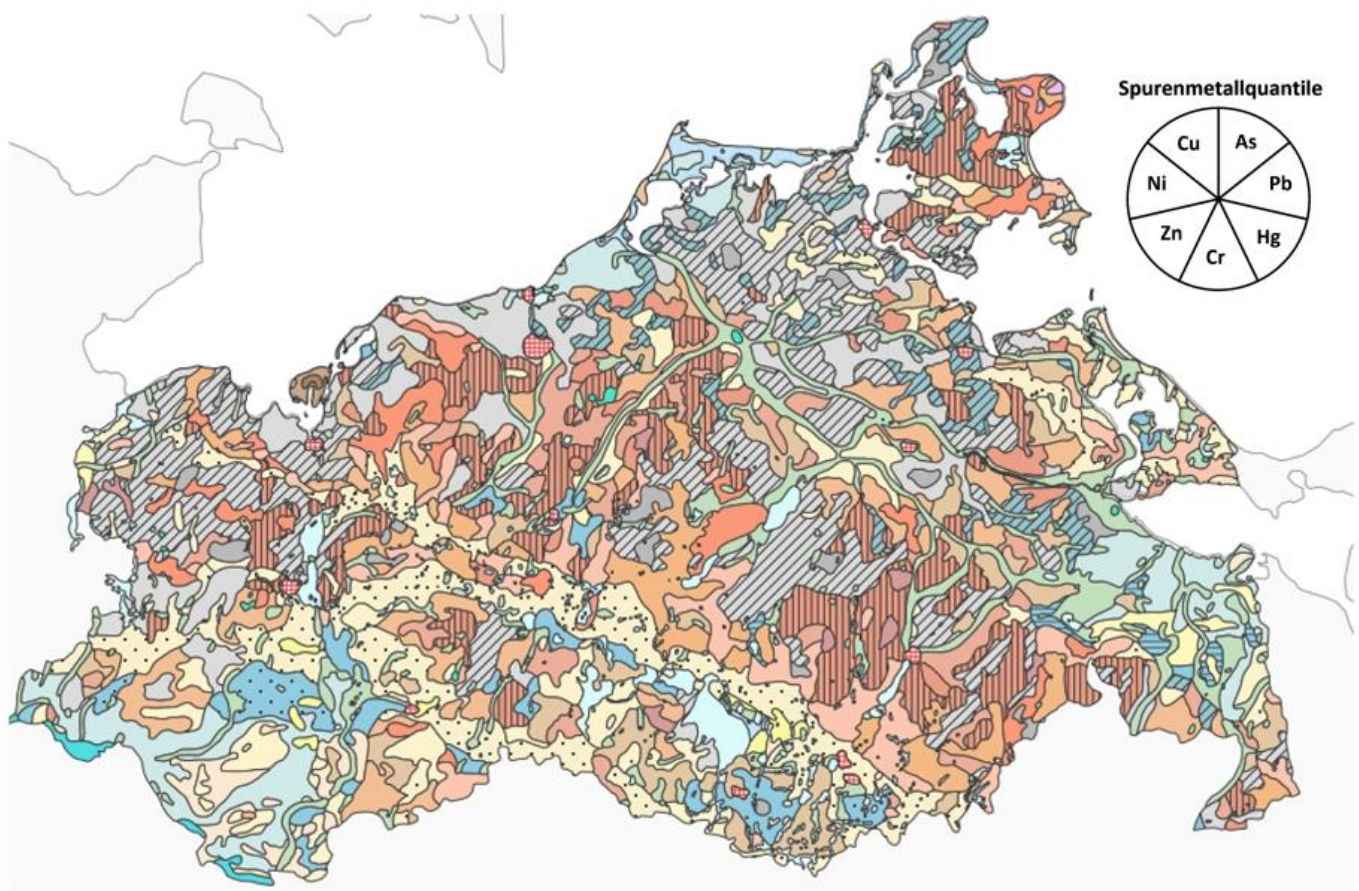


Verteilung der Gehalte ausgewählter Spurenelemente in Böden von M-V; deskriptive Statistik, geochemische Karten und Defizitanalyse



