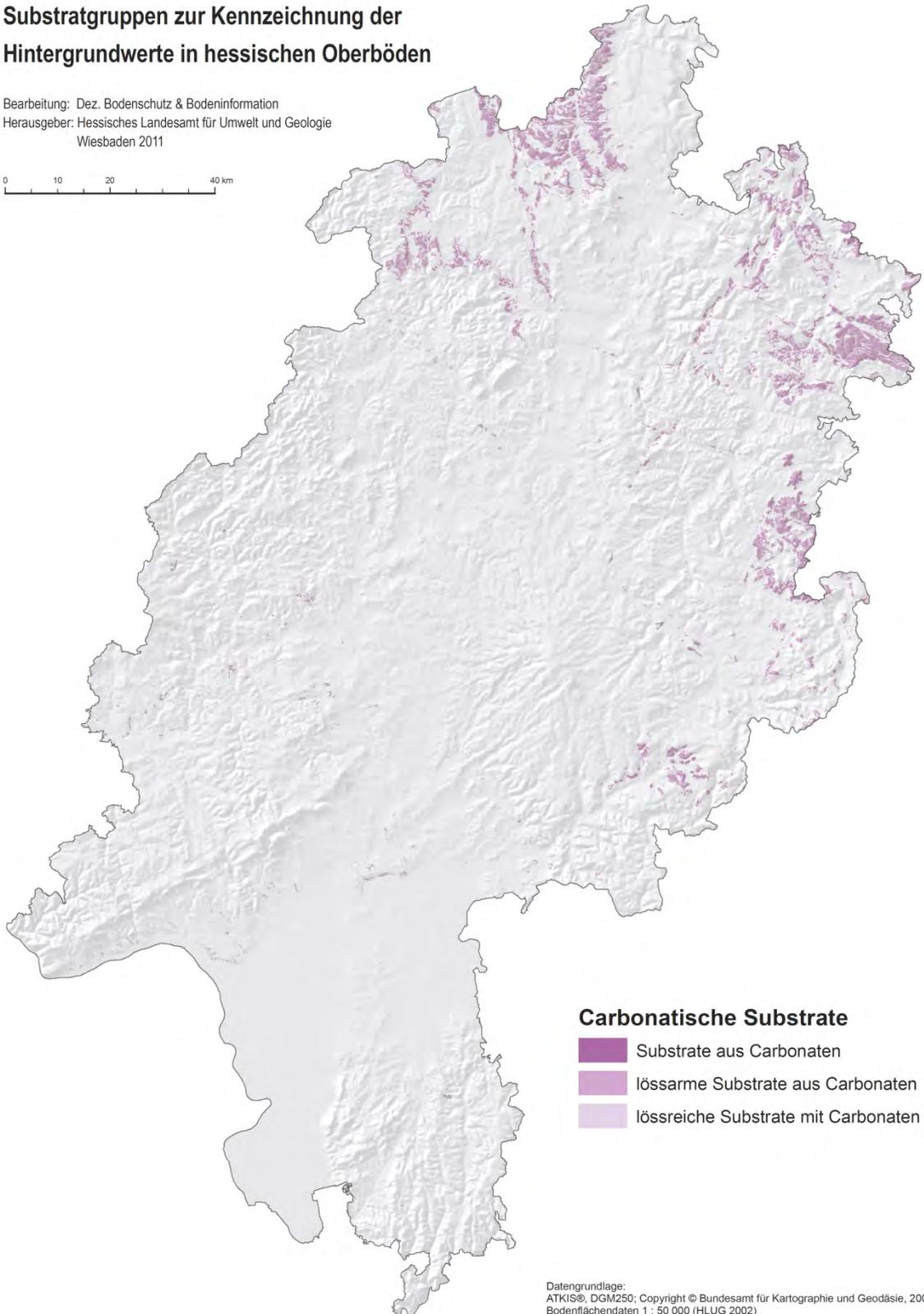


Abbildung V-4: Räumliche Verteilung der carbonatischen Substrate

*V.5.1.1 Substrate aus Carbonaten*

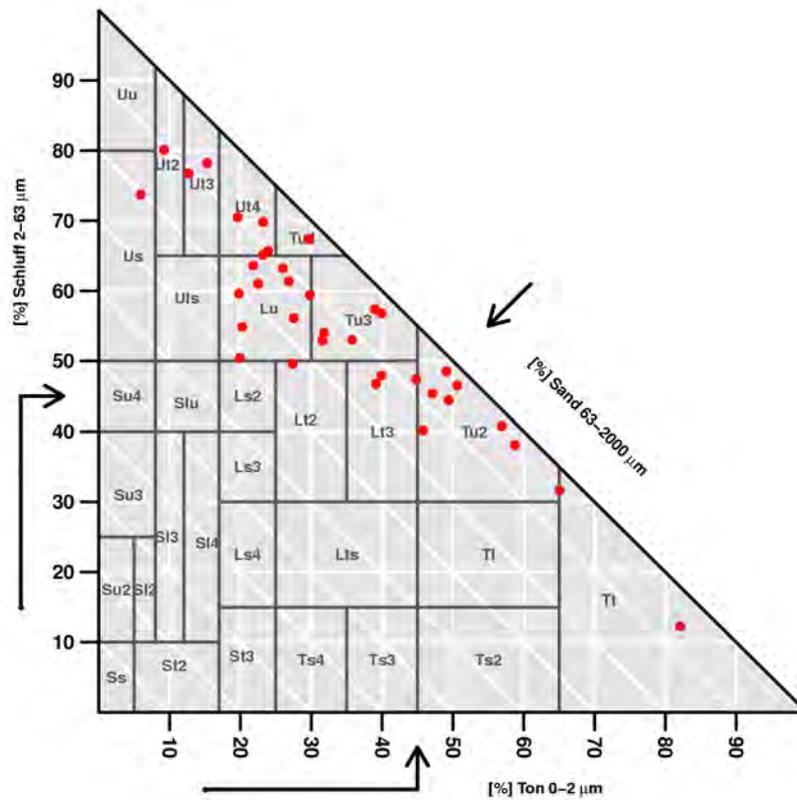
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

V.5.1.2 Lössarme Substrate aus Carbonaten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	13	13	13	9
50. Perzentil	7,9	4,20	7,09	-
90. Perzentil	35,0	7,80	7,33	-
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	11	9	9	7
50. Perzentil	8,8	-	-	-
90. Perzentil	25,0	-	-	-
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	20	12	20	15
50. Perzentil	22,7	0,50	7,58	18,30
90. Perzentil	74,9	2,73	7,77	171,02

Bodenartendiagramm (n=36)



Carbonatische Substrate - Lössarme Substrate aus Carbonaten

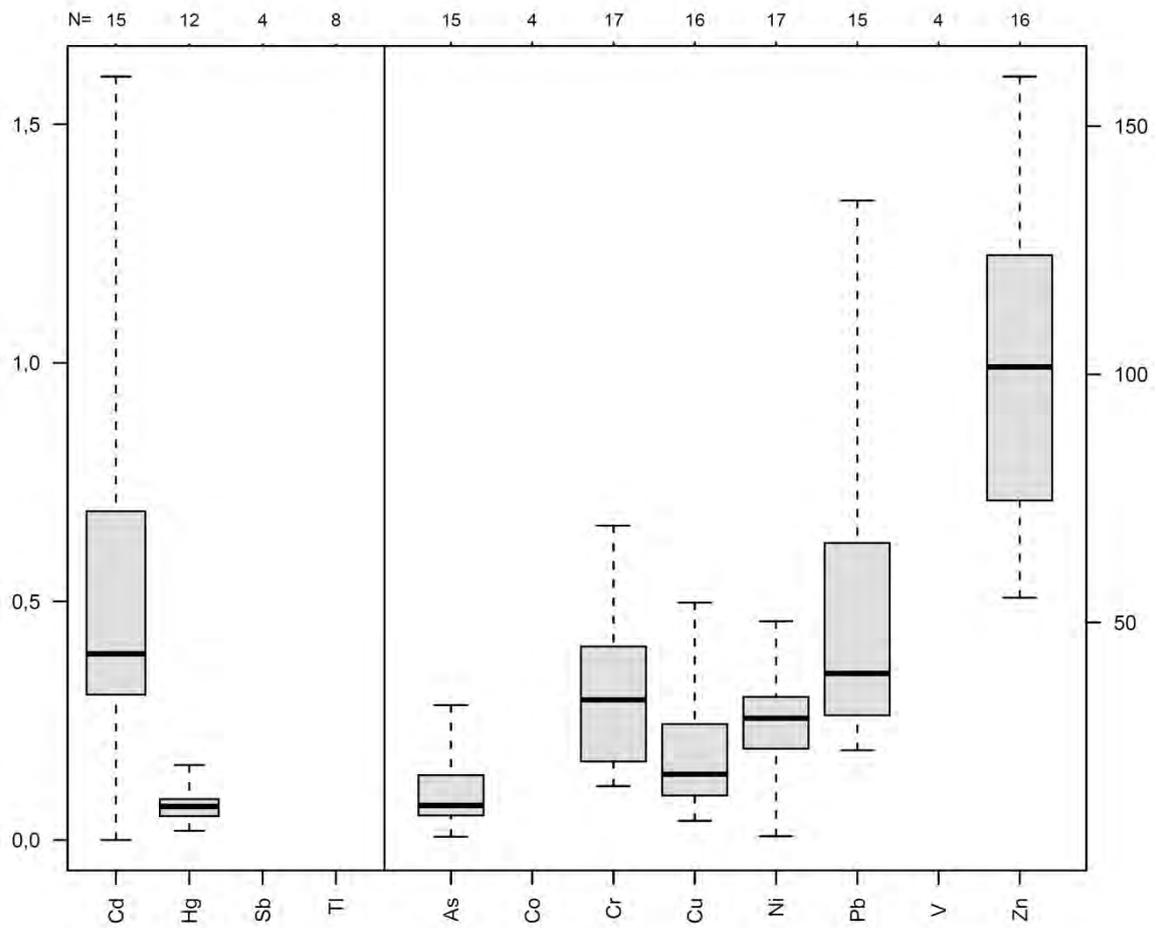
KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	15	15	4	17	16	12	12	17	15	4	8	4	16
50. Perzentil	29039	13	0,39	-	34	19	0,07	1459	31	40	-	-	-	99
90. Perzentil	42200	21	<b>1,40</b>	-	<b>67</b>	34	0,12	3087	47	<b>105</b>	-	-	-	147
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	6	10	10	4	11	13	7	8	13	11	6	4	4	12
50. Perzentil	-	9	0,18	-	43	21	-	-	31	34	-	-	-	70
90. Perzentil	-	24	0,43	-	<b>69</b>	32	-	-	<b>52</b>	55	-	-	-	96
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	20	16	11	13	19	11	16	20	15	12	8	5	16
50. Perzentil	19337	12	0,09	8	28	16	0,02	447	25	21	0,55	-	-	48
90. Perzentil	31587	34	0,28	13	51	37	0,03	1780	38	34	2,33	-	-	127

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	12	11	4	13	12	11	12	13	11	4	8	4	12
50. Perzentil	29039	13	0,39	-	37	18	0,07	1459	32	34	-	-	-	94
90. Perzentil	42200	20	0,72	-	67	33	0,12	3087	47	61	-	-	-	147

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

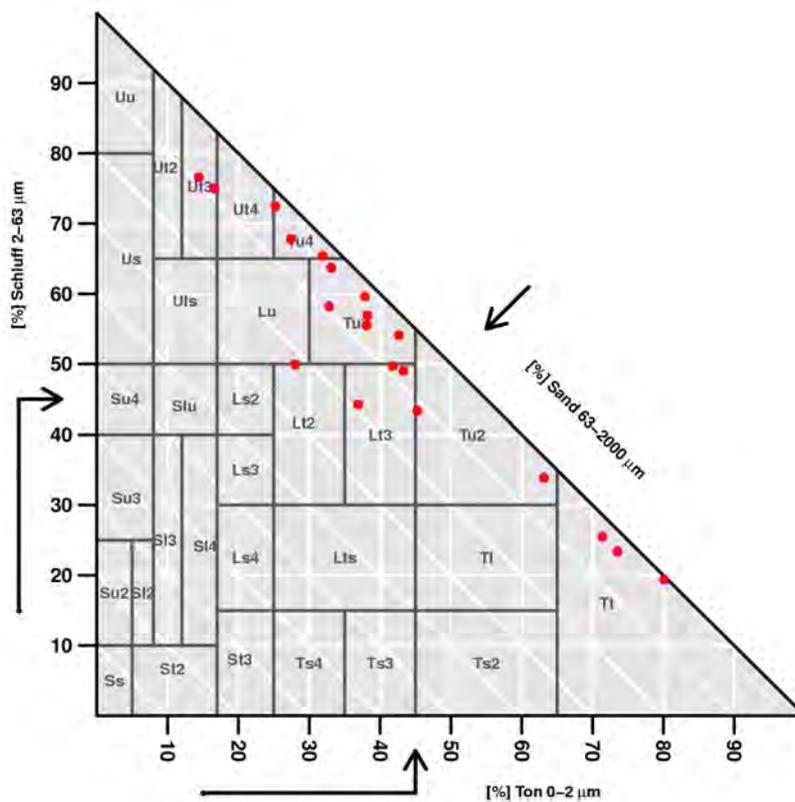
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

### V.5.1.3 Lössreiche Substrate mit Carbonaten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	18	11	18	8
50. Perzentil	0,0	3,59	6,81	-
90. Perzentil	13,3	7,80	7,39	-
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	16	8	15	7
50. Perzentil	0,0	-	7,20	-
90. Perzentil	12,9	-	7,50	-

Bodenartendiagramm (n=20)



Carbonatische Substrate - Lössreiche Substrate mit Carbonaten

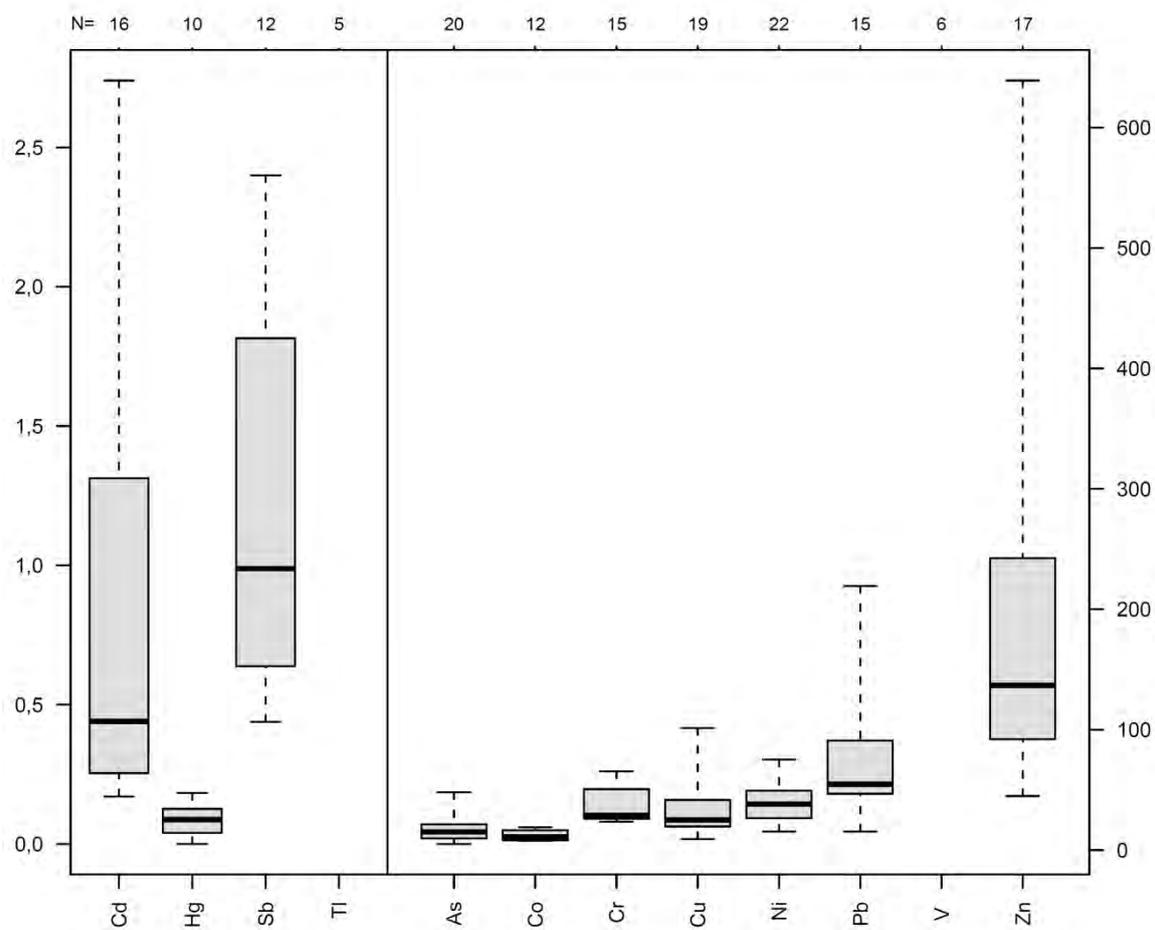
KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	10	20	16	12	15	19	10	14	22	15	12	5	6	17
50. Perzentil	30298	15	0,40	10	29	25	0,08	1090	37	55	0,98	-	-	137
90. Perzentil	45445	29	<b>2,64</b>	17	<b>61</b>	<b>74</b>	0,14	2569	<b>61</b>	<b>115</b>	2,30	-	-	<b>390</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	18	17	10	12	18	7	11	20	14	11	5	3	14
50. Perzentil	-	13	0,44	10	35	26	-	1058	38	40	1,08	-	-	87
90. Perzentil	-	36	<b>2,13</b>	18	<b>65</b>	<b>54</b>	-	2008	<b>62</b>	<b>120</b>	2,40	-	-	<b>355</b>

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	10	16	12	12	11	15	10	14	18	11	12	5	6	13
50. Perzentil	30298	15	0,48	10	42	25	0,08	1090	30	55	0,98	-	-	122
90. Perzentil	45445	29	2,64	17	61	74	0,14	2569	55	113	2,30	-	-	384

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.



## V.5.2 Psammitische und psephitische Substrate

Gesteine aus Sand und grobklastischen Sedimenten korrelieren mit den hohen Flächenanteilen des Buntsandsteins in Hessen. Hier sind vor allem der Buntsandstein-Odenwald, -Spessart, das gesamte Westhessische Bergland, Reinhardswald, Waldecker Tafel und Burgwald zu nennen. Den Schwerpunkt bilden Verwitterungsprodukte des Sandsteins sowie teilweise Grauwacken. Weitere Flächenrelevanz besitzen die Substrate aus grobklastischen Rotliegend- und Zechsteinsedimenten (Konglomerate) sowie quarzreiche tertiäre Sande. Als metamorphe Äquivalente sind die devonischen Quarzite des Hohen Taunus und örtlich vorkommende Tertiärquarzite der Substratgruppe zugeordnet (vgl. Abbildung V-5).

Diesen Ausgangsgesteinen gemein ist ein sehr hoher Quarzanteil mit 50 bis > 80 % bei geringem Anteil verwitterbarer Silikate und Tonminerale sowie Carbonatfreiheit. Daher sind der geogene Gehalt an Spurenstoffen sowie die Bindefähigkeit für eingetragene Stoffe gering.

Wie bei den carbonatischen Bodenausgangsgesteinen ist auch bei dieser Substrathauptgruppe der Anteil an Lössderivaten für die Gliederung in Substratgruppen entscheidend. Dabei werden für die Berechnungen der Hintergrundwerte die lössreichen Substrate weiter untergliedert nach der Bodenart in überwiegend sandige und überwiegend sandig-schluffige Substrate.

Für lössfreie Substrate aus Psammiten und Psephiten sowie sandige lössreiche Substrate sind die Datengrundlagen gering, es können nur für einige Spurenelemente valide Hintergrundwerte angegeben werden. Für lössarme sowie sandig-schluffige lössreiche Substrate aus Psammiten und Psephiten wurde jedoch eine größere Anzahl an Standorten beprobt, so dass für viele Spurenelemente nutzungs- und gebietstypdifferenzierte Hintergrundwerte für KW- und  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte berechnet werden können.

Ausgehend von den sehr geringen Spurenstoffgehalten in den quarzreichen Sedimentgesteinen und metamorphen Äquivalenten steigen die Gehalte mit dem Anteil an lössbürtigem Material an. Für fast alle Spurenelemente besitzen die lössreichen höhere Hintergrundwerte als die lössfreien/-armen Substratgruppen. Von den beiden lössreichen Substratgruppen sind erwartungsgemäß die sandig-schluffigen Substrate spurenelementreicher.

Vergleicht man die berechneten Hintergrundwerte der lössfreien und -armen Substrate mit den Vorsorgewerten, so unterschreiten alle 50. P.-Werte die Vorsorgewerte für die Bodenart Sand, während bei den 90. P.-Werten einige Spurenelemente den entsprechenden Vorsorgewert in Ober-, Unterboden oder -grund überschreiten. Bei den lössreichen Substraten werden die Lehm-/Schluff-Vorsorgewerte für  $\text{pH} < 5$  bzw.  $< 6$  angesetzt. Für Ni erreichen bzw. überschreiten die 50. P.-Werte der sandig-schluffigen Substrate im Unterboden bzw. -grund die Vorsorgewerte. Die berechneten 90. P.-Werte überschreiten darüber hinaus für beide lössreichen Substratgruppen die Vorsorgewerte für Cd, Pb und Zn in mindestens einer Horizontgruppe.

## Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

0 10 20 40 km

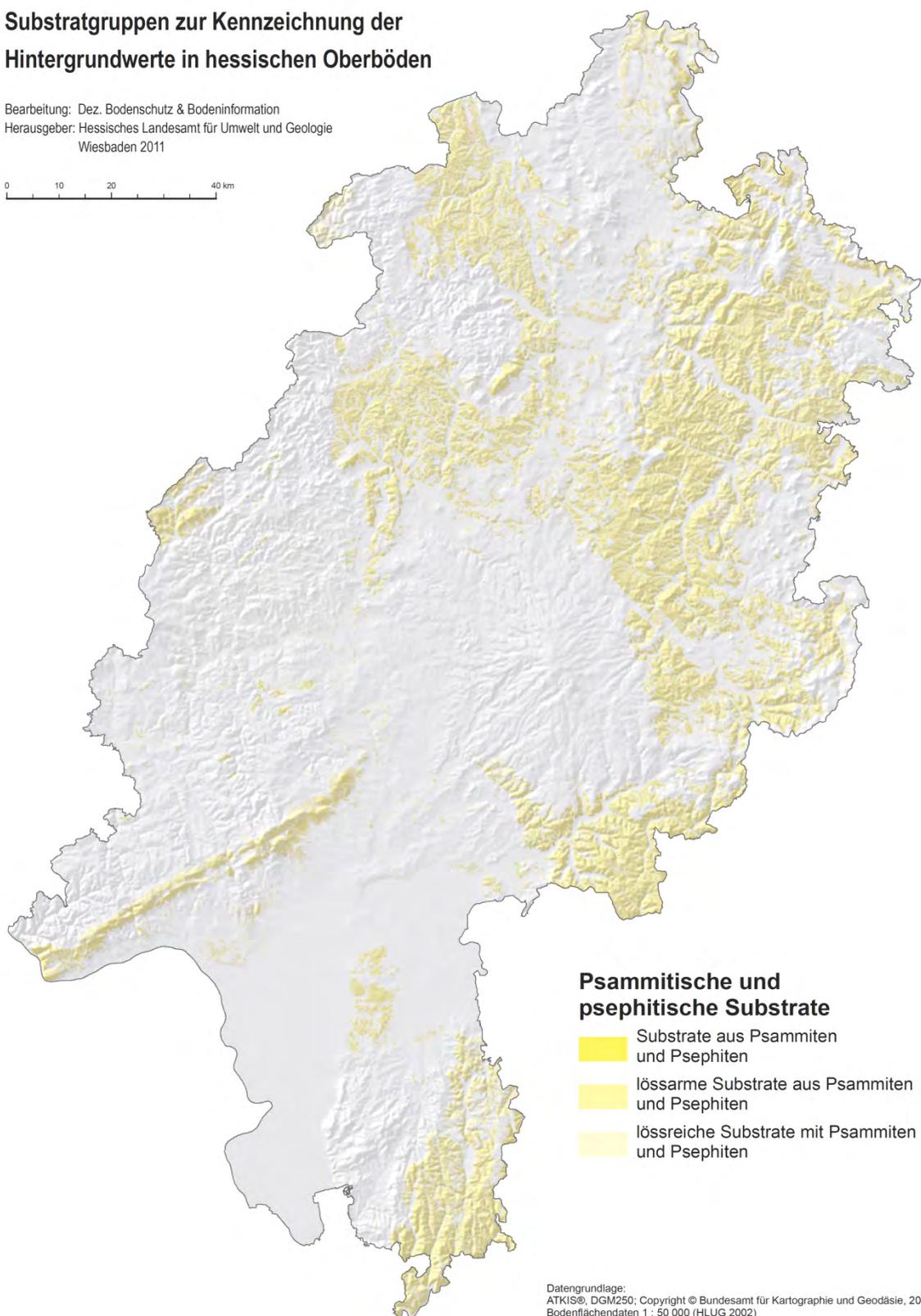


Abbildung V-5: Räumliche Verbreitung der psammitischen und psephitischen Substrate

### V.5.2.1 Substrate aus Psammiten und Psephiten

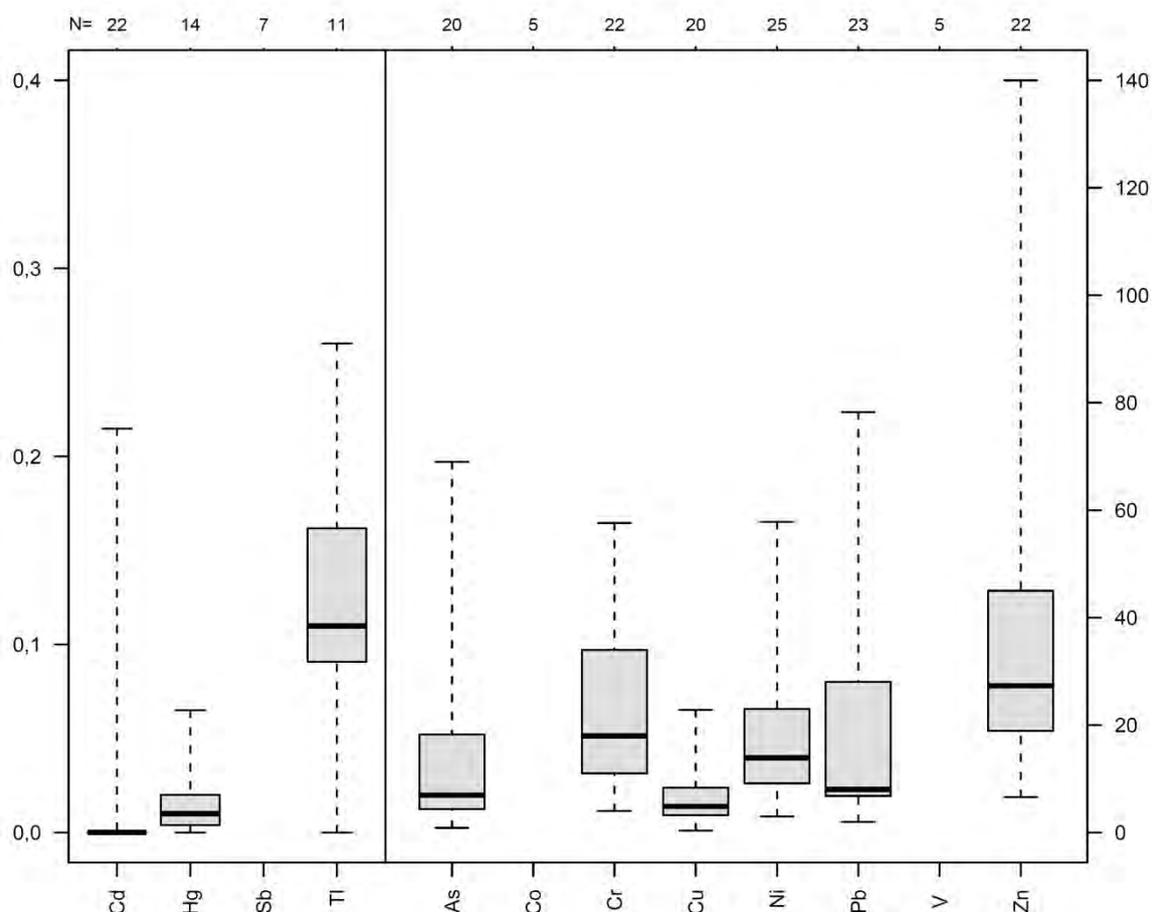
Bodenkennwerte

Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	15	15	18	9
50. Perzentil	0,0	0,10	6,20	-
90. Perzentil	0,0	1,04	7,80	-

KW-Gehalte [mg/kg]

Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	11	20	22	5	22	20	14	17	25	23	7	11	5	22
50. Perzentil	13016	7	< BG	-	18	5	0,01	222	14	8	-	0,11	-	26
90. Perzentil	17402	34	0,18	-	48	11	0,06	898	38	39	-	0,21	-	121

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Untergrund



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

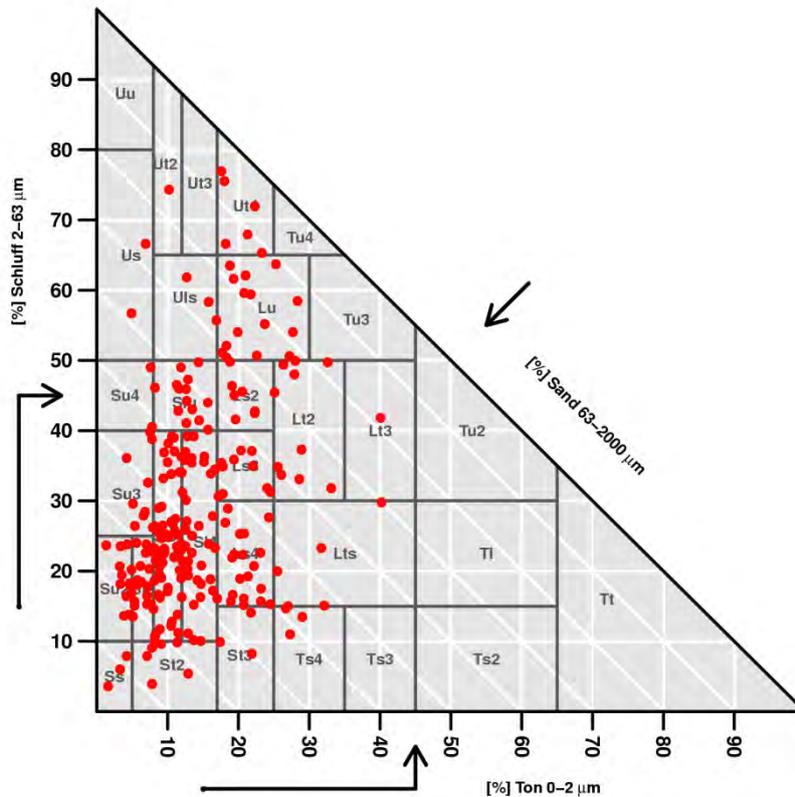
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

V.5.2.2 Lössarme Substrate aus Psammiten und Psephiten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	53	58	74	34
50. Perzentil	0,0	2,20	4,44	10,45
90. Perzentil	0,0	5,51	6,20	17,20
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	71	76	90	36
50. Perzentil	0,0	0,53	4,17	7,46
90. Perzentil	0,0	1,63	5,90	14,37
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	108	98	120	53
50. Perzentil	0,0	0,18	4,37	7,20
90. Perzentil	0,0	0,50	6,79	14,27

Bodenartendiagramm (n=249)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	47	93	267	150	136	259	207	181	268	263	16	36	14	262
50. Perzentil	8124	6	0,20	< BG	8	5	0,07	49	5	36	0,44	0,15	32	20
90. Perzentil	17321	13	<b>0,44</b>	4	19	11	<b>0,16</b>	476	13	<b>60</b>	1,26	0,24	80	52
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	65	101	289	158	152	285	230	204	292	295	19	50	17	296
50. Perzentil	10951	4	0,10	3	8	3	0,04	136	6	21	0,40	0,13	32	19
90. Perzentil	22224	10	0,40	4	21	7	0,07	343	13	34	1,42	0,18	72	38
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	85	123	382	289	121	361	343	329	378	380	47	61	31	356
50. Perzentil	14000	5	0,09	3	18	5	0,02	71	10	21	0,77	0,13	47	19
90. Perzentil	28328	16	<b>0,44</b>	5	<b>51</b>	10	0,04	206	<b>26</b>	35	1,88	0,26	86	39

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	20	25	58	23	46	59	34	31	56	55	9	11	7	57
50. Perzentil	11287	5	0,18	4	12	9	0,06	440	9	29	-	0,14	-	43
90. Perzentil	30108	17	0,80	6	22	17	0,09	676	15	49	-	0,24	-	58
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	8	12	16	6	15	17	10	12	18	17	3	4	4	19
50. Perzentil	-	8	0,20	-	16	8	0,05	516	11	34	-	-	-	50
90. Perzentil	-	13	0,44	-	38	29	0,11	1256	27	66	-	-	-	149
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	20	56	193	121	71	185	162	135	187	189	6	21	3	183
50. Perzentil	5450	6	0,21	< BG	7	5	0,08	41	4	38	-	0,15	-	15
90. Perzentil	7719	13	0,44	3	10	7	0,17	84	8	60	-	0,24	-	28

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	42	53	185	149	52	182	175	173	184	184	15	31	14	179
50. Perzentil	7976	4	0,21	< BG	10	5	0,07	47	4	36	0,44	0,15	32	15
90. Perzentil	16484	10	0,44	4	19	8	0,15	392	9	60	1,26	0,24	80	34

Psammitische und psephitische Substrate - Lössarme Substrate aus Psammiten und Psephiten

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	5	40	79	1	80	83	32	4	84	79	1	5	-	83
50. Perzentil	-	9	0,10	-	7	7	0,12	-	8	33	-	-	-	36
90. Perzentil	-	14	0,40	-	17	19	0,22	-	17	60	-	-	-	66

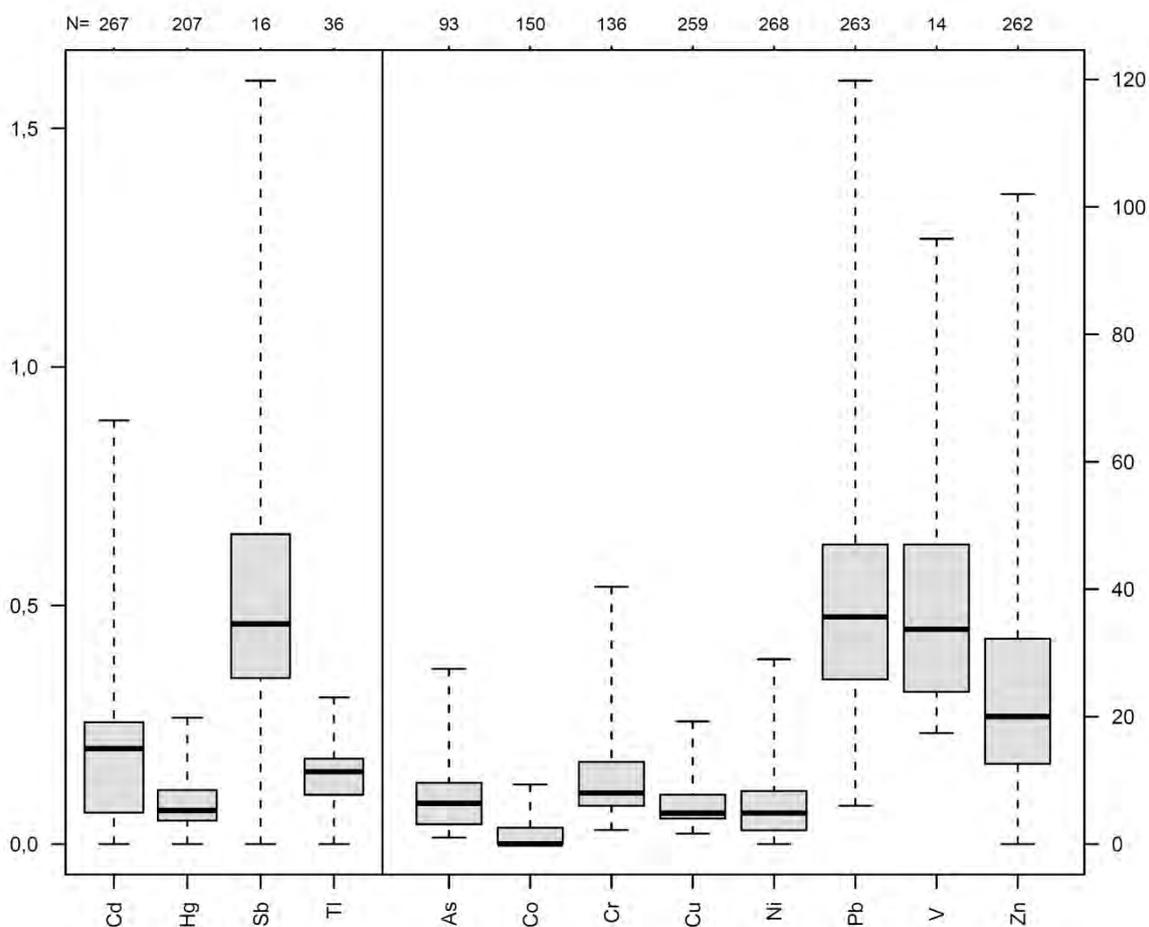
KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	36	52	3	46	52	25	3	49	51	6	-	3	50
50. Perzentil	-	1	0,40	-	2	16	0,10	-	5	33	-	-	-	57
90. Perzentil	-	2	0,90	-	4	26	0,19	-	7	60	-	-	-	85

Of	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	14	48	36	14	49	1	35	49	23	6	-	3	49
50. Perzentil	-	3	0,44	3	8	16	-	196	9	100	-	-	-	59
90. Perzentil	-	9	0,89	3	15	28	-	446	13	130	-	-	-	81

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



Psammitische und psephitische Substrate - Lössarme Substrate aus Psammiten und Psephiten

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	14	30	32	13	31	29	26	17	31
50. Perzentil	0,6	< BG	0,005	< BG	0,09	0,01	< BG	0,01	0,39
90. Perzentil	15,9	0,01	0,054	< BG	0,20	0,13	0,05	0,03	2,53
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	14	29	32	16	32	31	26	16	33
50. Perzentil	0,2	< BG	0,003	< BG	< BG	0,02	< BG	< BG	0,16
90. Perzentil	5,7	< BG	0,023	< BG	0,19	0,12	0,03	0,01	1,46
Untergrund	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	15	45	49	21	49	50	42	21	48
50. Perzentil	1,2	< BG	0,002	< BG	0,08	0,01	< BG	< BG	0,08
90. Perzentil	5,6	< BG	0,010	< BG	0,21	0,26	0,03	0,01	0,77

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	7	18	21	8	21	18	18	12	21
50. Perzentil	-	< BG	0,004	-	< BG	< BG	< BG	0,01	0,12
90. Perzentil	-	0,01	0,038	-	0,18	0,04	0,02	0,03	2,00

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

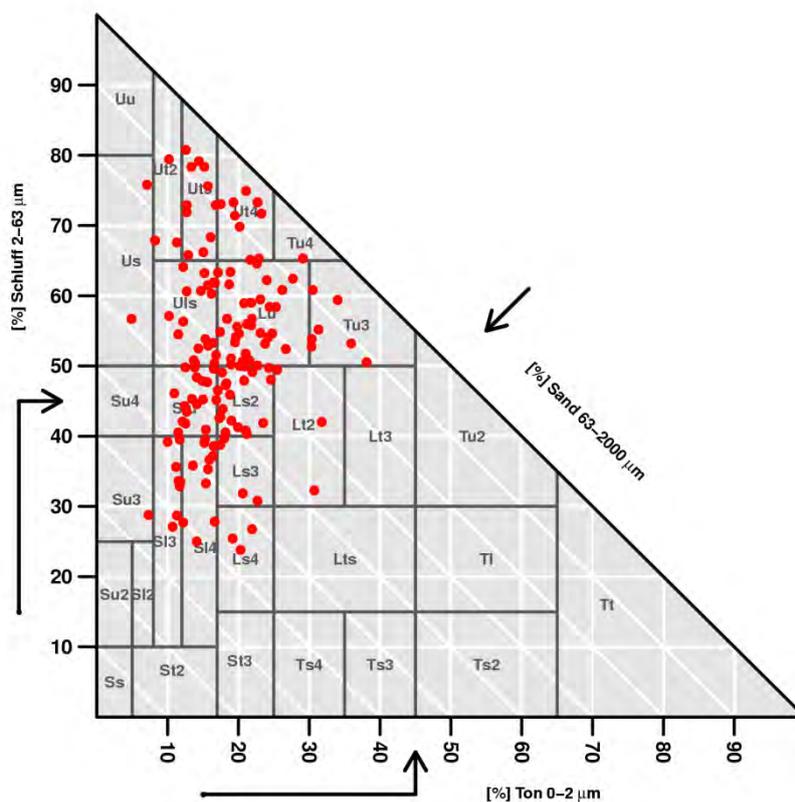
Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	10	25	26	9	26	24	23	13	26
50. Perzentil	< BG	< BG	0,005	-	0,10	< BG	< BG	0,01	0,39
90. Perzentil	15,1	0,02	0,039	-	0,21	0,12	0,05	0,03	2,53

### V.5.2.3 Sandig-schluffige lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	71	72	79	33
50. Perzentil	0,0	3,40	4,00	14,06
90. Perzentil	0,0	7,50	6,30	23,52
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	76	73	83	35
50. Perzentil	0,0	1,23	4,19	11,49
90. Perzentil	0,0	2,41	6,25	17,06

Bodenartendiagramm (n=153)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	58	90	132	66	86	131	98	107	136	129	35	42	27	132
50. Perzentil	12905	7	0,19	4	19	9	0,09	462	12	39	1,08	0,21	53	39
90. Perzentil	26962	13	<b>0,44</b>	10	44	20	0,17	1107	<b>33</b>	<b>73</b>	2,20	0,31	98	<b>93</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	59	88	136	75	82	138	112	115	141	137	38	44	26	140
50. Perzentil	16032	6	0,07	6	21	8	0,04	404	15	23	0,65	0,18	50	32
90. Perzentil	28219	12	<b>0,44</b>	10	43	18	0,07	873	<b>35</b>	37	1,51	0,25	74	<b>69</b>
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	5	14	9	5	14	9	10	14	14	3	1	3	14
50. Perzentil	-	-	0,05	-	-	11	-	162	<b>19</b>	26	-	-	-	24
90. Perzentil	-	-	<b>0,66</b>	-	-	14	-	324	<b>45</b>	<b>41</b>	-	-	-	47

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	23	38	22	23	39	31	33	40	36	7	8	5	39
50. Perzentil	14400	9	0,21	5	37	11	0,07	550	15	30	-	-	-	48
90. Perzentil	24752	13	0,51	7	49	27	0,10	1310	34	47	-	-	-	93
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	14	18	26	20	18	26	17	22	26	25	13	4	12	26
50. Perzentil	21890	7	0,24	5	19	9	0,06	700	14	36	1,08	-	62	52
90. Perzentil	33350	11	0,44	11	53	20	0,10	1107	29	46	1,40	-	113	109
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	29	49	67	22	45	66	49	50	69	66	15	30	10	66
50. Perzentil	9490	7	0,08	3	16	6	0,13	152	8	51	1,60	0,23	31	25
90. Perzentil	15194	15	0,44	3	33	14	0,17	975	28	90	2,70	0,33	38	72

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	56	73	115	66	69	113	96	105	118	112	35	40	27	113
50. Perzentil	12905	7	0,21	4	18	8	0,09	446	10	39	1,08	0,21	53	35
90. Perzentil	26962	12	0,51	10	39	18	0,17	1107	28	71	2,20	0,29	98	77

Psammitische und psephitische Substrate - Sandig-schluffige lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	17	17	-	17	16	2	2	17	14	-	2	-	17
50. Perzentil	-	9	< BG	-	33	13	-	-	28	38	-	-	-	86
90. Perzentil	-	16	0,41	-	52	20	-	-	39	45	-	-	-	112

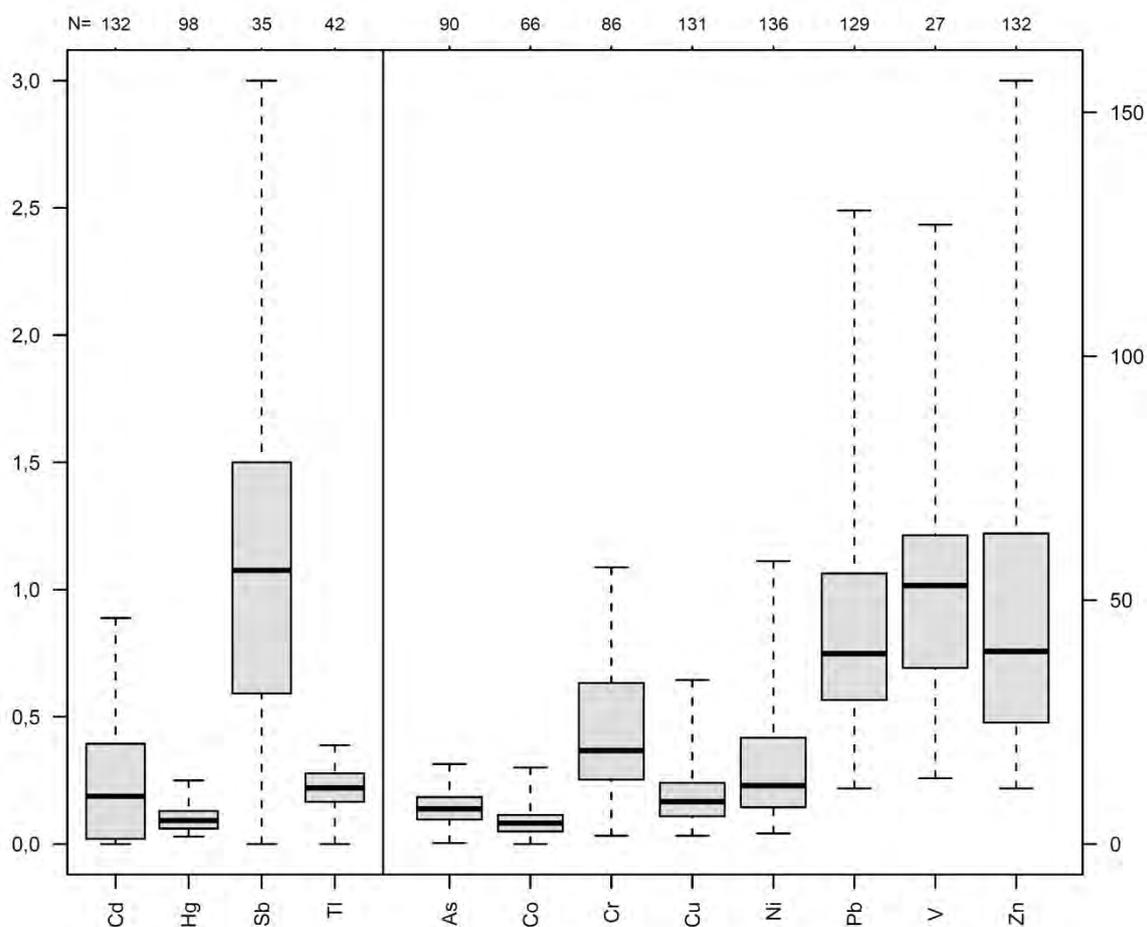
KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	23	22	8	13	20	-	6	22	22	16	-	9	21
50. Perzentil	-	1	0,34	-	4	12	-	-	6	27	1,05	-	-	67
90. Perzentil	-	8	0,50	-	9	18	-	-	16	53	2,45	-	-	94

Of	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	14	20	11	10	19	-	8	20	15	13	-	7	18
50. Perzentil	-	4	0,44	3	11	15	-	-	9	76	1,80	-	-	65
90. Perzentil	-	9	0,87	13	24	28	-	-	23	134	23,28	-	-	110

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	11	24	30	12	30	29	28	12	29
50. Perzentil	< BG	< BG	0,016	< BG	0,09	0,04	< BG	0,01	0,71
90. Perzentil	0,8	< BG	0,073	< BG	0,15	0,28	0,11	0,01	2,20
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	11	27	30	13	30	28	25	14	30
50. Perzentil	< BG	< BG	0,005	< BG	0,08	0,04	< BG	< BG	0,17
90. Perzentil	0,5	< BG	0,047	< BG	0,17	0,16	0,04	0,01	1,45

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	10	14	16	10	16	15	15	10	16
50. Perzentil	< BG	< BG	0,004	< BG	< BG	< BG	< BG	0,01	< BG
90. Perzentil	0,8	< BG	0,029	< BG	0,18	0,04	< BG	0,01	0,85
Grünland	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	2	11	14	2	14	13	13	3	13
50. Perzentil	-	< BG	0,054	-	0,10	0,17	0,08	-	1,44
90. Perzentil	-	< BG	0,092	-	0,15	0,35	0,14	-	2,72

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

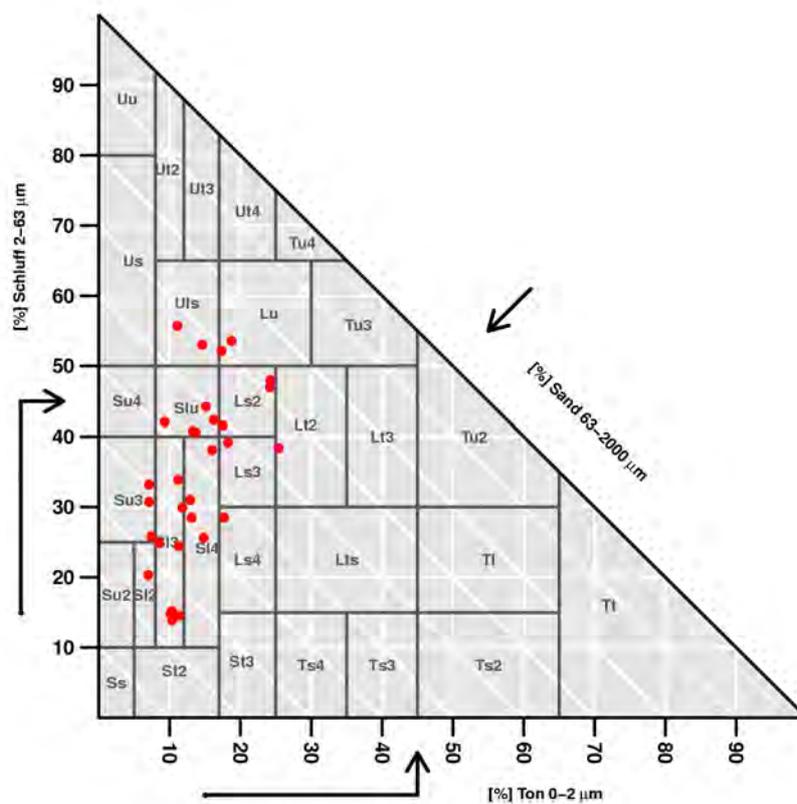
Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	10	23	29	11	29	28	28	11	28
50. Perzentil	< BG	< BG	0,023	< BG	0,10	0,04	< BG	0,01	0,71
90. Perzentil	0,8	< BG	0,077	< BG	0,17	0,28	0,13	0,01	2,20

### V.5.2.4 Sandige lössreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	16	14	18	9
50. Perzentil	0,0	1,81	4,70	-
90. Perzentil	0,0	3,91	7,20	-
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	17	15	19	10
50. Perzentil	0,0	0,92	4,30	8,40
90. Perzentil	0,0	1,32	6,30	11,94

Bodenartendiagramm (n=31)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	19	49	33	19	48	36	41	50	47	7	12	4	47
50. Perzentil	9953	6	0,10	4	13	8	0,07	358	11	34	-	0,12	-	27
90. Perzentil	19235	16	<b>0,44</b>	9	41	15	0,15	752	<b>24</b>	<b>59</b>	-	0,22	-	<b>62</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	22	62	46	19	58	51	53	61	60	10	11	6	60
50. Perzentil	11220	5	0,07	3	13	5	0,03	212	12	24	0,74	0,13	-	23
90. Perzentil	24912	13	<b>0,44</b>	8	30	10	0,06	554	<b>23</b>	<b>43</b>	1,60	0,19	-	44

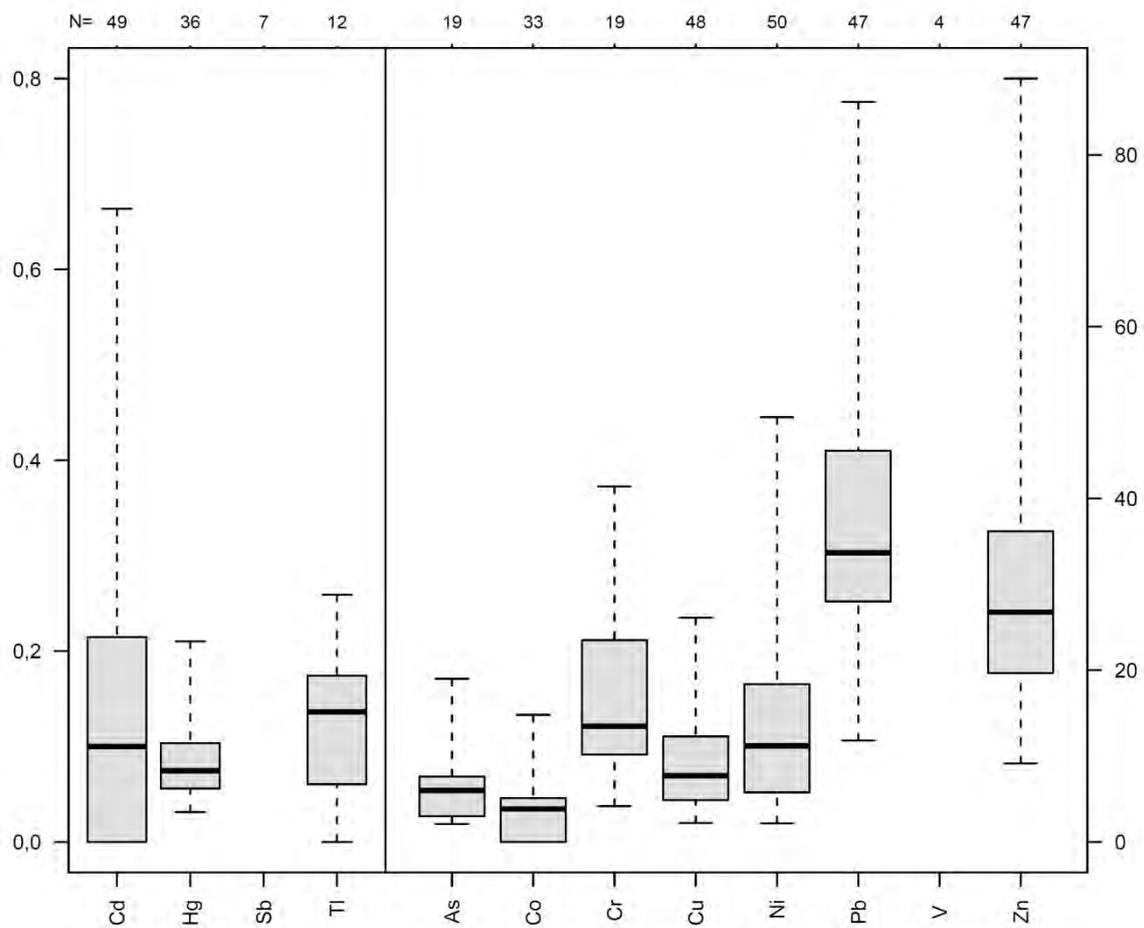
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	5	8	23	14	10	22	18	18	23	21	2	5	1	22
50. Perzentil	-	-	0,11	5	22	11	0,08	455	15	30	-	-	-	31
90. Perzentil	-	-	0,44	11	41	15	0,13	1164	25	55	-	-	-	62
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	3	5	12	10	4	11	4	10	12	12	3	2	2	12
50. Perzentil	-	-	0,14	4	-	7	-	364	12	33	-	-	-	26
90. Perzentil	-	-	0,47	5	-	14	-	721	23	59	-	-	-	89
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	5	6	14	9	6	14	13	13	14	13	3	3	1	14
50. Perzentil	-	-	< BG	-	-	5	0,10	113	4	39	-	-	-	16
90. Perzentil	-	-	0,44	-	-	6	0,17	147	7	47	-	-	-	23

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	17	45	33	15	44	36	41	45	43	7	12	4	41
50. Perzentil	9953	6	0,11	4	13	7	0,07	358	11	35	-	0,12	-	25
90. Perzentil	19235	16	0,44	9	27	15	0,15	752	22	59	-	0,22	-	47

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

### V.5.3 Pelitische Substrate

Gesteine aus feinklastischen, vergleichsweise quarzarmen Sedimenten und deren metamorphe Äquivalente spielen in ihrer Flächenbilanz in Hessen eine bedeutende Rolle. Hierzu zählen Ton- und Schluffsteine, schwach metamorphosierte Schiefer, Schiefertone mit ihren Gesteinsvarianten mit Korngrößen-schwerpunkt in der Schluff- bis Tonfraktion. Aufgrund vergleichbarer Spurenelementgehalte bei den Schwermetallen wurden dieser Substrathauptgruppe auch silikatreiche Phyllite und tonige Lockergesteine zugeordnet. Flächenrelevanz haben dabei vor allem die Gesteine des Devons und Karbons im Taunus, Westerwald und Süderbergland. Daneben spielen die tonigen Gesteine des Rotliegenden, des Buntsandsteins und des Tertiärs eine Rolle (vgl. Abbildung V-6).

Ober- und Unterböden dieser Standorte sind nur zu kleinen Flächenanteilen ausschließlich aus den Untergrundgesteinen geprägt. Die Bodenausgangsgesteine dieser Standorte stellen i. d. R. ein Gesteinsgemisch aus hangaufwärts anstehenden Gesteinen und deren Verwitterungsprodukten dar. Entscheidend für die Hintergrundgehalte von Spurenstoffen ist somit der Komponentenanteil der Boden-substrate. Auch die pelitischen Substrate werden unter Berücksichtigung ihres Lössgehaltes in drei Substratgruppen eingeteilt. Darüber hinaus werden bei den lössarmen Substraten für die Berechnung der Hintergrundwerte die Schuttsubstrate aus Peliten ausgegliedert.

Die Datengrundlagen für lössfreie Substrate und lössarme Schuttsubstrate aus Peliten sind gering. Dahingegen wurde eine große Anzahl an Standorten mit lössarmen und -reichen Substraten aus/mit Peliten untersucht, so dass spezifische Hintergrundwerte nach Horizontgruppen, Nutzung und Gebietstyp ausgewertet werden können. Auch Hintergrundwerte von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalten werden für beide Substratgruppen bestimmt.

Die Substrate aus/mit Peliten besitzen mittlere bis überdurchschnittliche Spurenelementgehalte, im Allgemeinen korrelierend mit der vorherrschenden Korngröße. Eine einheitliche Verdünnung mit steigendem Lössanteil kann daher anhand der ausgewerteten Daten nicht erkannt werden, vielmehr sind elementspezifisch sowohl An- als auch Abreicherungen zu beobachten. Einige Spurenstoffe, wie Cd oder Hg, zeigen auch unabhängig vom Lössanteil vergleichbare Gehalte.

Vergleicht man die berechneten Hintergrundwerte der lössfreien Substrate aus Peliten mit den Vorsorgewerten für die Bodenart Ton, so ist eine Überschreitung nur beim 90. Perzentil für Ni zu beobachten. Bei allen übrigen Substratgruppen aus/mit Peliten überschreiten auch die 50. P.-Werte für Ni und Zn in Ober-, Unterboden und Untergrund die Vorsorgewerte, wobei hier die Vorsorgewerte für die Bodenart Lehm/Schluff ( $\text{pH} < 5$  bzw.  $< 6$ ) zum Vergleich herangezogen werden. Im Oberboden der lössreichen Substrate mit Peliten ist auch das 50. Perzentil für Pb höher als der Vorsorgewert. Vergleicht man die 90. P.-Werte, liegen über die genannten Spurenelemente hinaus noch fast immer die Cd- und einige Cr-Gehalte oberhalb der Vorsorgewerte.

### Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

0 10 20 40 km

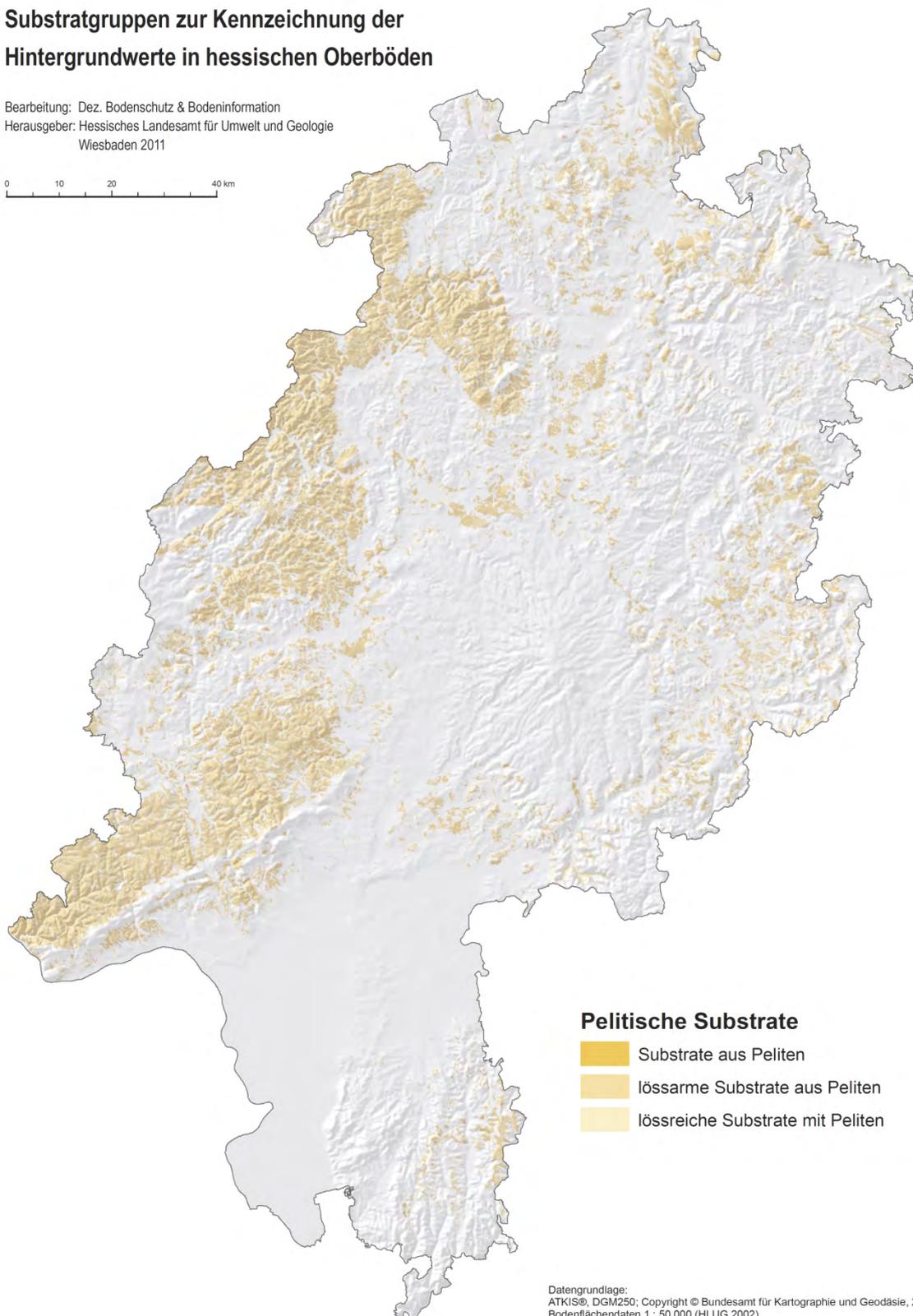


Abbildung V-6: Verbreitung der pelitischen Substrate

### V.5.3.1 Substrate aus Peliten

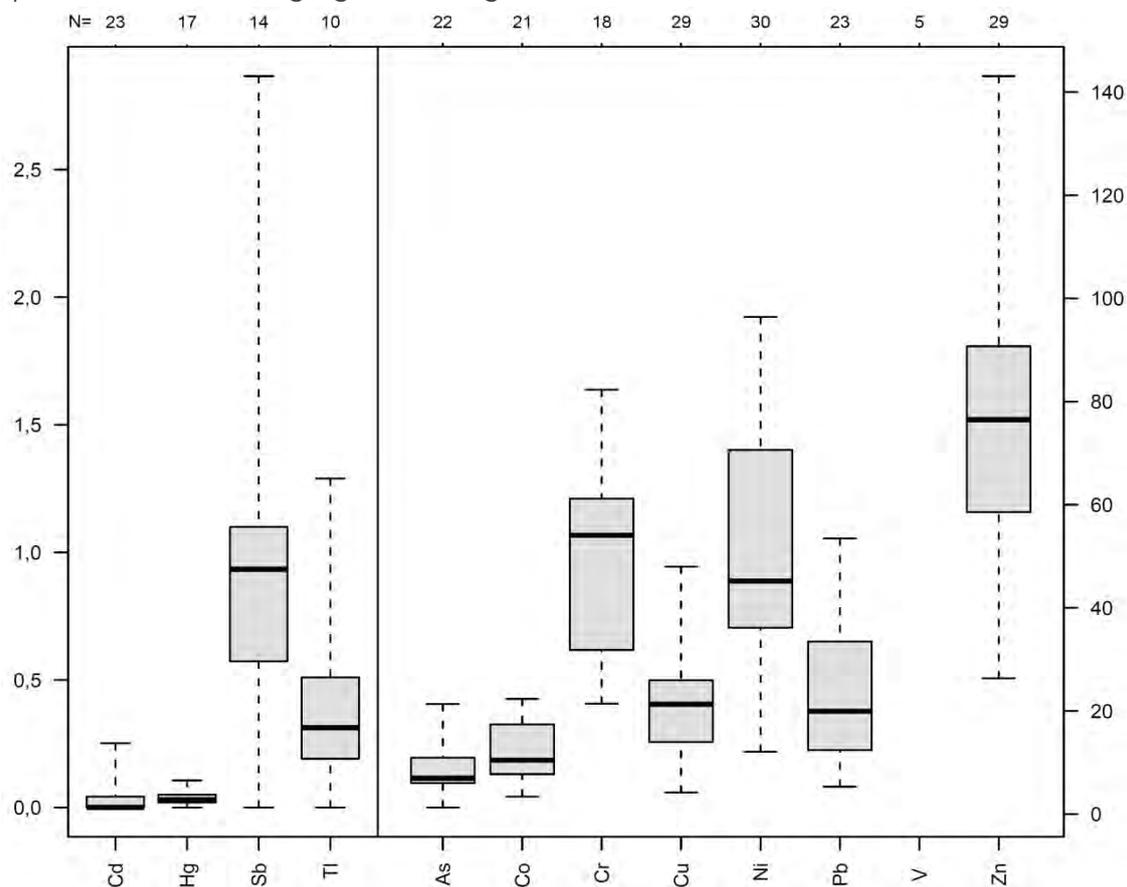
Bodenkennwerte

Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	19	18	29	17
50. Perzentil	0,0	0,20	5,00	21,01
90. Perzentil	0,0	0,57	7,60	32,27

KW-Gehalte [mg/kg]

Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	17	22	23	21	18	29	17	29	30	23	14	10	5	29
50. Perzentil	34200	7	< BG	10	53	21	0,03	469	45	20	0,90	0,28	-	77
90. Perzentil	55643	18	0,14	20	75	40	0,09	1158	81	50	1,91	0,64	-	107

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Untergrund



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

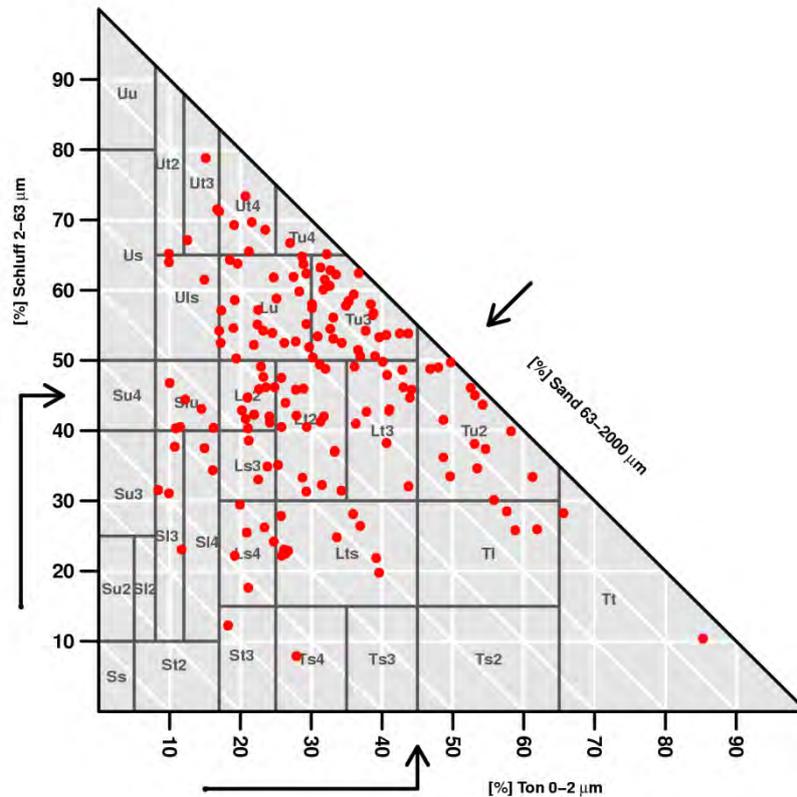
Untergrund	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	7	13	14	7	16	15	15	10	15
50. Perzentil	-	< BG	< BG	-	< BG	0,03	< BG	< BG	0,01
90. Perzentil	-	< BG	0,002	-	0,34	0,16	0,04	0,01	0,29

### V.5.3.2 Lössarme Substrate aus Peliten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	23	27	30	22
50. Perzentil	0,0	2,43	5,10	17,51
90. Perzentil	0,0	4,20	6,60	28,51
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	38	49	54	35
50. Perzentil	0,0	0,40	5,07	14,81
90. Perzentil	0,0	1,30	6,69	27,74
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	83	82	138	74
50. Perzentil	0,0	0,24	5,00	12,41
90. Perzentil	0,0	0,40	6,95	28,17