Bearbeiter: Ronald Dillner
Dr. Gerd Böttcher
Lothar Brockmüller

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Allgemeine Grundlagen.....	8
2.1	Grundbegriffe Böden.....	8
2.1.1	Allgemeine Definition von Böden	8
2.1.2	Geochemie von Schwermetallen in Böden	9
2.1.3	Quartärgeologie (Oberflächengeologie von M-V).....	10
3	Datengrundlagen und Datenbeschaffung	12
3.1	Typische Spurenmetallgehalte in Böden von M-V	12
3.2	Hintergrundwerte, Vorsorgewerte, Prüfwerte und Maßnahmewerte von Böden.....	12
3.3	Probennahme und Datenanalyse (Filterung, Aggregation).....	13
3.4	Weitere Daten, die innerhalb des GIS-Systems vorlagen.....	13
3.5	Beprobung und instrumentelle Analytik der gemessenen Haupt- und Spurenelemente	14
3.6	Substrate und Nutzungstypen	15
3.7	Geodaten von Urbanisierungszentren in M-V.....	15
3.8	Pflege der Daten und Automatisierung der Darstellung innerhalb des Geoportals des LUNG M-V	15
4	Methodik	17
4.1	Aufbereitung, Verarbeitung und Quantilberechnung anhand der Ausgangsdaten	17
4.2	Geographische Informationssysteme zum Auswerten und zur Erstellung von angepassten shape files (Geopackages)	17
4.3	Statistische Analysen	18
4.4	Räumliche Analyse	19
5	Resultate und Diskussion	20
5.1	Bodenchemische Trends.....	20
5.2	Desriptive Statistik (Box-Plots, Konfidenzintervalle)	23
5.2.1	Allgemeine Trends und Rahmenbedingungen.....	23
5.2.2	Arsen (As).....	23
5.2.3	Nickel (Ni)	25
5.2.4	Chrom (Cr)	26
5.2.5	Blei (Pb).....	28

5.2.6	Kupfer (Cu)	29
5.2.7	Quecksilber (Hg)	31
5.2.8	Zink (Zn).....	33
5.3	Statistik von Hauptelementen und weiteren Parametern.....	34
5.4	Zusammenfassung der statistischen Analyse	38
6	Kartographische Darstellung und Tortendiagramme	40
6.1	Weißflächenanalyse von potentiellen Bodenbeprobungsstandorten.....	40
6.2	Geochemische Karten und Tortendiagramme.....	43
6.3	Gefilterte Parameter im Bezug zur kartographischen Darstellung	56
7	Ausblick auf künftige Arbeiten an Hintergrundwerten	58
8	Literaturverzeichnis	59
9	Anhang	60
9.1	Zuordnung der Quantilgrenzen	60
9.2	Legende zur oberflächengeologischen Übersichtskarte	63

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Tortendiagramm aus sieben Segmenten	18
Abb. 2: As gegen Fe_2O_3 am Beispiel Sand Acker Oberboden.....	20
Abb. 3: Zusammenhang Korngröße gegen CaCO_3	21
Abb. 4: Korrelationen zw. Tonfraktion und Cr-, Ni-Gehalt bei verschiedenen Substraten	22
Abb. 5: Korrelation der Hauptkomponenten SiO_2 und Fe_2O_3	22
Abb.6: As-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V	24
Abb.7 As-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	24
Abb 8: Ni-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V.....	26
Abb. 9: Ni-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	26
Abb. 10: Cr-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V.....	27
Abb. 11: Cr-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	28
Abb. 12: Pb-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V	29
Abb. 13: Pb-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	29
Abb. 14: Cu-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V.....	30
Abb. 15: Cu-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V.....	31
Abb. 16: Hg-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V.....	32
Abb. 17: Hg-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	32
Abb. 18: Zn-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V	33
Abb. 19: Zn-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	34
Abb. 20: SiO_2 -Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate	35
Abb. 21: Al_2O_3 -Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate	36
Abb. 22: Fe_2O_3 -Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate	36
Abb. 23: CaO-Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate.....	37
Abb. 24: Humusgehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate.....	37
Abb. 25: pH-Werte unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V	38
Abb. 26: pH-Werte in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate	38
Abb. 27: Verteilung der landwirtschaftlich genutzten Flächen von M-V	41
Abb. 28: abgedeckter Flächenanteil bei einem Repräsentanzradius von 4000 m bezogen auf gesamt M-V.....	41
Abb. 29: abgedeckter landwirtschaftlich genutzter Flächenanteil bei einem Repräsentanzradius von 4000 m bezogen auf landwirtschaftliche Nutzfläche	42
Abb. 30: Nicht abgedeckter landwirtschaftlich genutzter Flächenanteil bei einem Repräsentanzradius von 4000 m	42
Abb. 31: Sand - Acker – Oberboden.....	45
Abb. 32: Sand - Acker - Oberboden	45
Abb. 33: Sand - Acker - Unterboden.....	46
Abb. 34: Sand - Acker - Unterboden.....	46
Abb. 35: Sand - Acker - Untergrund	47
Abb. 36: Sand - Acker - Untergrund	47