Bodenartendiagramm (n=165)



Pelitische Substrate - Lössarme Substrate aus Peliten

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	24	36	48	10	50	50	31	26	51	45	9	15	8	52
50. Perzentil	29886	10	0,34	12	24	18	0,08	1041	<b>27</b>	39	-	0,32	-	<b>78</b>
90. Perzentil	45793	19	<b>0,95</b>	21	55	34	0,12	2241	<b>50</b>	<b>75</b>	-	0,55	-	<b>137</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	42	57	104	38	84	106	70	64	107	102	17	31	20	108
50. Perzentil	29427	8	0,09	16	34	17	0,03	656	<b>41</b>	21	0,95	0,21	64	<b>67</b>
90. Perzentil	56680	17	<b>0,60</b>	27	<b>71</b>	31	0,06	1386	<b>74</b>	39	1,80	0,36	98	<b>110</b>
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	79	107	290	216	106	294	268	280	305	297	46	55	70	303
50. Perzentil	28780	9	0,03	16	43	22	0,03	471	<b>57</b>	25	0,82	0,23	62	<b>79</b>
90. Perzentil	50582	18	<b>0,59</b>	27	<b>64</b>	33	0,07	996	<b>89</b>	46	2,77	0,41	76	<b>107</b>

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	13	18	25	5	26	26	18	14	26	25	4	8	4	27
50. Perzentil	30500	9	0,40	-	23	22	0,09	1041	25	36	-	-	-	90
90. Perzentil	43200	16	0,95	-	55	42	0,10	1661	50	54	-	-	-	138
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	10	12	4	14	13	10	7	14	12	3	3	4	13
50. Perzentil	-	9	0,43	-	26	15	0,04	-	28	39	-	-	-	82
90. Perzentil	-	12	1,00	-	57	28	0,12	-	51	67	-	-	-	122
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	8	11	1	10	11	4	5	11	10	2	4	1	11
50. Perzentil	-	-	0,10	-	16	12	-	-	27	54	-	-	-	56
90. Perzentil	-	-	0,53	-	44	29	-	-	48	142	-	-	-	137

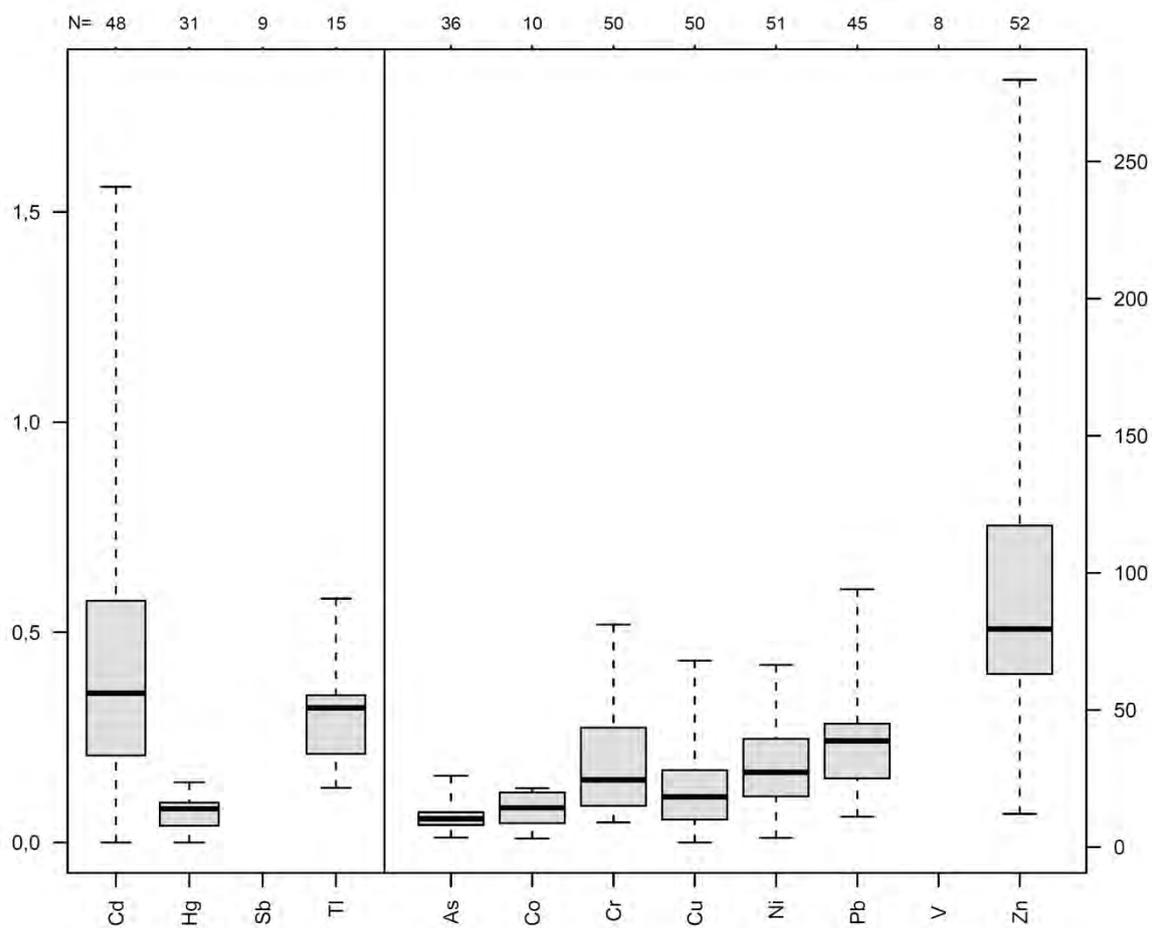
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	24	25	24	10	27	28	25	26	28	23	9	15	8	28
50. Perzentil	29886	11	0,27	12	43	19	0,09	1041	37	35	-	0,32	-	99
90. Perzentil	45793	19	0,49	21	57	42	0,13	2241	57	51	-	0,55	-	139

Pelitische Substrate - Lössarme Substrate aus Peliten

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	10	23	-	21	22	7	-	23	22	-	-	-	23
50. Perzentil	-	9	0,50	-	15	16	-	-	22	42	-	-	-	71
90. Perzentil	-	12	1,00	-	22	30	-	-	34	75	-	-	-	112

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	11	16	20	12	21	21	21	15	21
50. Perzentil	< BG	< BG	0,006	< BG	< BG	0,03	< BG	< BG	0,07
90. Perzentil	8,2	< BG	0,058	< BG	0,15	0,29	0,03	0,02	1,90
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	11	22	27	11	26	25	23	17	23
50. Perzentil	< BG	< BG	0,003	< BG	0,08	0,06	< BG	< BG	0,08
90. Perzentil	5,3	< BG	0,038	< BG	0,15	0,42	0,01	0,01	0,27
Untergrund	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	24	48	58	27	59	57	54	38	56
50. Perzentil	< BG	< BG	< BG	< BG	0,09	0,04	< BG	< BG	0,04
90. Perzentil	4,6	< BG	0,014	< BG	0,23	0,17	0,03	0,01	0,46

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	8	14	14	9	14	14	14	10	14
50. Perzentil	-	< BG	0,005	-	< BG	0,03	< BG	< BG	0,02
90. Perzentil	-	0,01	0,058	-	0,17	0,15	0,03	0,02	1,50

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	11	16	20	12	21	21	21	15	21
50. Perzentil	< BG	< BG	0,006	< BG	< BG	0,03	< BG	< BG	0,07
90. Perzentil	8,2	< BG	0,058	< BG	0,15	0,29	0,03	0,02	1,90

### V.5.3.3 Lössarme Schutzsubstrate aus Peliten

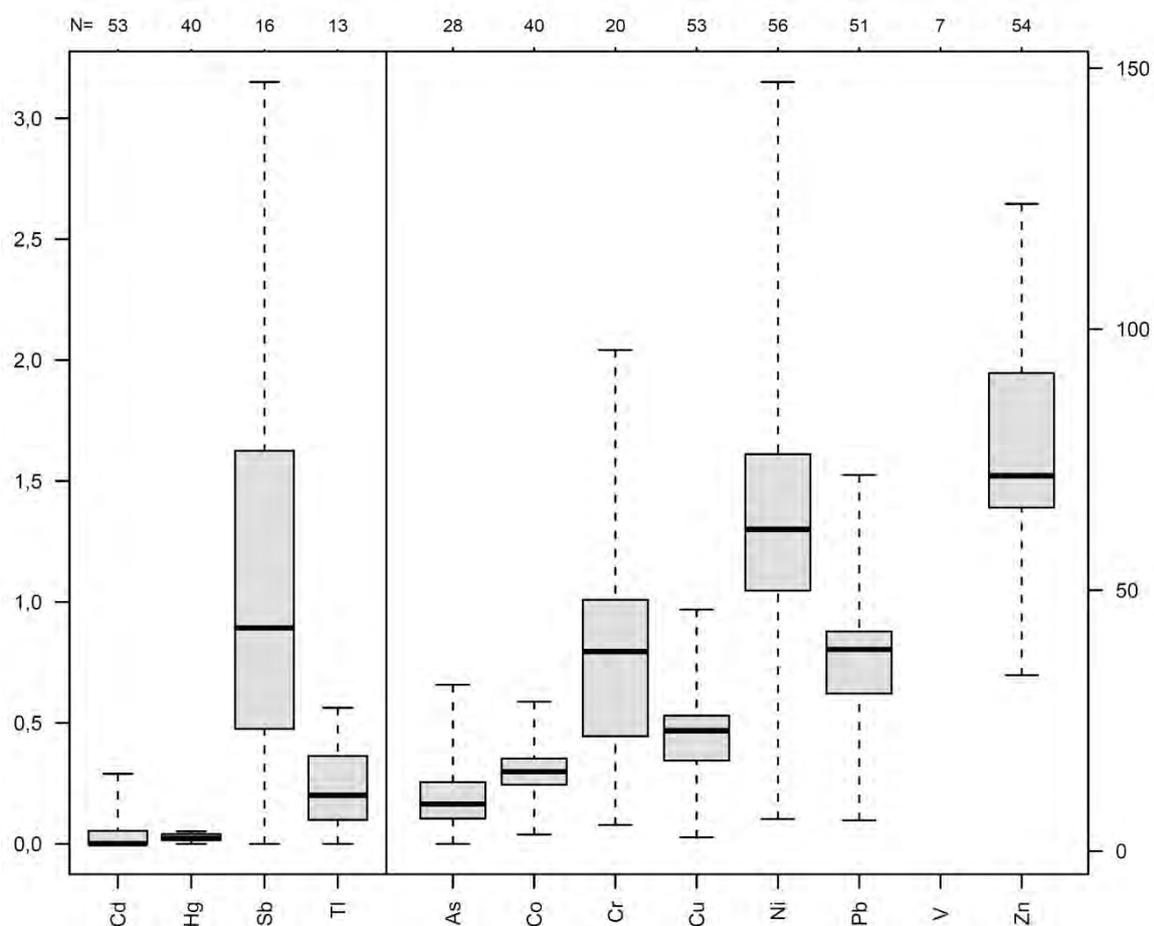
Bodenkennwerte

Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	25	18	39	12
50. Perzentil	0,0	0,28	4,30	6,09
90. Perzentil	0,0	1,21	5,32	11,51

KW-Gehalte [mg/kg]

Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	16	28	53	40	20	53	40	51	56	51	16	13	7	54
50. Perzentil	26925	9	< BG	15	35	23	0,02	645	61	39	0,79	0,20	-	72
90. Perzentil	34036	14	0,10	23	50	37	0,04	1072	86	49	2,10	0,45	-	102

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Untergrund



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

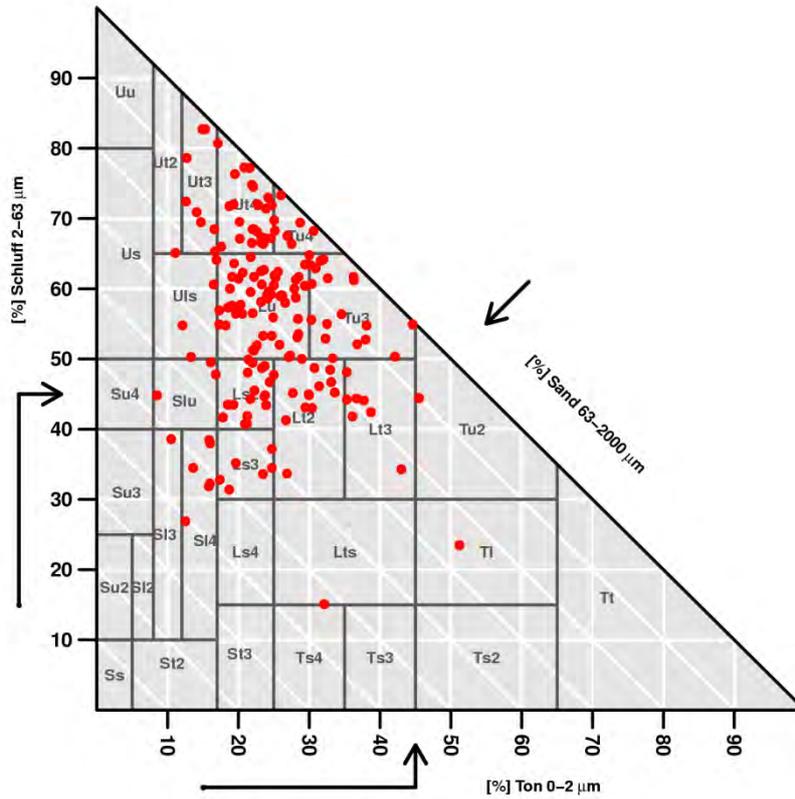
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

V.5.3.4 Lössreiche Substrate mit Peliten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	87	77	120	56
50. Perzentil	0,0	2,10	4,59	15,53
90. Perzentil	0,0	7,55	6,50	25,06
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	98	89	140	73
50. Perzentil	0,0	0,74	4,50	13,97
90. Perzentil	0,0	2,24	6,26	19,19

Bodenartendiagramm (n=175)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	67	102	174	110	97	182	132	154	185	149	43	45	27	182
50. Perzentil	22334	8	0,21	12	34	17	0,08	899	<b>35</b>	<b>48</b>	1,00	0,23	56	<b>80</b>
90. Perzentil	32224	14	<b>0,59</b>	22	58	30	0,19	1706	<b>63</b>	<b>103</b>	3,40	0,38	111	<b>115</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	77	113	212	139	107	217	169	191	223	207	47	56	31	220
50. Perzentil	25396	8	0,08	15	36	17	0,04	758	<b>47</b>	30	0,75	0,19	46	<b>74</b>
90. Perzentil	35402	14	<b>0,50</b>	26	60	28	0,08	1257	<b>68</b>	<b>54</b>	2,40	0,32	74	<b>110</b>
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	2	7	21	15	3	20	15	19	21	20	6	2	4	20
50. Perzentil	-	-	0,11	20	-	23	0,03	617	<b>63</b>	32	-	-	-	<b>77</b>
90. Perzentil	-	-	<b>0,51</b>	27	-	28	0,06	1084	<b>83</b>	<b>44</b>	-	-	-	<b>96</b>

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	30	33	51	28	43	59	47	46	58	49	10	17	11	57
50. Perzentil	21800	8	0,29	12	34	21	0,07	1002	27	34	0,70	0,19	53	80
90. Perzentil	30317	14	0,67	26	48	35	0,10	1706	63	57	1,01	0,31	127	127
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	12	18	32	26	20	36	29	31	36	32	8	5	10	35
50. Perzentil	26475	7	0,23	18	37	17	0,07	1067	43	44	-	-	66	85
90. Perzentil	34200	13	0,51	24	58	28	0,11	1654	70	60	-	-	106	120
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	24	51	91	56	34	90	60	77	89	70	23	24	6	90
50. Perzentil	18805	9	0,16	9	29	17	0,14	645	35	67	2,00	0,24	-	74
90. Perzentil	31646	15	0,51	19	60	27	0,25	1772	58	120	4,00	0,46	-	105

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	60	85	151	106	71	157	126	147	159	126	41	42	25	156
50. Perzentil	22334	8	0,22	12	34	17	0,08	911	37	50	1,00	0,23	57	80
90. Perzentil	31893	15	0,51	22	58	31	0,19	1718	65	105	3,40	0,38	111	115

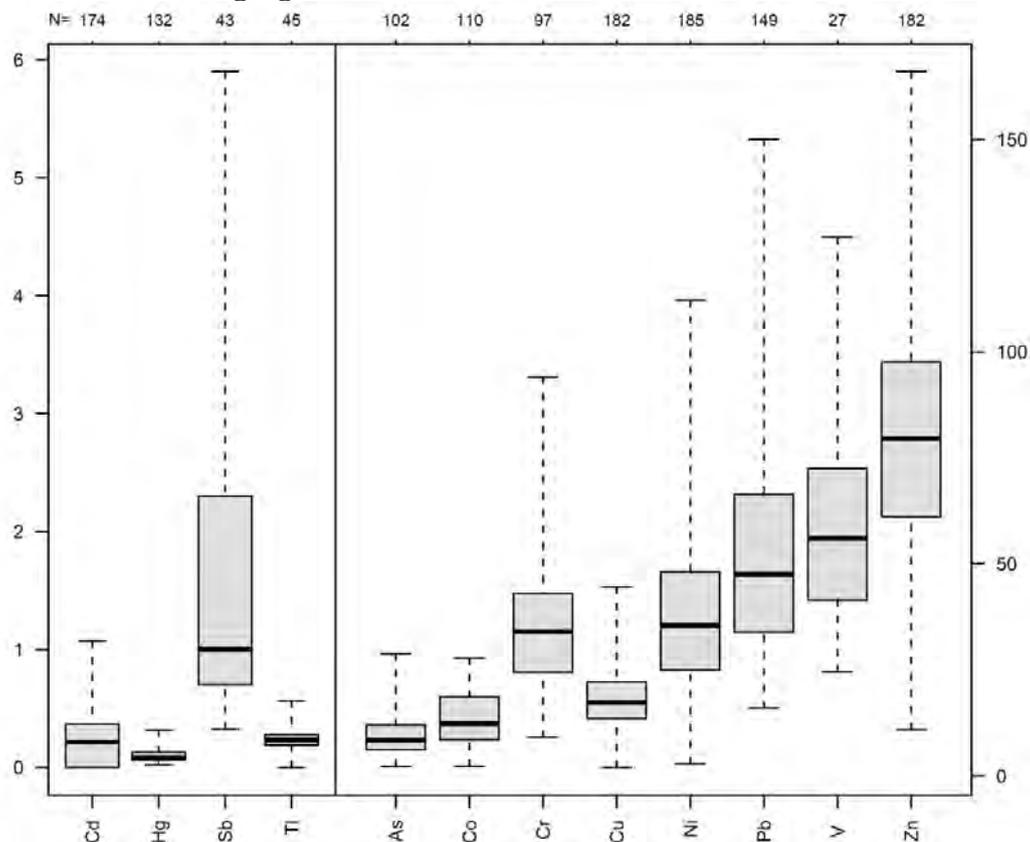
Pelitische Substrate - Lössreiche Substrate mit Peliten

Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	17	23	4	26	25	7	7	24	23	2	3	2	26
50. Perzentil	-	10	0,12	-	32	13	-	-	20	39	-	-	-	69
90. Perzentil	-	13	0,70	-	48	27	-	-	31	71	-	-	-	137

KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	27	28	22	7	29	-	14	29	23	24	-	3	29
50. Perzentil	-	2	0,36	3	-	14	-	1125	10	46	1,30	-	-	62
90. Perzentil	-	4	0,66	5	-	22	-	1738	29	92	2,60	-	-	85
Of	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	23	31	29	7	35	12	17	36	20	19	-	6	35
50. Perzentil	-	4	0,44	5	-	20	0,37	1097	19	87	2,10	-	-	77
90. Perzentil	-	7	0,81	11	-	37	0,77	1817	37	119	4,00	-	-	104
Oh	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	17	17	12	5	16	-	12	17	7	13	-	2	16
50. Perzentil	-	8	0,50	5	-	22	-	559	24	-	3,40	-	-	87
90. Perzentil	-	18	0,81	9	-	54	-	780	32	-	6,00	-	-	116

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	20	34	44	21	45	44	41	23	45
50. Perzentil	< BG	< BG	0,007	< BG	0,09	0,03	< BG	< BG	0,17
90. Perzentil	3,2	< BG	0,053	< BG	0,20	0,29	0,03	0,02	2,24
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	20	41	50	25	49	47	45	29	48
50. Perzentil	0,5	< BG	0,005	< BG	0,07	0,07	< BG	< BG	0,20
90. Perzentil	2,5	< BG	0,029	< BG	0,19	0,32	0,03	0,02	0,98

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	15	25	30	17	32	28	26	17	31
50. Perzentil	< BG	< BG	0,002	< BG	0,03				
90. Perzentil	0,6	< BG	0,017	< BG	0,20	0,15	< BG	0,01	0,81
Grünland	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	5	13	13	4	13	12	12	6	13
50. Perzentil	-	< BG	0,048	-	0,10	0,21	0,02	-	1,06
90. Perzentil	-	0,02	0,083	-	0,19	0,40	0,07	-	2,86

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	19	31	40	20	40	39	37	22	40
50. Perzentil	< BG	< BG	0,007	< BG	< BG	0,04	< BG	< BG	0,27
90. Perzentil	4,9	< BG	0,056	< BG	0,19	0,34	0,03	0,02	2,24

### V.5.4 Vulkanogene Substrate

Substrate aus vulkanischem Ursprungsmaterial sind in Hessen regional flächig verbreitet. Den Schwerpunkt bildet die tertiäre Vulkanlandschaft mit Vogelsberg, Westerwald, Rhön, Knüll, Habichtswald und dem Hohen Meißner. Ältere Vulkanite treten verbreitet im Lahn-Dill-Gebiet, im Kellerwald und im Bereich des Spremlinger Horstes auf (vgl. Abbildung V-7). Großräumig sind in Hessen vor allem basische Vulkanite zu finden. Die Gesteinspalette reicht von den extrem an Kieselsäure untersättigten Nepheliniten über die weit verbreiteten Basanite und Alkalibasalte bis hin zu den an Kieselsäure gesättigten Tholeiitischen Basalten. Entsprechende schwach metamorphe Vulkanite kennzeichnen das Lahn-Dill-Gebiet und den Kellerwald. Die Vulkanite enthalten keinen Quarz, dafür aber einen großen Anteil an verwitterbaren Silikaten, in erster Linie Plagioklas, Pyroxen und Olivin. Auffällig sind vor allem die hohen Gehalte an Ni und Cr, die mit dem Anteil an Olivin und zum Teil auch Pyroxen korrelieren. Die extrem olivinreichen Meta-Pikrite des Lahn-Dill-Gebietes und des Kellerwaldes können z. B. Gehalte über 1000 mg/kg aufweisen.

Intermediäre und saure Vulkanite, wie Trachyte, Phonolithe und Rhyolithe mit entsprechend hohen Kieselsäuregehalten, treten in Hessen nur relativ lokal in Rhön, Vogelsberg und im Bereich des Spremlinger Horstes auf. Schwach metamorphe Äquivalente finden sich im Lahn-Dill-Gebiet und im Taunus (Keratophyr bzw. Meta-Trachyt, Quarz-Keratophyr und Serizitgneis bzw. Meta-Rhyolith). Die Gesteine sind generell reich an Feldspat, die Rhyolithe führen darüber hinaus Quarz. Olivin ist nicht vertreten, Pyroxen spielt mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. Die Gehalte an Ni und Cr sind daher extrem niedrig.

Durch die tertiäre und quartäre Überprägung variieren jedoch die Bodensubstrate beträchtlich. Wie bei den Sedimentgesteinen liegt lokal eine tiefgründige tertiäre Verwitterung bis hin zu völlig in Ton umgewandelte Vulkanite vor. Andernorts sind ältere Verwitterungsprodukte längst abgetragen und es stehen geringmächtige, grobbodenreiche Substrate aus Vulkaniten oberflächennah an. Die periglazialen Deckschichten enthalten zudem örtlich auch Komponenten an Tephren und Schlacken, die in die Lavadecken eingeschaltet sind. Unterhalb 300 m ü. NN sind die Deckschichten häufig stark lössgeprägt. Die Vulkanite „schwimmen“ dann als Gesteinsblöcke in einer lössdominierten Bodenmatrix.

Für die Differenzierung von Substratgruppen im Hinblick auf Hintergrundwerte ist wie bei den Sedimentgesteinen vor allem der Lössderivatanteil wesentlich. Die Substrathauptgruppe wird daher ebenfalls in drei Substratgruppen gegliedert. Im Gegensatz zu den spurenstoffarmen Sandsubstraten wirkt bei den Vulkaniten jedoch ein steigender Lössderivatanteil eher verdünnend.

Die hohe räumliche Variabilität und die im Gelände schwer charakterisierbaren Gesteine führten zu wenig differenzierten Bodenaufnahmen im Hinblick auf die geologische Gesteinsbeschreibung. Daher können hier keine weiteren Untergliederungen der Substratgruppen hinsichtlich unterschiedlicher Vulkanite vorgenommen werden. Dies betrifft sowohl die Auswertung der Labordaten als auch die räumliche Darstellung der Substratgruppen. Die Varianz vor allem bei Cr und Ni weist aber deutlich darauf hin, dass bei der Bewertung von vulkanogenen Substraten die lokalen Spezifika zu berücksichtigen sind.

Hintergrundwerte für lössfreie und -arme Substrate aus Vulkaniten sind fast nur für Unterboden und Untergrund bestimmbar, so dass eine nutzungs- und gebietstypdifferenzierte Auswertung nicht durchgeführt werden kann. Für die Auswertung von Hintergrundwerten der  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte gibt es für diese Substratgruppen ebenfalls keine oder nur wenige Datengrundlagen. Standorte mit lössreichen Substraten mit Vulkaniten sind jedoch zahlreich beprobt worden, so dass hier nutzungs- und gebietstypdifferenzierte Hintergrundwerte für KW- und  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte berechnet werden können. Aufgrund einer größeren Anzahl untersuchter Waldstandorte kann auch eine Auswertung der Auflagehorizonte erfolgen.

## Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

0 10 20 40 km

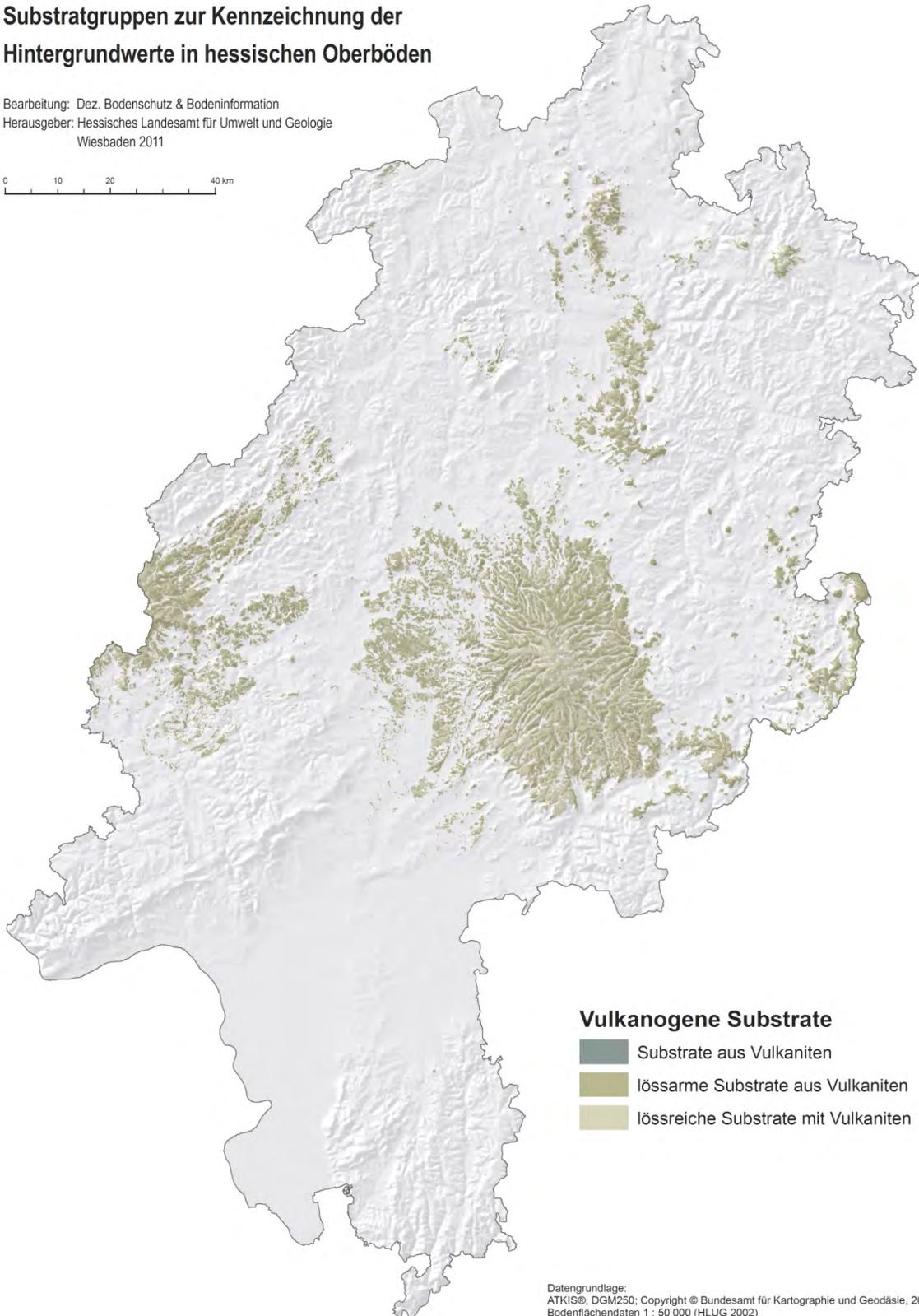


Abbildung V-7: Räumliche Verbreitung der vulkanogenen Substrate

Vulkanogene Substrate über basaltischen Gesteinen sind generell spurenelementreich, hohe Gehalte werden erwartungsgemäß insbesondere für Cr, Ni, V und Zn ermittelt. Auch Co- und Cu-Gehalte weisen überdurchschnittliche Werte auf. Grundsätzlich ist für diese geogenen Gehalte eine Verdünnung mit steigendem Lössanteil zu beobachten. Für andere Spurenelemente, die eher anthropogenen Ursprungs sind, sind die Gehalte hingegen unabhängig vom Lössanteil oder steigen sogar an (z.B. Cd, Pb, Tl).

Beim Vergleich der berechneten Perzentile mit den Vorsorgewerten für die Bodenart Lehm/Schluff ( $\text{pH} < 5$  bzw.  $< 6$ ) kommt es zu zahlreichen, oft sehr deutlichen Überschreitungen. So liegen die 50. P.-Werte für Cr, Ni und Zn bei allen Substratgruppen über den Vorsorgewerten und auch für Cu wird der Vorsorgewert teilweise überschritten. Betrachtet man die 90. P.-Werte so sind darüber hinaus noch einzelne Überschreitungen bei Cd und Pb zu beobachten.

V.5.4.1 Substrate aus Vulkaniten

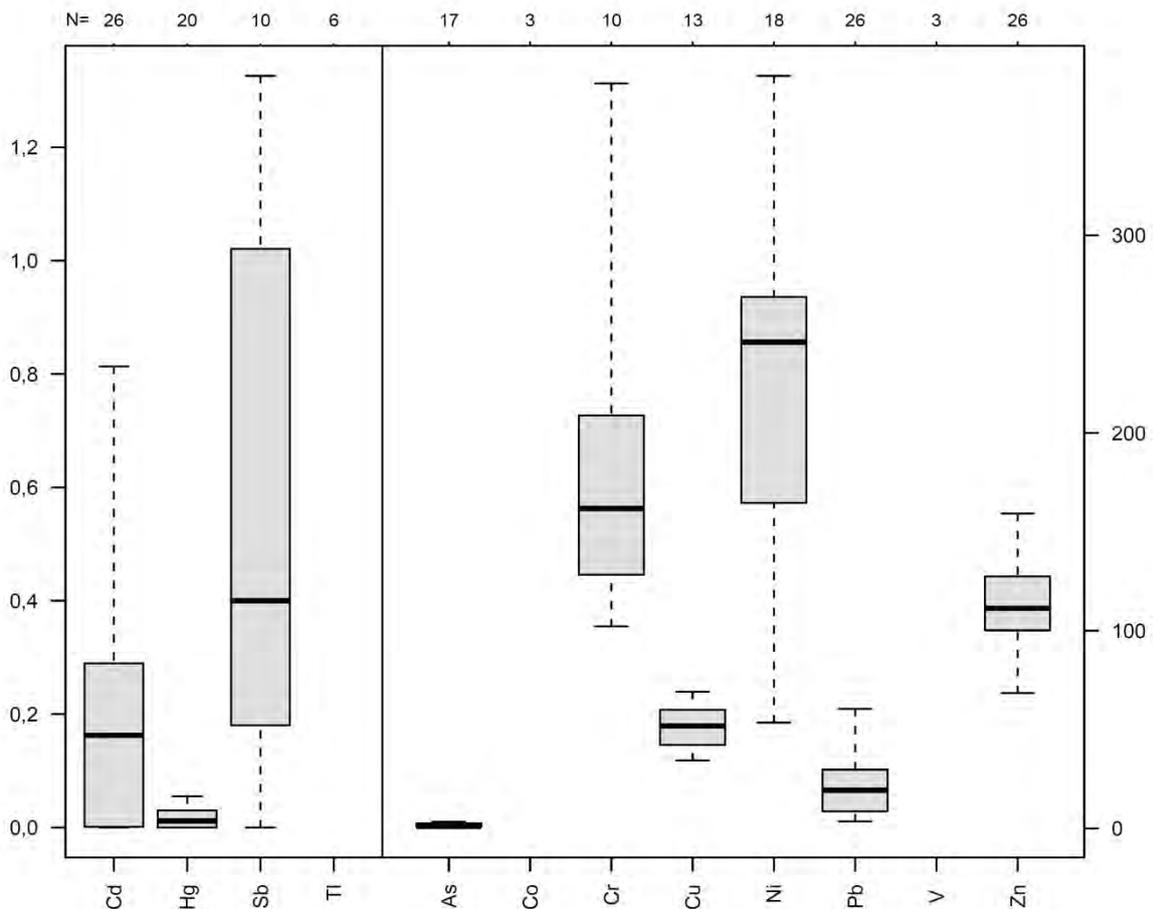
Bodenkennwerte

Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	11	12	17	11
50. Perzentil	0,0	0,30	5,70	35,68
90. Perzentil	0,0	0,56	6,50	50,99

KW-Gehalte [mg/kg]

Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	9	17	26	3	10	13	20	25	18	26	10	6	3	26
50. Perzentil	-	1	0,14	-	150	52	0,01	1497	245	19	0,30	-	-	110
90. Perzentil	-	3	0,66	-	209	65	0,04	2037	343	34	1,10	-	-	145

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Untergrund



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

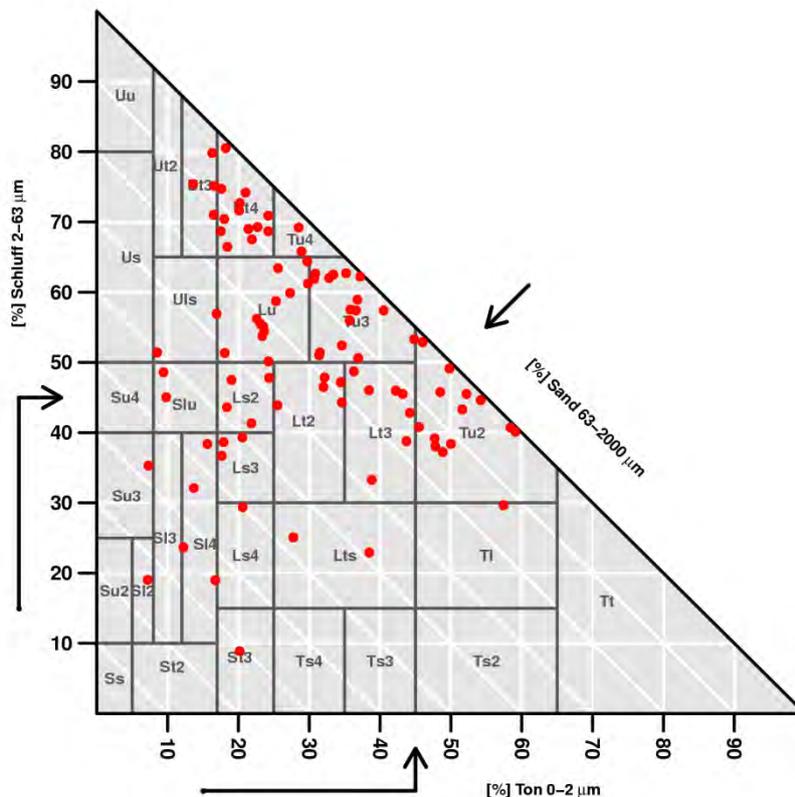
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

V.5.4.2 Lössarme Substrate aus Vulkaniten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	12	13	16	13
50. Perzentil	0,0	2,20	5,70	22,17
90. Perzentil	0,0	3,71	6,50	37,22
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	32	29	41	21
50. Perzentil	0,0	0,50	5,50	22,52
90. Perzentil	0,0	1,84	6,15	35,52
Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	56	46	89	29
50. Perzentil	0,0	0,30	5,69	26,06
90. Perzentil	0,0	0,79	6,40	50,77

Bodenartendiagramm (n=94)



Vulkanogene Substrate - Lössarme Substrate aus Vulkaniten

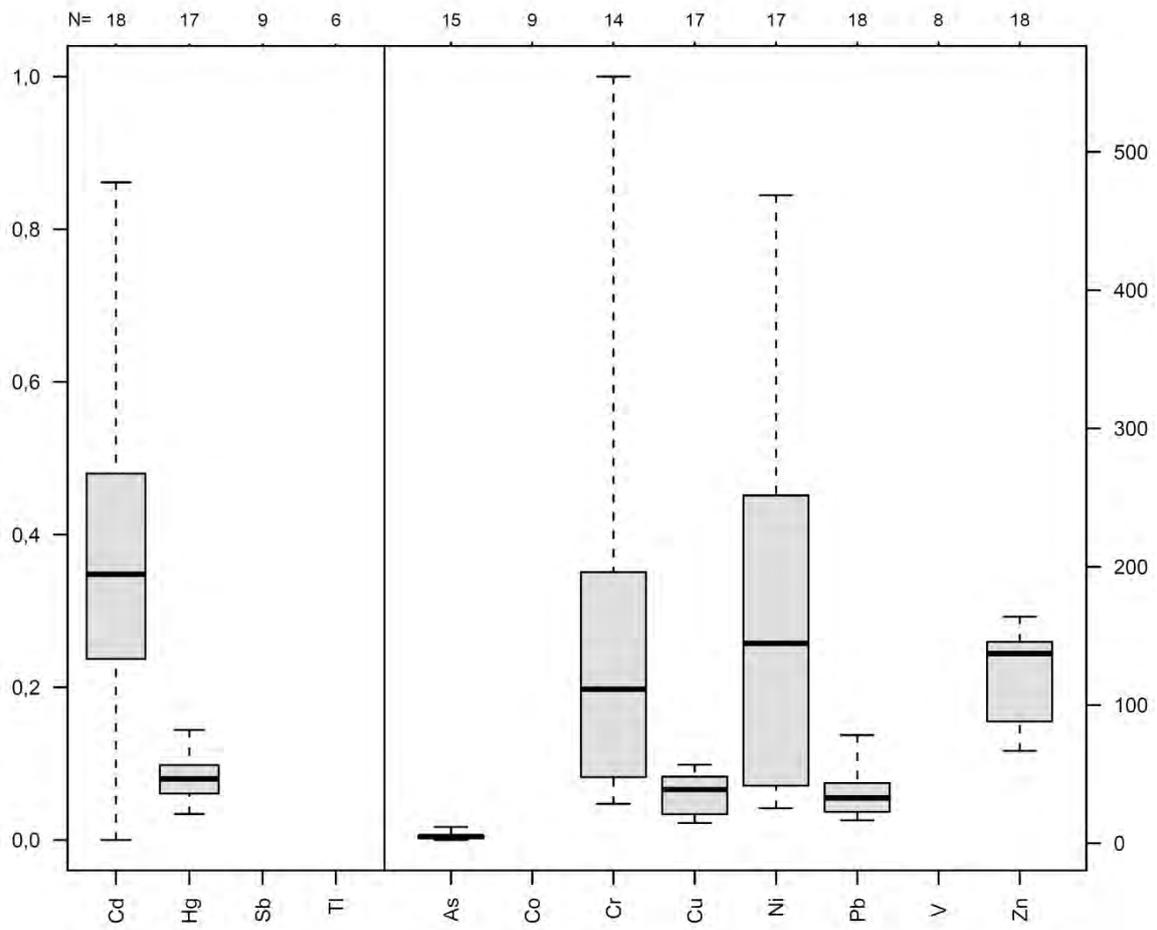
KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	14	15	18	9	14	17	17	16	17	18	9	6	8	18
50. Perzentil	33350	5	0,35	41	<b>90</b>	39	0,08	1597	<b>145</b>	33	-	-	-	<b>135</b>
90. Perzentil	52020	7	<b>0,66</b>	56	<b>329</b>	<b>51</b>	0,12	2188	<b>347</b>	<b>74</b>	-	-	-	<b>157</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	27	31	118	11	28	66	115	107	94	118	14	17	11	114
50. Perzentil	46310	4	0,24	38	<b>152</b>	<b>47</b>	0,02	1516	<b>230</b>	25	0,46	0,16	137	<b>119</b>
90. Perzentil	87464	11	<b>0,48</b>	62	<b>399</b>	<b>61</b>	0,05	1885	<b>283</b>	35	1,51	0,23	247	<b>140</b>
Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	39	66	249	24	47	116	224	234	191	246	36	29	12	249
50. Perzentil	56154	3	0,15	27	<b>152</b>	<b>50</b>	0,01	1379	<b>231</b>	24	0,04	0,13	126	<b>119</b>
90. Perzentil	96216	9	<b>0,44</b>	65	<b>322</b>	<b>58</b>	0,05	1806	<b>281</b>	33	1,10	0,34	259	<b>144</b>

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	11	12	15	7	11	12	14	13	14	15	7	5	6	15
50. Perzentil	40640	4	0,35	-	136	36	0,07	1597	150	31	-	-	-	140
90. Perzentil	52020	6	0,66	-	329	51	0,10	2101	347	74	-	-	-	157

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



Vulkanogene Substrate - Lössarme Substrate aus Vulkaniten

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

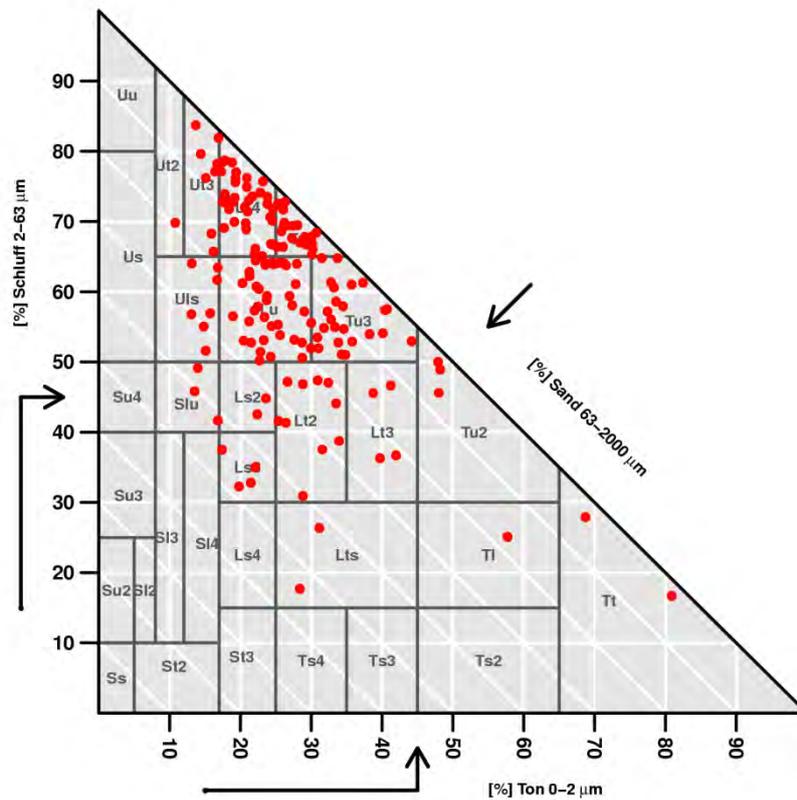
Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	5	13	13	5	13	13	11	7	13
50. Perzentil	-	< BG	0,005	-	0,08	0,25	< BG	-	0,40
90. Perzentil	-	< BG	0,042	-	0,16	0,56	< BG	-	1,68
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	8	18	17	9	19	19	18	11	19
50. Perzentil	-	< BG	0,003	-	< BG	0,22	< BG	< BG	0,22
90. Perzentil	-	< BG	0,014	-	0,19	0,93	< BG	0,01	0,77
Untergrund	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	11	26	24	13	27	26	26	16	25
50. Perzentil	< BG	< BG	< BG	< BG	0,05	0,25	< BG	< BG	0,04
90. Perzentil	0,3	0,01	0,006	< BG	0,19	0,88	< BG	0,01	0,31

### V.5.4.3 Lössreiche Substrate mit Vulkaniten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	73	66	99	42
50. Perzentil	0,0	3,10	4,76	24,72
90. Perzentil	0,0	5,97	6,00	37,19
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	84	78	116	52
50. Perzentil	0,0	0,70	4,93	20,61
90. Perzentil	0,0	2,05	6,10	36,55

Bodenartendiagramm (n=170)



Vulkanogene Substrate - Lössreiche Substrate mit Vulkaniten

KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	58	90	159	37	74	147	138	137	161	165	45	35	24	154
50. Perzentil	32088	6	0,36	24	<b>83</b>	34	0,08	1436	<b>131</b>	40	0,79	0,20	118	<b>119</b>
90. Perzentil	53051	8	<b>0,74</b>	36	<b>192</b>	<b>53</b>	0,16	1853	<b>234</b>	<b>90</b>	1,44	0,29	185	<b>148</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	70	105	177	54	83	166	149	162	173	179	52	43	29	177
50. Perzentil	38101	5	0,15	22	<b>98</b>	34	0,03	1315	<b>142</b>	26	0,51	0,18	103	<b>102</b>
90. Perzentil	60827	10	<b>0,53</b>	32	<b>207</b>	<b>51</b>	0,07	1780	<b>229</b>	<b>41</b>	0,80	0,23	183	<b>143</b>

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	18	24	64	12	22	25	62	51	59	21	13	5	9	65
50. Perzentil	34230	5	0,36	23	80	26	0,06	1529	157	26	0,67	-	-	121
90. Perzentil	58840	9	0,66	29	160	43	0,10	1784	256	36	0,98	-	-	146
Grünland	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	18	21	33	15	22	34	33	33	39	35	12	8	11	39
50. Perzentil	37720	5	0,36	25	68	30	0,06	1364	135	37	0,66	-	133	116
90. Perzentil	60918	8	0,62	39	125	54	0,10	1898	227	51	1,00	-	188	149
Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	22	45	63	10	29	58	43	52	63	64	21	22	4	50
50. Perzentil	26763	6	0,39	23	120	32	0,13	1251	122	67	1,00	0,21	-	119
90. Perzentil	36841	9	0,81	27	203	52	0,19	1790	215	103	1,80	0,29	-	151