Abb. 37: Sand - Grünland - Oberboden.....	48
Abb. 38: Sand - Grünland - Oberboden.....	48
Abb. 39: Sand – Grünland - Unterboden.....	49
Abb. 40: Sand – Grünland - Unterboden.....	49
Abb. 41: Sand – Grünland - Untergrund.....	50
Abb. 42: Sand – Grünland - Untergrund.....	50
Abb. 43: Lehm - Acker - Oberboden.....	51
Abb. 44: Lehm - Acker - Oberboden.....	51
Abb. 45: Lehm - Grünland - Oberboden	52
Abb. 46: Lehm - Grünland - Oberboden	52
Abb. 47: Lehm - Unterboden.....	53
Abb. 48: Lehm - Unterboden.....	53
Abb. 49: Lehm - Untergrund.....	54
Abb. 50: Lehm - Untergrund.....	54
Abb. 51: Torf - Unterboden und Untergrund.....	55
Abb. 52: Torf - Unterboden und Untergrund.....	55
Abb. 53: Gefilterte Kombination von Punktinformationen an Probenpunkten von M- V	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die wichtigsten Parameter zur Spurenmetallanalytik.....	14
Tabelle 2: Farbzusordnungen.....	18
Tabelle 3: Flächeninhalte der mittels QGIS erzeugten Flächen nach Corine Landcover bei einem Repräsentanzradius von 4000 m (Stand: 23.10.2019)	43
Tabelle 4: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente - Sande.....	60
Tabelle 5: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente - Geschiebelehme, - mergel.....	61
Tabelle 6: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente – Tone & Schluffe	62
Tabelle 7: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente - Torfe	62

1 Einleitung

Bodenkennwerte und Bodenrichtwerte stellen einen wichtigen Beitrag zur Überwachung und Kontrolle von Schwermetallen in Böden dar. Vor allem die Identifizierung von natürlichen und anthropogenen Quellen und Senken spielen hierbei eine große Rolle. Hierzu soll im Rahmen dieses Projektes auf der Basis von geochemischen Messdaten der Boden-Festphase sowie im Bezug zu Hintergrundwerten von M-V geochemische Auswertungen vorgenommen und Karten erstellt werden. Hierbei werden ausgesuchte Spurenmetalle in verschiedenen Böden, die nach Bodenart (Substrat) sowie nach Landnutzung differenziert werden, analysiert und zu den vorhandenen Hintergrundwerten in Beziehung gesetzt. Anschließend erfolgt eine kartographische Darstellung der berechneten Quantile von relevanten Spurenmetallen über eine passende Übersichtskarte des Landes M-V.

Zudem soll mithilfe statistischer Analyseverfahren und Kovariationen ein Eindruck über mögliche geochemische Quellen und Senken sowie Ausreißern, Mittelwerten, Spannweiten etc. gegeben werden. Weiterhin werden bodenchemische Tiefentrends erzeugt, um beispielsweise natürliche von anthropogenen An- und Abreicherungen zu identifizieren. Generell werden Regressionen verschiedener Haupt- und Spurenelemente verwendet, um bodenchemische Trends und Wechselwirkungen zu identifizieren.

Schließlich sollen mittels einer Defizitanalyse, welche auf den analysierten Proben des Bodenmessnetzes von M-V basiert, potentielle zukünftige Untersuchungs- und Beprobungskampagnen dargestellt werden. Letztlich sollen die endgültigen geochemischen Karten sowie die Weißflächen der Defizitanalyse in das Kartenportal des LUNG M-V geladen werden.

Am Ende des Projektes wird ein Ausblick gegeben, wie in zukünftigen Arbeiten GIS- und Statistikanwendungen für die Analyse von bodenchemischen Daten verwendet werden könnten.