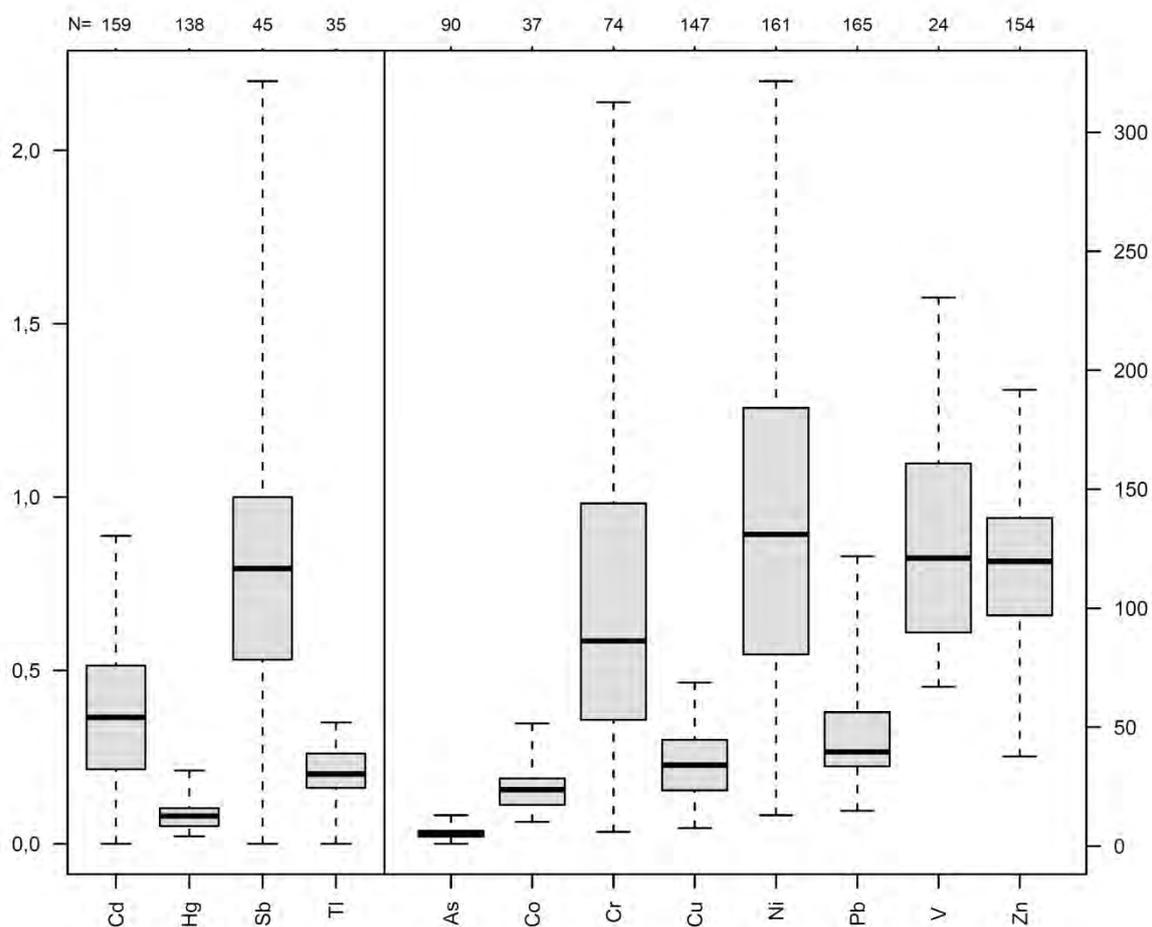
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	57	80	148	36	63	136	137	136	150	154	44	35	23	143
50. Perzentil	33440	5	0,36	24	98	35	0,08	1431	139	41	0,79	0,20	124	119
90. Perzentil	53051	8	0,74	36	194	53	0,16	1853	235	90	1,44	0,29	185	147
Typ B	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	1	11	11	1	11	11	1	1	11	11	1	-	1	11
50. Perzentil	-	8	< BG	-	36	26	-	-	45	31	-	-	-	120
90. Perzentil	-	11	0,25	-	78	34	-	-	106	52	-	-	-	167

KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte

L	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	21	21	15	6	18	-	16	22	21	20	-	4	19
50. Perzentil	-	2	0,44	6	-	15	-	624	28	40	1,30	-	-	72
90. Perzentil	-	4	0,66	9	-	24	-	1196	59	82	3,10	-	-	106
Of	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	-	18	16	22	4	29	12	24	28	24	19	-	4	28
50. Perzentil	-	3	0,66	11	-	25	0,19	1003	46	62	1,80	-	-	99
90. Perzentil	-	7	0,81	17	-	41	0,26	1561	121	115	4,70	-	-	148

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



Vulkanogene Substrate - Lössreiche Substrate mit Vulkaniten

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	16	36	40	15	40	39	31	14	40
50. Perzentil	0,9	< BG	0,015	< BG	0,11	0,29	< BG	0,01	0,62
90. Perzentil	13,9	0,01	0,052	< BG	0,19	1,46	< BG	0,02	2,00
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	21	44	50	19	50	49	40	21	50
50. Perzentil	1,7	< BG	0,005	< BG	0,10	0,42	< BG	0,01	0,39
90. Perzentil	22,5	< BG	0,020	< BG	0,21	1,14	< BG	0,01	1,06

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Acker	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	9	18	21	10	21	19	19	8	21
50. Perzentil	-	< BG	0,009	< BG	0,09	0,21	< BG	-	0,38
90. Perzentil	-	< BG	0,033	< BG	0,16	0,64	< BG	-	1,60
Grünland	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	6	19	19	5	19	19	19	6	19
50. Perzentil	-	< BG	0,024	-	0,14	0,40	< BG	-	0,77
90. Perzentil	-	0,02	0,075	-	0,28	1,58	0,03	-	2,66

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	16	35	39	15	39	38	30	14	39
50. Perzentil	0,9	< BG	0,015	< BG	0,12	0,29	< BG	0,01	0,63
90. Perzentil	13,9	0,01	0,060	< BG	0,21	1,46	< BG	0,02	2,09

### V.5.5 Plutonitische Substrate und metamorphe Äquivalente

Die Substrate aus kristallinen Gesteinen bilden große Anteile der Deckschichten des hessischen Grundgebirges im Kristallinen Odenwald, im hessischen Anteil des Kristallinen Spessarts und im Taunus (vgl. Abbildung V-8).

Der Kristalline Odenwald wird überwiegend von Plutoniten aufgebaut (Granit, Granodiorit und Gabbro). Plutonische Gesteine besitzen in Abhängigkeit von ihrer mineralogischen Zusammensetzung weit differierende Spurenelementgehalte. Wie bei den Vulkaniten können die siliziumarmen Gesteine sehr hohe Cr- und Ni-Gehalte aufweisen. Insbesondere beim Gabbro als Tiefengesteinsäquivalent zu den olivinreichen Basalten kommen erhöhte Gehalte vor. Saure Plutonite hingegen sind eher spurenelementarm. Granit als saures Tiefengestein zeigt örtlich zwar hohe Gehalte an Uran und Thorium, jedoch sind diese nicht Gegenstand der Auswertung. Zu den Plutoniten kommen als metamorphe Gesteine im Wesentlichen Gneise und Amphibolite hinzu. Der hessische Anteil des Kristallinen Spessarts wird überwiegend durch Glimmerschiefer und Gneise repräsentiert.

Entsprechend der relativ geringen räumlichen Verbreitung plutonitischer Substrate ist auch die Anzahl der untersuchten Standorte gering. Für lössfreie Substrate aus Plutoniten können keine Auswertungen durchgeführt werden. Auch Daten für lössarme Substrate sind wenige vorhanden, es können nur einige Perzentile für den Untergrund berechnet werden,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte sind nicht verfügbar. Allein für die lössreichen Substrate können für einige Spurenelemente valide Hintergrundwerte ermittelt werden,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte sind hier ebenfalls nicht auswertbar.

Die Hintergrundwerte der plutonitischen Substratgruppen liegen für die meisten Spurenelemente im mittleren Bereich. Eine deutliche An- oder Abreicherung durch steigenden Lössanteil kann nicht beobachtet werden.

Vergleicht man die berechneten Hintergrundwerte mit den Lehm-/Schluff-Vorsorgewerten ( $\text{pH} < 5$ ), so werden die 50. P.-Werte für Ni und Zn in beiden Substratgruppen und für Pb im Oberboden der lössreichen Substrate überschritten. Bei den 90. P.-Werten gibt es weitere Überschreitung für Cd, Cr und Cu.

### Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden

Bearbeitung: Dez. Bodenschutz & Bodeninformation  
Herausgeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Wiesbaden 2011

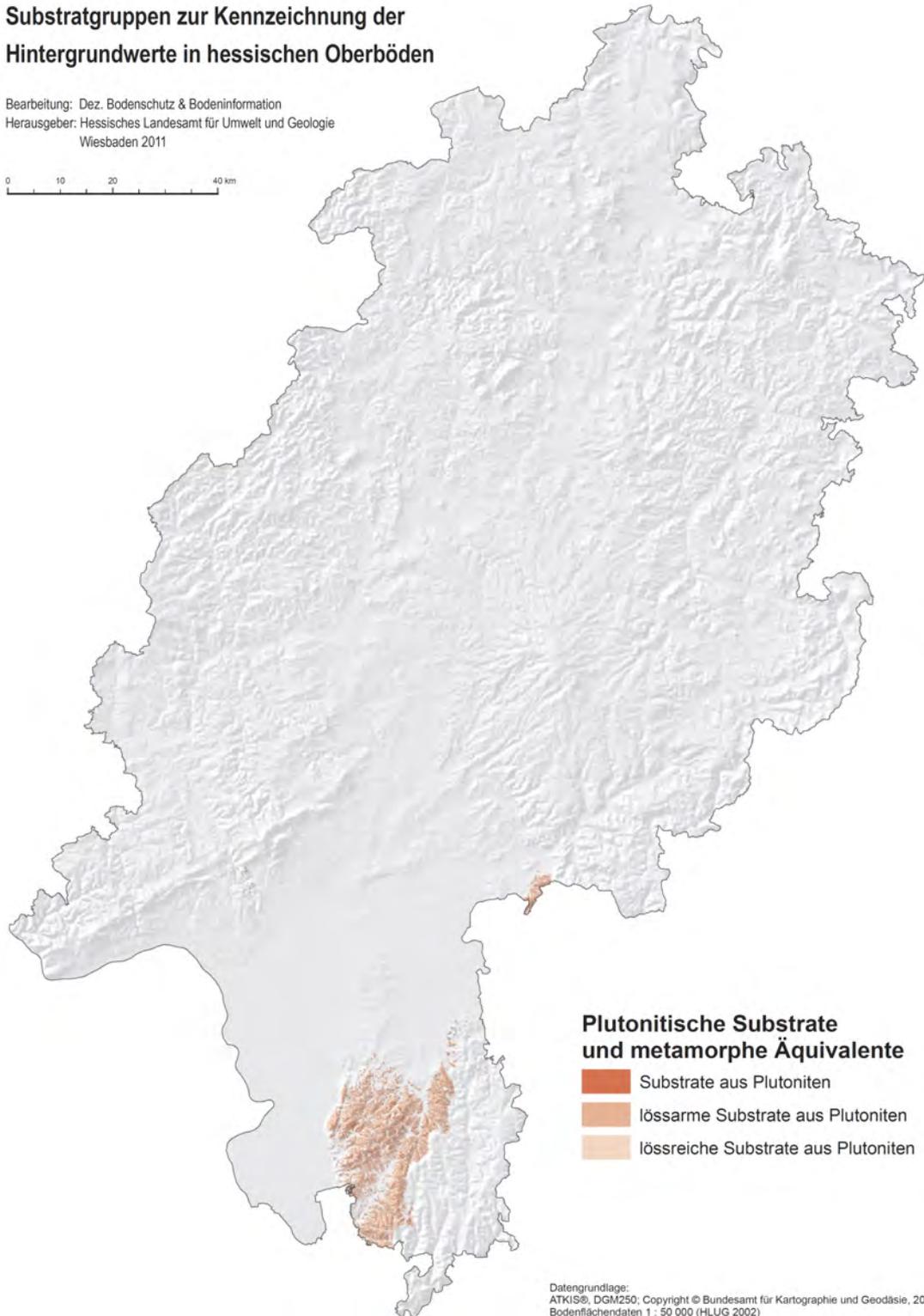


Abbildung V-8: Räumliche Verbreitung der plutonitischen Substrate und metamorphen Äquivalente

*V.5.5.1 Substrate aus Plutoniten*

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

V.5.5.2 Lössarme Substrate aus Plutoniten

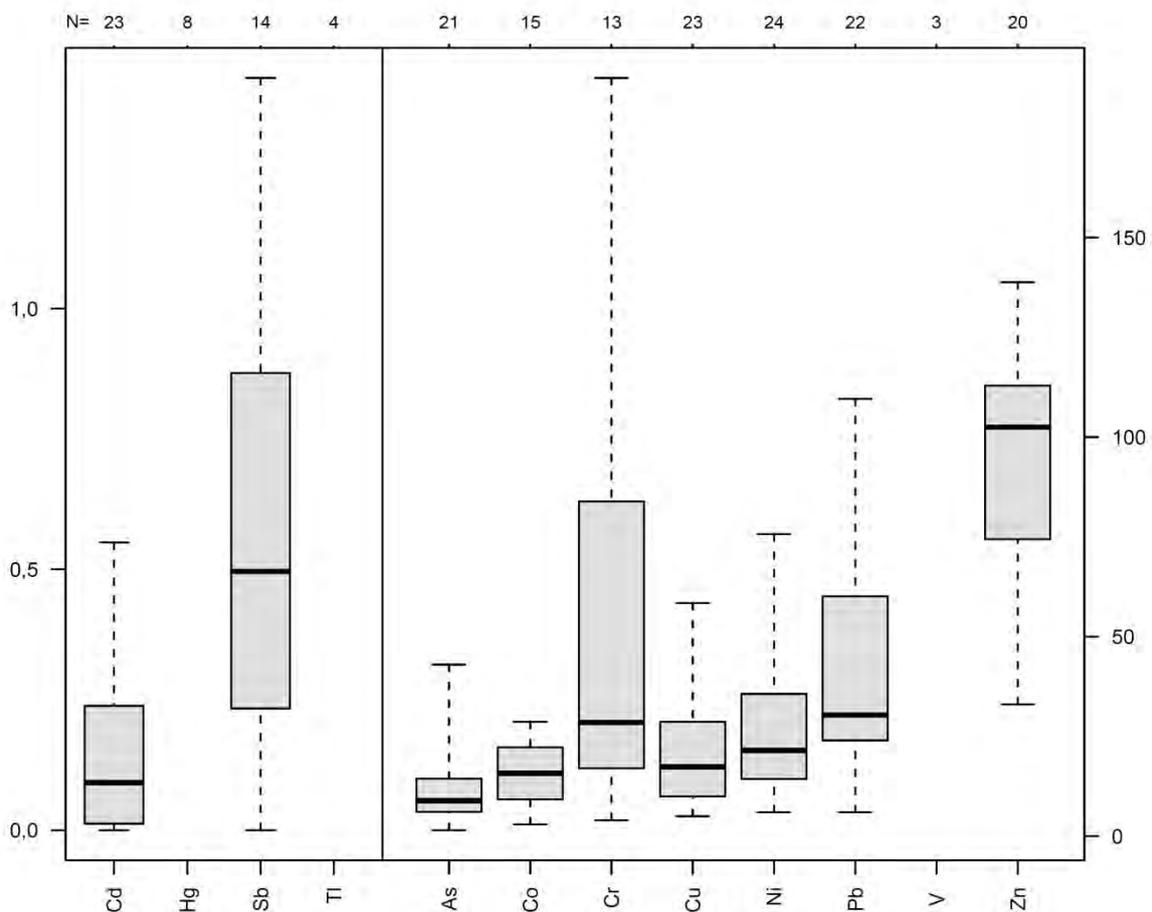
Bodenkennwerte

Untergrund	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol lÄ/100g]
n	14	9	19	6
50. Perzentil	0,0	-	4,60	-
90. Perzentil	0,0	-	5,43	-

KW-Gehalte [mg/kg]

Untergrund	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	8	21	23	15	13	23	8	19	24	22	14	4	3	20
50. Perzentil	-	9	0,09	16	28	17	0,02	671	21	30	0,47	-	-	102
90. Perzentil	-	20	0,29	26	172	43	0,05	1173	44	86	1,07	-	-	126

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Untergrund



NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

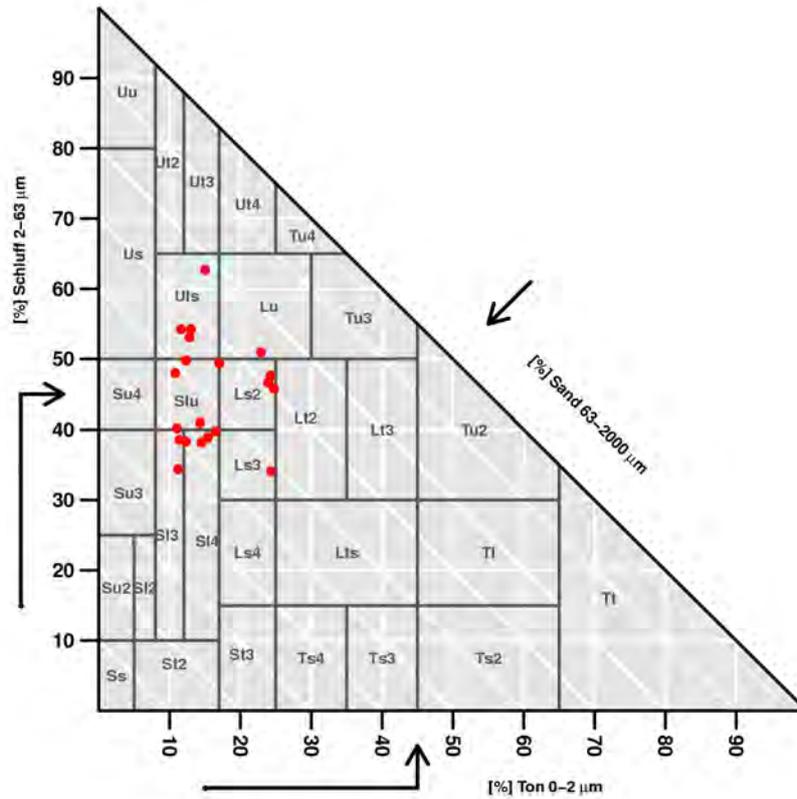
Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

V.5.5.3 Lössreiche Substrate mit Plutoniten

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	15	7	20	4
50. Perzentil	0,0	-	4,01	-
90. Perzentil	0,0	-	5,40	-
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	15	8	18	4
50. Perzentil	0,0	-	4,13	-
90. Perzentil	0,0	-	5,50	-

Bodenartendiagramm (n=20)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	8	22	22	13	12	20	8	19	23	20	12	7	1	19
50. Perzentil	-	11	0,19	10	26	16	-	784	19	57	1,00	-	-	98
90. Perzentil	-	19	0,51	22	83	24	-	1706	31	113	1,70	-	-	142
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	7	21	22	13	13	21	5	18	23	21	12	6	1	20
50. Perzentil	-	10	0,12	14	27	14	-	794	19	37	0,55	-	-	81
90. Perzentil	-	23	0,32	21	119	30	-	1630	34	66	0,70	-	-	137

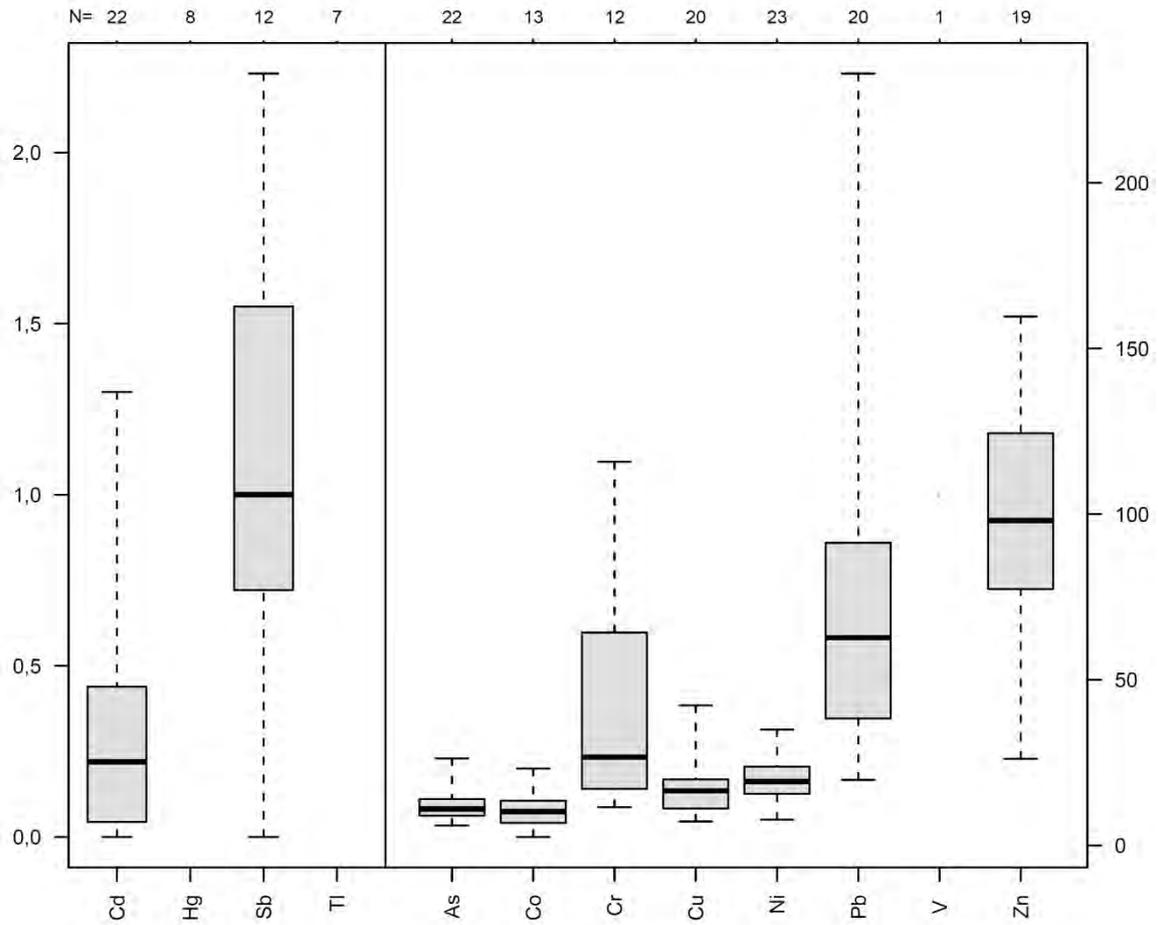
KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Nutzung

Wald	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	4	15	14	9	7	13	4	12	15	12	8	4	-	13
50. Perzentil	-	12	0,17	-	-	17	-	655	19	87	-	-	-	89
90. Perzentil	-	22	0,51	-	-	21	-	1632	31	119	-	-	-	138

KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden nach Gebietstypen

Typ A	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	6	18	17	12	7	15	6	17	18	15	11	6	-	15
50. Perzentil	-	11	0,19	10	-	18	-	945	19	57	1,00	-	-	99
90. Perzentil	-	19	0,44	22	-	26	-	1706	31	113	1,70	-	-	142

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



$\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte [mg/kg]

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen keine Berechnung von Perzentilen möglich.

## **V.6 Substratübergreifende nutzungsspezifische Schwermetallgehalte**

### **V.6.1 Humusauflagen unter waldbaulicher Nutzung**

In Hessen bedecken Wälder ca. 40 % der Landesfläche. Aufgrund dieser großen Verbreitung sowie ihrer verhältnismäßig extensiven Bewirtschaftung und ihrem damit einhergehenden Status als relativ naturnahes und ungestörtes Ökosystem bilden sie wichtige Lebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten. Gleichzeitig werden Waldökosysteme durch vielerlei Faktoren negativ beeinflusst, wobei der Belastung durch Luftverunreinigungen die größte Bedeutung zukommt. Anreicherung bzw. Freisetzung von Schadstoffen, Versauerung und Eutrophierung der Waldböden wurden bzw. werden maßgeblich von anthropogenen Stoffeinträgen bestimmt.

Bei der folgenden Auswertung werden die Faktoren Vegetations- sowie Gebietstyp betrachtet. Je nach Vegetationstyp können die Schadstoffgehalte variieren, u. a. durch die unterschiedlich hohe Humusbildung oder die ganzjährige Filterung/Aufnahme von Schadstoffen. Der Gebietstyp wird aufgrund der Anhäufung von Schadstoffquellen (z. B. Industrien, Verkehr) in den Verdichtungsräumen herangezogen. Die Darstellung der Hintergrundwerte erfolgt mächtigkeitsgemittelt für die gesamte Auflage sowie horizontbezogen (L, Of, Oh bzw. Of+Oh). Humusauflagen unterscheiden sich von den mineralischen Horizonten stark im spezifischen Gewicht. Daher ist ein direkter Vergleich mit den Gehalten der mineralischen Horizonte nicht sinnvoll, solange diese in mg/kg TM angegeben sind. Für einen korrekten Vergleich muss ein Bezug zum Volumen gegeben sein (z. B. g/cm<sup>3</sup>). Aufgrund einer zu geringen Datenbasis hinsichtlich der Trockenraumgewichte kann eine volumenbezogene Betrachtung in diesem Bericht derzeit nicht vorgenommen werden.

Für anorganische Spurenelemente in Humusauflagen sind in der BBodSchV (1999) keine Vorsorgewerte vorgesehen. Für eine Bewertung werden deshalb die Hintergrundgehalte („Vorsorgewerte“) für organische Auflagen nach PRÜESS (1994) herangezogen (Cd 0,7 mg/kg, Cr 20 mg/kg, Cu 20 mg/kg, Hg 0,5 mg/kg, Ni 15 mg/kg, Pb 130 mg/kg, Zn 85 mg/kg). Mit Ausnahme des 50. Perzentils der Of-Lage für Ni bleiben alle Mediane unterhalb der Vorsorgewerte. Bei den 90. P.-Werten hingegen werden sie für viele Spurenelemente überschritten.

KW-Gehalte [mg/kg]

*KW-Gehalte der Humusauflage (Grundlage: mächtigkeitsgewichtete Mittelwerte je BF) [mg/kg]*

Auflage	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
n	250	613	444	236	669	224	373	640	516	109	78	655
50. Perzentil	4	0,4	3	6	16	0,29	476	11	75	1,7	16	62
90. Perzentil	9	0,8	10	14	<b>30</b>	<b>0,59</b>	1353	<b>26</b>	117	3,5	33	<b>100</b>

*Differenzierte KW-Gehalte [mg/kg] der einzelnen Auflagenhorizonte*

L	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
n	218	286	99	201	289	70	75	282	285	112	35	281
50. Perzentil	2	0,4	3	3	15	0,09	624	6	34	1,3	6	63
90. Perzentil	4	<b>0,8</b>	9	8	<b>26</b>	0,17	1562	<b>17</b>	67	2,8	12	<b>97</b>

Of	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
n	128	228	188	91	274	96	150	269	211	84	53	267
50. Perzentil	4	0,5	5	9	18	0,29	626	<b>16</b>	79	1,9	18	71
90. Perzentil	<b>11</b>	<b>0,9</b>	16	22	<b>36</b>	<b>0,71</b>	1540	<b>41</b>	120	4,1	30	<b>113</b>

Oh	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
n	59	69	40	30	67	4	40	67	46	50	17	69
50. Perzentil	7	0,4	7	13	18	-	429	15	113	3,1	24	61
90. Perzentil	<b>16</b>	<b>0,8</b>	19	23	<b>38</b>	-	913	<b>41</b>	<b>210</b>	6,9	37	<b>120</b>

Of+Oh	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
n	65	304	201	107	321	123	190	309	213	3	12	319
50. Perzentil	5	0,5	7	7	17	0,33	394	11	103	-	21	59
90. Perzentil	<b>13</b>	<b>0,9</b>	5	12	<b>31</b>	<b>0,57</b>	1220	<b>21</b>	<b>160</b>	-	29	83

KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte nach Vegetationstypen

Auflage	Laubwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	123	264	163	134	295	119	116	286	261	41	41	286
	50. Perzentil	3	0,5	4	6	16	0,27	702	11	71	1,3	14	62
	90. Perzentil	9	0,9	11	10	29	0,71	1498	25	115	2,7	29	94
	Mischwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	44	123	96	35	135	53	81	132	100	29	13	132
	50. Perzentil	4	0,4	3	6	17	0,34	572	13	78	1,9	17	62
	90. Perzentil	11	0,9	12	10	33	0,56	1387	35	120	3,2	31	100
	Nadelwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	23	148	105	16	152	35	133	141	81	19	9	152
	50. Perzentil	4	0,4	3	7	16	0,33	303	10	92	2,1	-	56
	90. Perzentil	5	0,7	5	9	28	0,57	834	20	125	4,8	-	91

L	Laubwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	111	153	38	121	156	57	25	154	152	44	21	149
	50. Perzentil	1,5	0,4	3,4	3	15	0,09	894	6	32	1	6	65
	90. Perzentil	4	0,8	9,3	6	27	0,19	1628	15	58	2,9	11	97
	Mischwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	41	55	23	30	51	12	20	53	51	30	5	53
	50. Perzentil	1,5	0,4	3,4	3	15	0,08	754	6	39	1,5	-	61
	90. Perzentil	4	0,8	5,1	5	23	0,14	1470	14	61	2,1	-	86
	Nadelwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	23	30	17	15	31	1	14	30	30	18	4	31
	50. Perzentil	2	0,3	< BG	3	13	-	485	8	45	1,3	-	52
	90. Perzentil	3	0,7	9	7	20	-	1706	23	90	3,5	-	74

Of	Laubwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	53	87	65	48	106	48	33	107	96	31	29	104
	50. Perzentil	4	0,51	7	8	18	0,33	1097	17	68	1,6	16	73
	90. Perzentil	12	0,89	16	23	31	0,73	1807	42	113	2,7	33	109
	Mischwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	31	50	49	14	64	20	43	64	45	26	12	59
	50. Perzentil	4	0,44	7	8	19	0,29	772	18	80	2,0	19	69
	90. Perzentil	9	0,89	17	11	39	0,64	1473	45	120	3,3	24	117

Substratübergreifende nutzungsspezifische Schwermetallgehalte - Humusauflagen unter waldbaulicher Nutzung

	Nadelwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	20	65	61	7	74	19	60	63	40	17	7	72
	50. Perzentil	3	0,44	3	-	17	0,23	314	10	94	2,7	-	62
	90. Perzentil	5	0,74	10	-	38	0,55	884	22	125	6	-	106
Oh	Laubwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	15	19	9	12	19	-	6	20	15	13	6	19
	50. Perzentil	5,6	0,39	-	11	18	-	-	16	97	2,9	-	59
	90. Perzentil	16	0,81	-	21	42	-	-	54	210	8	-	129
	Mischwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	19	18	11	7	18	2	13	19	10	18	5	18
	50. Perzentil	10	0,3	9	-	26	-	488	19	108	3,1	-	63
	90. Perzentil	17	0,81	15	-	49	-	1056	68	220	9,8	-	121
	Nadelwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	17	22	16	4	19	1	17	21	12	14	3	22
	50. Perzentil	7	0,44	3	-	16	-	369	14	115	2,8	-	61
	90. Perzentil	21	0,77	8	-	26	-	767	29	183	4,8	-	116
Of/ Oh	Laubwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	49	148	86	73	159	68	72	158	129	3	9	157
	50. Perzentil	5	0,6	3	7	16	0,29	587	12	105	-	-	59
	90. Perzentil	12,5	0,9	6	11	32	0,7	1306	21	160	-	-	81
	Mischwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	10	64	45	21	67	31	36	64	46	-	-	67
	50. Perzentil	4,5	0,44	3	7	17	0,36	371	12	110	-	-	61
	90. Perzentil	6	0,89	8	12	33	0,50	1426	24	172	-	-	88
	Nadelwald	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	2	75	45	8	75	16	66	71	28	-	2	75
	50. Perzentil	-	0,44	2,57	-	16	0,46	260	10	108	-	-	56
	90. Perzentil	-	0,8	2,57	-	25	0,57	692	16	125	-	-	74

KW-Gehalte [mg/kg] der Auflagehorizonte nach Gebietstypen

Auflage	Typ A	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	127	428	437	55	474	154	369	464	324	101	73	473
	50. Perzentil	3,72	0,4	2,6	8	16	0,35	476	12	78	1,7	17	62
	90. Perzentil	9,5	0,8	10	15	29	0,64	1353	35	116	3,5	33	100
	Typ B	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	123	187	6	180	192	70	4	185	192	8	5	184
	50. Perzentil	3,5	0,5	-	6	18	0,15	-	10	69	-	-	63
	90. Perzentil	8,5	0,9	-	14	34	0,35	-	16	118	-	-	101
L	Typ A	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	117	118	93	42	117	3	71	122	113	104	32	113
	50. Perzentil	2	0,4	3	3	14	-	632	8,47	36	1,3	6	64
	90. Perzentil	6	0,7	9	9	28	-	1562	31	87	2,9	11	97
	Typ B	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	102	168	6	160	172	67	4	168	172	8	3	167
	50. Perzentil	1,5	0,4	-	3	15	0,09	-	6	34	-	-	62
	90. Perzentil	3,2	0,9	-	8	25	0,18	-	11	57	-	-	101
Of	Typ A	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	84	169	185	31	213	80	147	217	149	79	49	208
	50. Perzentil	4	0,44	5	8	19	0,32	635	17,5	76	2	17	70
	90. Perzentil	10	0,76	16	13	32	0,71	1540	57,1	119	4,7	31	117
	Typ B	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	43	60	3	58	62	16	3	61	62	6	4	59
	50. Perzentil	4	0,5	-	9	18	0,09	-	13	85	-	-	71
	90. Perzentil	11	1,0	-	23	39	0,34	-	20	146	-	-	109
Oh	Typ A	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	47	54	37	18	51	3	38	52	30	44	14	53
	50. Perzentil	7	0,4	7	12	20	-	442	16	115	3	22	72
	90. Perzentil	17	0,8	19	20	38	-	1056	45	210	8	37	121
	Typ B	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
	n	12	15	3	12	15	1	2	16	16	6	3	16
	50. Perzentil	7	0,3	-	13	16	-	-	14	85	-	-	52
	90. Perzentil	12	0,5	-	25	28	-	-	18	184	-	-	74

## V.6.2 Weinbau (Rigosole)

Böden unter weinbaulicher Nutzung sind insbesondere in den hessischen Weinbaugebieten mit ihrer sehr langen Nutzungsgeschichte stark anthropogen überprägt. Verändert werden die Böden zunächst durch das Rigolen, ein tiefes Umbrechen und Einarbeiten von organischem Material bis in Tiefen von 1 m. Gleichfalls spielt auf den meist steilen Weinbauflächen die Bodenerosion eine sehr große Rolle. Vielfach sind die Substrate mehrmals abgetragen und wieder aufgebracht worden. Darüber hinaus wurde der Bodenaufbau sehr stark durch Terrassierungsmaßnahmen und der heute bei Neubestockungen üblichen morphologischen Optimierung für die Bewirtschaftung überprägt (vgl. FRIEDRICH & SABEL 2004; BÖHM et al. 2007). Oft wird hier auch standortfremdes Material mit Erdaushub aus der Region eingebracht.

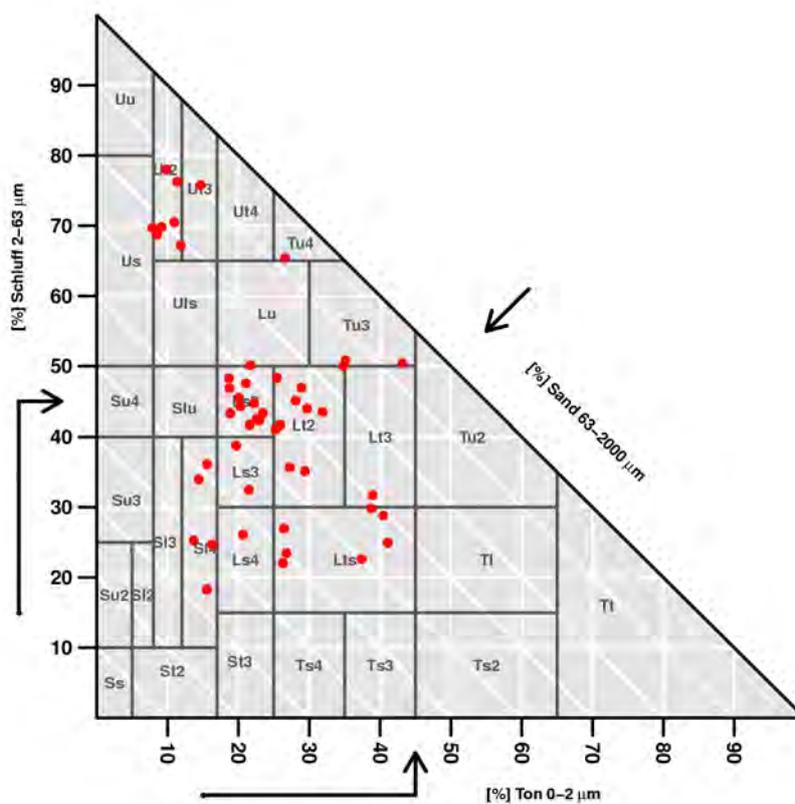
Neben dieser Substratüberprägung bestehen durch Zuführung von organischem Material wie Trester aus der Traubenverarbeitung, Komposte und diverse Mulchsubstrate, Aschen und dem intensiven Einsatz von Pflanzenschutzmitteln weitere Eintragspfade, die häufig zu erhöhten Gehalten an Spurenstoffen führen. So überschreitet das 50. Perzentil für Cu mit 58 mg/kg TM im Oberboden den Lehm-/Schluff-Vorsorgewert deutlich und liegt höher als für alle ausgewerteten Substratgruppen. Bei den berechneten 90. P.-Werten gibt es weitere Überschreitungen für Pb und Zn. Auch die  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte zeigen zumindest für Cu mit einem 90. Perzentil von 0,56 mg/kg TM einen alle Substratgruppen übertreffenden Wert, wenn auch der Prüfwert der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze von 1 mg/kg nicht erreicht wird.

Dabei repräsentieren die im Bodenzustandskataster zur Verfügung stehenden Profildaten unter weinbaulicher Nutzung eher Standorte mit geringer Überprägung und Belastung. Sie wurden überwiegend im Kontext naturnaher Standorte im Rahmen des Terroirprojektes Hessen erhoben (<http://www.terroir-hessen.de>). Die ubiquitäre Stoffbelastung von Böden unter weinbaulicher Nutzung ist daher eher noch höher einzuschätzen. Cu-Gehalte von > 150 mg/kg sind weit verbreitet. Sie entstammen vorwiegend den bis heute eingesetzten Pflanzenschutzmitteln (JÄNSCH & RÖMBKE 2009). Neben Pb und Zn können auch Cd und As erhebliche Belastungswerte aufweisen. Diese Befunde zeigen, dass Material aus Weinbergflächen grundsätzlich einer kritischen Überprüfung unterliegen soll.

Bodenkennwerte

Oberboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	23	21	27	19
50. Perzentil	2,6	1,41	7,10	16,05
90. Perzentil	22,1	5,90	7,50	26,08
Unterboden	CaCO <sub>3</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	pH (CaCl <sub>2</sub> ) [-]	KAK <sub>pot</sub> [mmol IÄ/100g]
n	20	17	20	17
50. Perzentil	1,0	0,83	7,32	13,88
90. Perzentil	13,0	1,13	7,65	22,67

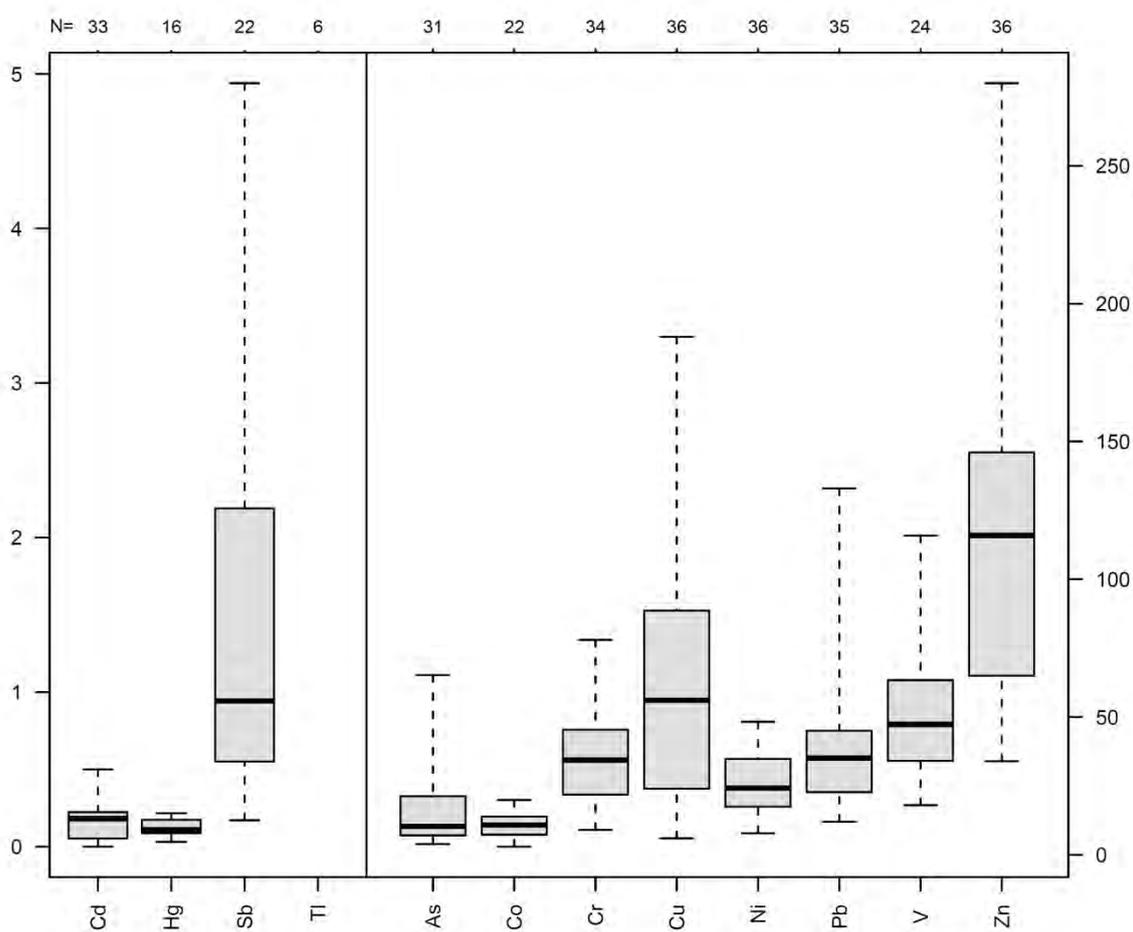
Bodenartendiagramm (n=50)



KW-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	17	31	33	22	34	36	16	19	36	35	22	6	24	36
50. Perzentil	23500	10	0,18	10	34	<b>58</b>	0,10	876	23	35	0,94	-	46	115
90. Perzentil	30250	39	0,30	19	58	<b>98</b>	0,20	1169	43	<b>92</b>	2,68	-	98	<b>195</b>
Unterboden	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
n	16	23	24	20	24	27	14	18	26	27	19	6	20	27
50. Perzentil	25551	11	0,08	11	30	35	0,07	873	30	33	0,81	-	48	92
90. Perzentil	32250	49	0,22	18	58	<b>104</b>	0,17	1164	48	<b>89</b>	4,94	-	88	141

Boxplot: KW-Gehalte [mg/kg] im Oberboden



Substratübergreifende nutzungsspezifische Schwermetallgehalte - Weinbau (Rigosole)

NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-Gehalte [mg/kg]

Oberboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	-	17	17	-	17	17	17	6	16
50. Perzentil	-	0,02	< BG	-	0,35	0,05	0,01	-	0,08
90. Perzentil	-	0,04	0,003	-	0,56	0,05	0,01	-	0,36
Unterboden	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
n	-	16	16	-	16	15	16	6	16
50. Perzentil	-	0,01	< BG	-	0,20	0,05	0,01	-	< BG
90. Perzentil	-	0,05	0,002	-	0,43	0,05	0,01	-	0,74

## **VI Organische Schadstoffe**

Kapitel wird ergänzt.

## VII Ergebnis und Ausblick

Die Datenkollektive der ausgewerteten Spurenelemente unterscheiden sich elementspezifisch beträchtlich. Von den 14 Spurenelementen, die für die Hintergrundwerte der KW-Gehalte ausgewertet werden, gehören Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb und Zn schon lange zu den Standarduntersuchungsparametern, so dass umfassende Datengrundlagen vorhanden sind. Für andere untersuchte Spurenstoffe, insbesondere Al, Sb, Tl oder V, gibt es hingegen Datendefizite. Auch As- und Co-Gehalte weisen bei einigen differenzierten Auswertungen zu geringe Fallzahlen auf. Hinsichtlich der Bewertung der  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte von 9 Spurenelementen besteht ein unbefriedigender Datenbestand vor allem für Al, Cr und Tl.

Eine Verbesserung der Datengrundlagen insbesondere für As und Tl wäre wünschenswert, da bei der derzeit geplanten Novellierung der BBodSchV die Vorsorgewerte aller Voraussicht nach erweitert werden. Im Fokus stehen dabei vor allem As und Tl, für die auch bundesweit die Datenlage immer noch unbefriedigend ist (UTERMANN et al. 2008, 2010). Da diese beiden Spurenelemente jedoch inzwischen im Standardmessprogramm des HLUg enthalten sind, werden sich die Datenkollektive in den nächsten Jahren vergrößern.