2 Allgemeine Grundlagen

2.1 Grundbegriffe Böden

Böden unterliegen komplexen und dynamischen Prozessen auf unterschiedlichen Zeitskalen. Diese sind gekoppelt an das Substrat, die Landnutzung sowie einer Reihe anderer natürlicher und anthropogener Faktoren. Zudem stellen sie für die Ernährung der Weltbevölkerung eine essentielle Basis dar (Montgomery, 2011). Daher soll zunächst ein kurzer Abriss über die allgemeinen Bodenbegriffe, die bodenbildenden Bestandteile und deren Wechselwirkungen gegeben werden.

2.1.1 Allgemeine Definition von Böden

Böden bzw. die Pedosphäre (griechisch *pédon* „Erdboden“) stellen ein wichtiges Schlüsselement der terrestrischen Ökosysteme dar, wobei zum einen der natürliche Teil als auch der landwirtschaftliche Teil zur Geltung kommen (Alloway, 1999, S. 11). Zudem sind Böden ein wichtiges Kompartiment der komplexen Geosphäre und wechselwirken mit anderen natürlichen als auch anthropogen beeinflussten Sphären wie beispielsweise der Hydrosphäre oder der Biosphäre. Demzufolge sind Böden schwer von den anderen natürlichen Komponenten zu trennen und eher von diesen durchdrungen als von ihnen separiert. Weiterhin handelt es sich bei Böden um ein komplexes heterogenes Medium, wobei sowohl mineralische als auch organische Bestandteile in allen Aggregatzuständen vorliegen können.

Bei den mineralischen Bestandteilen handelt es sich zumeist um verwitterte primäre Gesteinsbruchstücke, welche durch physikalische und chemische Verwitterung gebildet wurden. Zum anderen können aus der Zersetzung der primären gesteinsbildenden Minerale sekundäre Minerale wie beispielsweise Schichtsilikate, Tonminerale, Eisen-, Mangan- oder Aluminiumoxide sowie Karbonate, zumeist in Form von CaCO_3 , auftreten.

Auf der anderen Seite stellt das organische Material einen wichtigen Teil des Edaphons dar. Dieses besteht hauptsächlich aus lebendigen Organismen, Meso- und Mikroorganismen, totem Pflanzenmaterial (Streu) oder kolloidalem Humus (Alloway, 1999, S. 11). Die einzelnen Fraktionen der organischen Phase sind hierbei üblicherweise zu Aggregaten verklumpt und stehen durch Poren zueinander in Kontakt. Hierbei erfolgen innerhalb dieser Hohlräume dynamische Prozesse, welche die physikalischen und chemischen Randbedingungen wie Redoxbedingungen, pH-Wert etc. innerhalb kurzer Zeiträume beeinflussen können.

Aus der Kombination dieser mineralischen und organischen Bestandteile ergibt sich ein zwar heterogenes, aber strukturiertes Gemisch, das einen Lebensraum für viele Organismen darstellt. Zudem ist dieses Gemisch Medium für die Aktivität der Pflanzenwurzeln, in dem diese in komplexe physikalische, chemische und biologische Wechselwirkungen mit ihrer Umwelt treten. Aufgrund dessen wird dieser Bereich zwischen Boden und Wurzel auch als Rhizosphäre bezeichnet.

Zusammengefasst kann die Pedoshäre als ein komplexes Gefüge aus unterschiedlichen natürlichen und anthropogenen Bestandteilen angesehen werden, welche ein dynamisches Gleichgewicht von mineralischen und organischen Komponenten sowie den anzutreffenden physikalisch-chemischen Randbedingungen wie beispielsweise Temperatur oder pH-Wert bildet (Scheffer/Schachtschabel, 2018), in dem komplexe chemische Reaktionen wie Oxidation/Reduktion, Kationenaustausch, spezifische Metalladsorption, Fällung, organische Komplexbildung etc. ablaufen (Alloway, 1999).

2.1.2 Geochemie von Schwermetallen in Böden

An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über anthropogene Quellen und Senken gegeben werden. (vgl. (Alloway, 1999), S. 46).