Auch mit Blick auf die Substratgruppen gibt es noch einige Defizite. So sind bei 4 von 29 differenzierten Substratgruppen aufgrund fehlender Datengrundlagen keine Angaben zu Hintergrundwerten möglich. Es handelt sich um die organogenen Substrate und die Tephra-substrate, die in Hessen nur kleinräumig verbreitet sind, sowie die lössfreien Substrate aus Carbonaten und Plutoniten. Eine gezielte Beprobung dieser Standorte wäre wünschenswert, um ein Mindestmaß an Datensätzen zu erhalten. Auch für alle übrigen lössfreien Substratgruppen mit periglazialer Überprägung, für die Hintergrundwerte des Untergrundes dargestellt werden, wird die geforderte Mindestanzahl von  $n = 20$  oft nicht erreicht oder nur knapp überschritten, so dass in Zukunft weitere Untersuchungen und Beprobungen dieser Substratgruppen sinnvoll erscheinen. Bei den jeweiligen lössarmen Substratgruppen sind die Datenkollektive nicht immer für alle Spurenelemente ausreichend, nur lössarme Substrate aus Psammiten und Psephiten sind in großer Anzahl untersucht worden. Hingegen kann für die lössreichen Substratgruppen, mit Ausnahme der in Hessen nur beschränkt vorkommenden Carbonate und Plutonite, die vorhandene Datenbasis als gut bewertet werden. Im Hinblick auf die äolischen Substratgruppen sind vor allem die Lösssubstrate sehr gut untersucht. Auch das Datenkollektiv der Flugsandsubstrate hat einen befriedigenden Umfang, es erlaubt zumindest für die Hälfte der Spurenelemente nutzungs- und gebietstypdifferenzierte Auswertungen, während die Datenbasis für die nur wenig verbreiteten Sandlösssubstrate naturgemäß geringer ist. Als gut zu bewerten sind die Datengrundlagen der kolluvialen Substrate und der Auenschluffsubstrate. Für die übrigen fluviatilen Substratgruppen ist hingegen eine differenzierte Auswertung nicht immer möglich.

Für die Berechnung von Hintergrundwerten der  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte ist die vorhandene Datenbasis prinzipiell noch zu erweitern. So können bei ungefähr der Hälfte der Substratgruppen  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte nicht ausgewertet werden, da keine oder zu wenige Daten vorhanden sind. Bei weiteren Substratgruppen können zwar Hintergrundwerte für einige Spurenelemente angegeben werden, jedoch ist für weitere Differenzierungen nach Nutzung und Gebietstyp die Datenbasis nicht ausreichend. Allein für die Auenschluff-, die Löss- und die Kolluvialsubstrate sowie die lössarmen/-reichen Substrate aus Psammiten und Psephiten und die lössreichen Substrate aus Peliten und Vulkaniten sind umfangreichere Datenkollektive vorhanden. Da zwischenzeitlich die Bestimmung von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalten im Standardmessprogramm des HLUg aufgenommen wurde und Bodenproben aller aktuellen und zukünftigen Untersuchungsprogramme auch nach Ammoniumnitrat-Extraktion analysiert werden, ist auch hier mit einer Verbesserung der Datensituation in den nächsten Jahren zu rechnen.

Aufgrund nutzungsspezifischer Stoffeinträge wurden für die Oberböden nach den drei Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald differenzierte Hintergrundwerte berechnet. Darüber hinaus wurden substratübergreifend die Humusaufgaben der Waldstandorte und Böden unter weinbaulicher Nutzung ausgewertet. Insgesamt ist keine Hauptnutzungsart deutlich unterrepräsentiert, die Datenkollektive für Grünland und Wald sind ungefähr gleich groß, Acker-Standorte sind geringfügig häufiger

untersucht worden. Für die Rigosole wäre die Erweiterung des Datensatzes um einige Standorte wünschenswert.

Vergleicht man die Hintergrundwerte der Hauptnutzungsarten, so weisen die Grünland- und Waldstandorte erwartungsgemäß oft höhere Spurenelementgehalte auf als die Ackerstandorte, bei denen durch regelmäßige Bodenbearbeitung eine Verdünnung stattfindet. Bei vielen Substratgruppen ist die Reihenfolge jedoch auch uneinheitlich bzw. spurenelementspezifisch unterschiedlich. So besitzen typischerweise die Auflage- und Oberbodenhorizonte der Waldstandorte die höchsten Pb-Gehalte: ein Spurenelement, welches in erster Linie durch luftbürtige Immissionen in den Boden gelangt. Unter Ackernutzung sind teilweise erhöhte Cu- und Zn-Gehalte zu finden.

Um die gebietsspezifische Immissionssituation zu berücksichtigen, wurden für die Oberböden differenzierte Hintergrundwerte für vorwiegend ländlich geprägte Räume (Gebietstyp A) und Verdichtungsräume (Gebietstyp B) berechnet. Obwohl erwartungsgemäß insgesamt mehr untersuchte Standorte im ländlichen Raum liegen, gibt es durchaus viele Daten aus den Verdichtungsräumen (Abbildung II-2). Allerdings können valide Hintergrundwerte für beide Gebietstypen, die einen direkten Vergleich der Gehalte erlauben, nur für die angesprochenen Substratgruppen mit umfassenden Datenkollektiven (z.B. Auenschluff- und Lösssubstrate) ermittelt werden. Ein einheitlicher Trend kann dabei nicht ausgemacht werden, vielmehr sind die Unterschiede zwischen den Gebietstypen elementspezifisch zu betrachten. So sind insbesondere die Pb- und As-Gehalte in den Verdichtungsräumen höher, während in den vorwiegend ländlich geprägten Räumen die Cr- und Ni-Gehalte dominieren. Für andere Spurenelemente, wie beispielsweise Cd und Zn, ist keine eindeutige Tendenz erkennbar. Um diese Trends zu verifizieren und, wie von der LABO (2003) vorgeschlagen, spezifische Hintergrundwerte für die einzelnen Verdichtungsräume ausweisen zu können, müssten weitere Standorte des Gebietstyps B untersucht werden.

Bei der Auswertung der Humusauflagen unter waldbaulicher Nutzung ist wie zu erwarten für die meisten Spurenelemente eine Anreicherung in der Oh- bzw. Of+Oh-Lage zu erkennen. Bei der vegetationsdifferenzierten Betrachtung (Unterscheidung Nadel-, Misch- und Laubwald) lässt sich kein konkreter Zusammenhang feststellen. Auch ein Zusammenhang zwischen der Nähe zu Schadstoffemittenten (Verdichtungsraum) und den Spurenelementgehalten der Humusauflagen lässt sich nicht beobachten.

Hinsichtlich der bisher in der BBodSchV (1999) vorgesehenen Vorsorgewerte zeigen die Hintergrundwerte für Ni mit Abstand die häufigsten und höchsten Überschreitungen sowohl für die 50. als auch für die 90. P.-Werte. Das entspricht bundesweiten Auswertungen von UTERMANN et al. (2010). Auch die Hintergrundwerte für Zn, Cr, Cu und Pb übertreffen den Vorsorgewert in einigen Fällen für das 50. und 90. Perzentil. Die insgesamt geringste Anzahl an Überschreitungen ist für Hg zu beobachten, allerdings überschreiten hier ebenfalls zwei 50. P.-Werte den Vorsorgewert. Cd ist das einzige Spurenelement, bei dem die Vorsorgewerte von den 50. P.-Werten nicht erreicht werden. Die 90. P.-Werte überschreiten diese aber ähnlich häufig wie bei Pb.

Die Hintergrundwerte der  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Gehalte können mit den Prüfwerten für Ackerbauflächen für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze verglichen werden (BBodSchV 1999). Einmalig wird für das 90. Perzentil der lössarmen Substrate aus Psammiten und Psephiten bei Ackernutzung der Zn-Prüfwert von 2 mg/kg erreicht. Zwar gibt es bei den horizontgruppendifferenzierten Hintergrundwerten teilweise weitere Überschreitungen der Prüfwerte für Zn, Ni und Cd, jedoch bleiben die nutzungsdifferenzierten Hintergrundwerte für Acker immer unterhalb dieser Werte.

Abschließend muss für stoffliche Bodenschutzfragestellungen der Hinweis gegeben werden, dass die in diesem Bericht präsentierten regionalisierten Hintergrundwerte Übersichtscharakter besitzen. Es handelt sich um eine Beschreibung des regionalen stofflichen Bodenzustandes mit Angabe von prognostizierten Wertebereichen. Lokal können die Hintergrundgehalte durchaus abweichen. Für konkrete Fragestellungen des Vollzugs der Bodenschutzgesetze sind eine differenzierte Ermittlung der lokalen Substrate und eine Analyse von Bodenproben erforderlich.

## VIII Schriftenverzeichnis

- AbfKlärV – Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1992): Klärschlammverordnung, BGBl. Teil I, 912-934; Bonn.
- Ad-hoc-AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., 392 S.; Hannover.
- Ad-hoc-AG Boden (2005): Leitfaden zum Umrechnungsprogramm „Methodenvergleich Gesamtgehalte Haupt- und Spurenelemente“. – 18 S.; Hannover.  
[[http://www.bgr.de/app/FISBoBGR\\_Stoffhaushalt/pdf/Leitfaden\\_Methodenvergleich.pdf](http://www.bgr.de/app/FISBoBGR_Stoffhaushalt/pdf/Leitfaden_Methodenvergleich.pdf), Stand: 08.11.2010]
- BACHMANN, G., BANNICK, C. G., GIESE, E., GLANTE, F., KEINE, A., KONIETZKA, R. RÜCK, F., SCHMIDT, S., TERYTZE, K. & D. V. BORRIES (1998): Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. In: ROSENKRANZ, D., EINSELE, G., HARREß, H.-M. & G. BACHMANN (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz, Kennziffer 9006, BoS 39. Lfg. XII/03.; Berlin. (Erich Schmidt Verlag)
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. & J. NIPPER (1999): Statistische Methoden in der Geographie. – Univariate und bivariate Statistik, 1, 234 S., 4. überarb. Aufl.; Stuttgart, Leipzig. (Teubner)
- BBodSchG – Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens (Bundes-Bodenschutzgesetz), BGBl. Teil I, Nr. 16; Bonn.
- BBodSchV – Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, BGBl. Teil I, Nr. 36; Bonn.
- BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung [Hrsg.] (2008): Referenz Gemeinden - Verdichtungsräume, Stichtag 31.12.2008.  
[[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_015/nn\\_499850/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/Verdichtungsraeume/downloadangebot.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_015/nn_499850/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/Verdichtungsraeume/downloadangebot.html)]
- BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung [Hrsg.] (2011): Laufende Raumbeobachtung - Raumabgrenzungen. Verdichtungsräume in Deutschland.  
[[http://www.bbr.bund.de/nn\\_103086/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/Verdichtungsraeume/verdichtungsraeume.html](http://www.bbr.bund.de/nn_103086/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Werkzeuge/Raumabgrenzungen/Verdichtungsraeume/verdichtungsraeume.html), Stand: 23.01.2011]
- BÖHM, P., FRIEDRICH, K. & K.-J. SABEL (2007): Die Weinbergsböden von Hessen. – Umwelt und Geologie, Böden und Bodenschutz in Hessen, 7, 35 S.; Wiesbaden.
- FRIEDRICH, K. & K.-J. SABEL (2004): Die Böden und ihre Verbreitung in den hessischen Weinbaugebieten. – in LÖHNERTZ et al.: Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. – Geologische Abhandlungen Hessen, 114: 59–69; Wiesbaden.  
[<http://www.hlug.de/medien/boden/fisbo/wbsa/texte/3-1-boden.pdf>, Stand: 23.01.2011]
- FRIEDRICH, K., KASEL, H., LÜGGER, K., SCHMANKE, M. & TH. VORDERBRÜGGE (2003): Erfassungsstandard Boden/Bodenschutz Hessen. – 1. Aufl.; Wiesbaden.  
[<http://www.hlug.de/medien/boden/fisbo/erfst>, Stand: 23.01.2011]
- HINDEL, R., GEHRT, E., KANTOR, W. & E. WEIDNER (1998): Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen und Daten. – In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & G. EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz.– Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Kapitel 1520, 41 S.; Berlin. (Erich Schmidt Verlag)

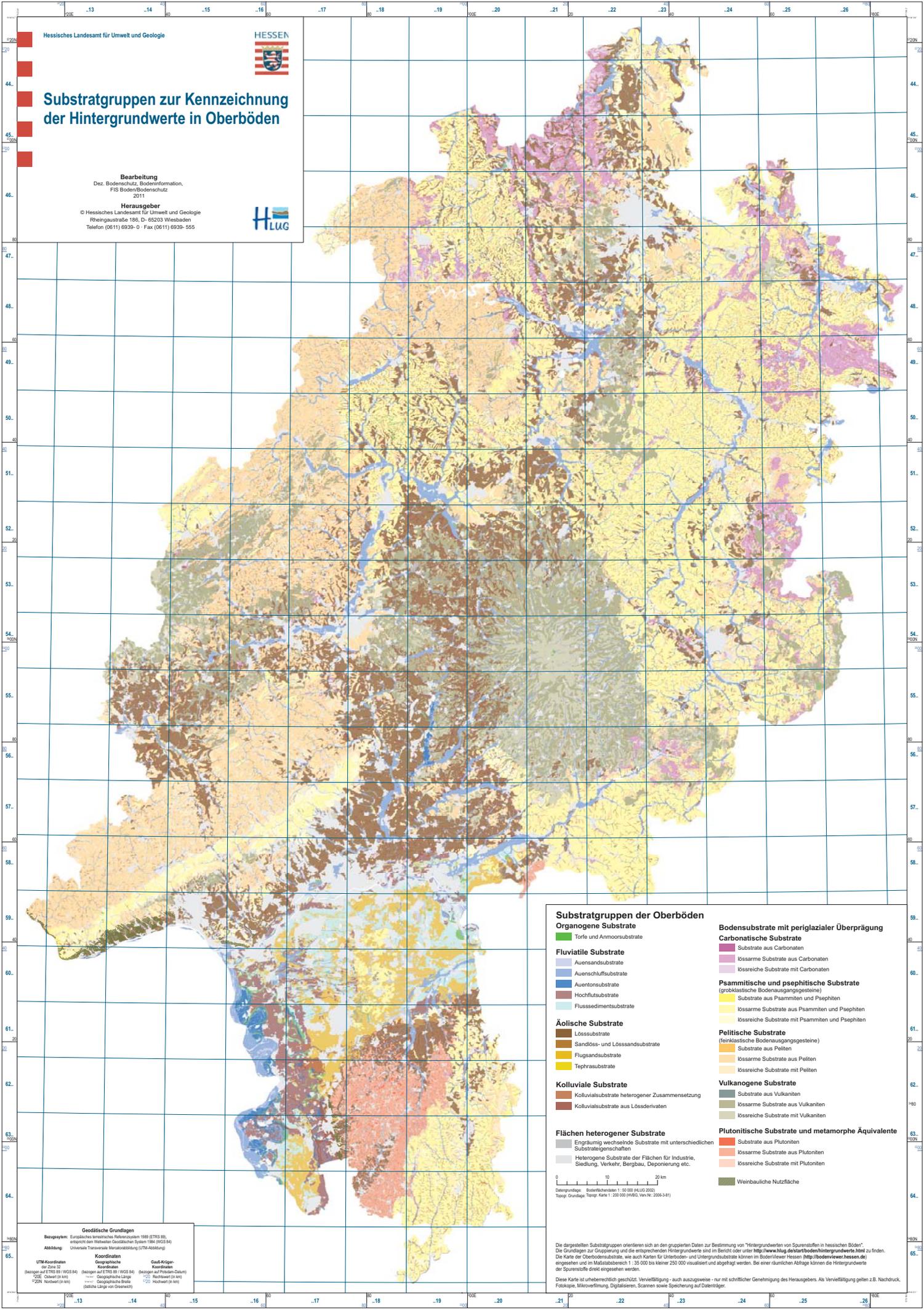
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg] (2002): Bodenflächen 1 : 50 000 von Hessen. – 1. Aufl.; Wiesbaden.
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg] (2011): Karte der Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in hessischen Oberböden; Wiesbaden.
- HORNBERG, V. (2002): Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte von Haupt- und Spurenelementen in Böden. – Abschlussbericht im Rahmen des Untersuchungsvorhabens: „Schwermetallgehalte in Mineralbodenproben aus dem BZE-Projekt“, 68 S.; Krefeld. [[http://www.gd.nrw.de/zip/a\\_pjb02.pdf](http://www.gd.nrw.de/zip/a_pjb02.pdf), Stand: 02.03.2010]
- HORNBERG, V. (2003): Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte von Haupt- und Spurenelementen in Böden (Königswasser-Auszug : Flusssäure-Aufschluss). – Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., **102**: 731–732; Oldenburg.
- JÄNSCH, S. & J. RÖMBKE (2009): Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden. – UBA-Texte Nr. 10/2009, 70 S.; Dessau.
- LABO – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. – 3. Aufl., 169 S., Berlin. [<http://www.labo-deutschland.de/pdf/LABO-HGW-Text.pdf>, Stand: 23.01.2011]
- MUFV – Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz [Hrsg.] (2008): Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz. – 148 S; Mainz.
- PRÜESS, A. (1994): Einstufung mobiler Spurenelemente in Böden. – In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & G. EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Kapitel 3600, 59 S.; Berlin. (Erich Schmidt Verlag)
- ROSENBERG, F. & K.-J. SABEL (1996): Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen und oberflächennahem Untergrund Hessens. Übersichtskarte 1 : 300 000, Hessisches Landesamt für Bodenforschung; Wiesbaden.
- SCHÖNHALS, E. (1996): Ergebnisse bodenkundlicher Untersuchungen in der Hessischen Lössprovinz mit Beiträgen zur Genese des Würm-Lösses. – Boden und Landschaft, Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie, **8**, 251 S., 44 Abb., 68 Tab., 2 Kart.; Gießen.
- SEHR, J. (2010): Schwermetallbezogene Auswertung des Bodenzustandskatasters Hessen. – Diplomarb. [unveröff.] Univ. Gießen, FB07, 128 S., 28 Abb., 46 Tab.; Gießen.
- UTERMANN, J., DÜWEL, O., FUCHS, M., GÄBLER, H.-E., GEHRT, E., HINDEL, R. & J. SCHNEIDER (1999): Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundgehalten in Oberböden. – UBA-Texte Nr. 95/99, 141 S.; Berlin.
- UTERMANN, J., DÜWEL, O., GÄBLER, H.-E. & R. HINDEL (2000): Beziehungen zwischen Totalgehalten und königswasserextrahierbaren Gehalten von Schwermetallen in Böden. – In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & G. EINSELE (Hrsg.): Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, Kapitel 1600, 36 S.; Berlin. (Erich Schmidt Verlag)
- UTERMANN, J., FUCHS, M. & O. DÜWEL (2008): Flächenhafte Hintergrundwerte für Arsen, Antimon, Beryllium, Molybdän, Kobalt, Selen, Thallium, Uran und Vanadium in Böden Deutschlands aus länderübergreifender Sicht; Hannover.
- UTERMANN, J., FUCHS, M. & O. DÜWEL (2010): Hintergrundwerte für Spurenelementgehalte in Böden mit Blick auf Bodenarten-Hauptgruppen. – Bodenschutz, **4**: 103-108; Berlin. (Erich Schmidt Verlag)

## **Kartenanlage**

Karte „Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in Oberböden“

Die Karte der „Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in Oberböden“ gibt die räumliche Verteilung von unterschiedlichen Substraten der Oberböden in Hessen wieder. Mit der Karte lassen sich entsprechende Hintergrundwerte aus dem Tabellenwerk in Kapitel V räumlich zuordnen. Die Substratgliederung lässt sich auch im Bodenviewer Hessen (<http://bodenviewer.hessen.de>) im Maßstab 1 : 35 000 bis 250 000 visualisieren und abfragen. Dabei können die Hintergrundwerte direkt eingesehen werden.

Bei den Karten ist zu beachten, dass es sich um eine mittelmaßstäbige Bewertung auf Grundlage der Bodenflächendaten 1 : 50 000 handelt. Die Karte zeigt somit eine regionale Differenzierung der vorkommenden Substrate und deren Hintergrundwerte auf. Lokal können die Substrate durchaus variieren. Für die Einstufung von abgegrabenem Bodenmaterial oder die Beaufschlagung von ortsfremdem Bodenmaterial gemäß §12 BBodSchV ist allerdings eine differenzierte Ermittlung der Substrate vor Ort erforderlich. Dies gilt ebenso für vergleichende Untersuchungen örtlich belasteter Standorte im Rahmen von schädlichen Bodenveränderungen.



Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

**Substratgruppen zur Kennzeichnung der Hintergrundwerte in Oberböden**

**Bearbeitung**  
 Dez. Bodenschutz, Bodeninformation,  
 FIS Bodenschutz  
 2011

**Herausgeber**  
 © Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
 Rheingaustraße 185, D- 65203 Wiesbaden  
 Telefon (0611) 6939-0 · Fax (0611) 6939-555



**Substratgruppen der Oberböden**

**Organogene Substrate**

- Torfe und Anmoorsubstrate

**Fluviatile Substrate**

- Auensandsubstrate
- Auenschluffsubstrate
- Auentonsubstrate
- Hochflutsubstrate
- Flusssedimentsubstrate

**Äolische Substrate**

- Lösssubstrate
- Sandlöss- und Lössandsubstrate
- Flugsandsubstrate
- Tephra-substrate

**Kolluviale Substrate**

- Kolluvialsubstrate heterogener Zusammensetzung
- Kolluvialsubstrate aus Lössderivaten

**Flächen heterogener Substrate**

- Engräumig wechselnde Substrate mit unterschiedlichen Substratigenschaften
- Heterogene Substrate der Flächen für Industrie, Siedlung, Verkehr, Bergbau, Deponierung etc.

**Bodensubstrate mit periglazialer Überprägung**

**Carbonatische Substrate**

- Substrate aus Carbonaten
- Issarme Substrate aus Carbonaten
- Issreiche Substrate mit Carbonaten

**Psammitische und psephitische Substrate**  
 (proklinalische Bodenausgangsgesteine)

- Substrate aus Psammiten und Psephiten
- Issarme Substrate aus Psammiten und Psephiten
- Issreiche Substrate mit Psammiten und Psephiten

**Pelitische Substrate**  
 (feinklastische Bodenausgangsgesteine)

- Substrate aus Peliten
- Issarme Substrate aus Peliten
- Issreiche Substrate mit Peliten

**Vulkanogene Substrate**

- Substrate aus Vulkaniten
- Issarme Substrate aus Vulkaniten
- Issreiche Substrate mit Vulkaniten

**Plutonitische Substrate und metamorphe Äquivalente**

- Substrate aus Plutoniten
- Issarme Substrate aus Plutoniten
- Issreiche Substrate mit Plutoniten

Weinbauliche Nutzfläche

0 10 20 km

Datengrundlage: Bodenkataster 1:50 000 (HLUG 2002)  
 Topo-Grundlage: Topo-Karte 1:200 000 (MKG, NeuVer. 2006-2011)

**Geodätische Grundlagen**

Bezugssystem: Europäische territoriale Referenzsystem 1989 (ETRS 89), entspricht dem Weltweiten Geodätischen System 1984 (WGS 84)

Abbildung: Universale Transversale Mercatorabbildung (UTM-Abbildung)

UTM-Koordinaten	Koordinaten	Gauß-Krüger-Koordinaten
(bezogen auf ETRS 89 / WGS 84)	(bezogen auf ETRS 89 / WGS 84)	(bezogen auf Potsdam-Datum)
°E, Ostwert (in km)	Geographische Länge	Rektaszension (in km)
°N, Nordwert (in km)	Geographische Breite	Hochwert (in km)
	(bitliche Länge von Greenwich)	

Die dargestellten Substratgruppen orientieren sich an den gruppierten Daten zur Bestimmung von "Hintergrundwerten von Spurenstoffen in hessischen Böden". Die Grundlagen zur Gruppierung und die entsprechenden Hintergrundwerte sind im Bericht oder unter <http://www.hlug.de/start/boden/hintergrundwerte.html> zu finden. Die Karte der Oberbodensubstrate, wie auch Karten zu Unterboden- und Untergrundsubstraten können im BodenViewer Hessen (<http://bodenviewer.hessen.de>) eingesehen und im Maßstabbereich 1:35 000 bis kleiner 250 000 visualisiert und abgefragt werden. Bei einer ähnlichen Abfrage können die Hintergrundwerte der Spurenstoffe direkt eingesehen werden.

Diese Karte ist urheberrechtlich geschützt. Vervielfältigung - auch auszugsweise - nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers. Als Vervielfältigung gelten z.B. Nachdruck, Fotokopie, Mikroverfilmung, Digitalisieren, Scannen sowie Speicherung auf Datenträger.