Die Konzentration von Schwermetallen in Böden wird von verschiedenen Prozessen sowie Quellen und Senken beeinflusst, welche sowohl exogen, endogen, als auch in Kombination auftreten können. Zunächst spielt die natürliche geochemische Herkunft innerhalb der Erdkruste (Goldschmidt-Faktor) eine wichtige Rolle. Generell werden die Spurenmetalle innerhalb der Erdkruste durch vielfältige natürliche Prozesse beeinflusst, welche magmatische, sedimentäre oder metamorphe Prägungen aufweisen. Hierbei spielen vor allem magmatische Prozesse und die chemische Zusammensetzung der primären Schmelze eine Rolle (vgl. (Markl, 2015); (White, 2020)). Hierbei kann es beispielsweise durch Vererzungsprozesse zu natürlichen Anreicherungen kommen (vgl. (Neukirchen/Ries, 2016)). Die durchschnittlichen Gehalte der Spurenelemente von Böden werden zunächst durch deren Gehalt in den gesteinsbildenden Mineralen, wie Olivin, Hornblende, Oligoklas etc. bestimmt. Als weiterer wichtiger Prozess der Spurenmetallgehalte tritt zudem die Pedogenese selbst zu Tage. Dieser Vorgang wird wiederum durch einen ganzen Strauß von Faktoren innerhalb eines dynamischen Gefüges bestimmt (Alloway, 1999, S. 45):

Boden = f(Cl, O,R,P,Z,T)

Cl - Klima

O - Bodenorganismen

R - Topographie

Z - Bodenausgangsmaterial

T - Zeit

Neben diesen natürlichen Ursachen der Schwermetallkonzentration in Böden gibt es eine ganze Reihe von anthropogenen Quellen und Senken, welche die Spurenmetallgehalte in Böden bestimmen können. Dazu zählen Erzbergbau, Landwirtschaft (Düngung), Klärschlämme, Verbrennung fossiler Brennstoffe, Industrieproduktion, Verkehr, Schießanlagen etc. (Alloway, 1999).

Im Abschnitt Resultate und Diskussion wird auf einzelne Trends und Korrelationen der Spurenmetalle zusammen mit den chemischen und physikalischen Randbedingungen eingegangen. Es werden auffällige Trends und Korrelationen aufgezeigt, insofern sie sich in den zu bearbeitenden Daten widerspiegeln. Dazu werden mögliche Prozesse und potentielle Quellen genannt, welche die Gehalte und Verteilungen der Parameter erklären können.

2.1.3 Quartärgeologie (Oberflächengeologie von M-V)

Die Oberflächengeologie Mecklenburg-Vorpommerns wurde zum überwiegenden Teil durch die quartären Vereisungen und aller damit verbundenen Prozesse, Strukturen und geologischen Formen geprägt. Da diese intensive und differenzierte zyklische Geologie einen hohen Einfluss auf die Beschaffenheit und die Struktur des Ausgangssubstrats für die Pedogenese hat, soll an dieser Stelle ein kurzer Abriss über die Quartärgeologie sowie die für die Pedogenese relevanten geologischen Formen und Faktoren gegeben werden. Anschließend wird ein kurzer Vergleich der Korrelation der Bodentypen mit dem geologischen Ausgangssubstrat gegeben.

Die quartäre Geologie M-V ist vor allem durch Inlandeisvorstöße gekennzeichnet. Das mehrmalige und intensive Vor- und Zurückweichen des Inlandeises führte zum einen zur Ablagerung von Sedimenten und Geschieben aus nördlicheren Regionen Europas und zum anderen kam es zur Deformation von bereits vorhandenen Substraten und Landschaften bzw. Landschaftsvorformen. Durch dieses komplexe Wechselspiel entstand eine charakteristische Ansammlung von quartärgeologischen Landschaftsformen, welche als glaziale Serien bezeichnet werden. Unter einer glazialen Serie versteht man einen Komplex von Landschaftsformen und Sedimenten, der im Zuge eines Gletschervorstoßes gebildet wurde (Schulz, 1998, S. 13) und (Penck, 1882)). Eine umfassende Darstellung der Quartärgeologie Mecklenburg-Vorpommern wird unter anderem von Katzung (Katzung, 2004) oder Schulz (Schulz, 1998) gegeben. Die wichtigsten glazialsedimentologischen und tektonischen Formen umfassen hierbei vor allem proglaziale Ablagerungen (tonige Beckensedimente), Oser, Sander, Toteisablagerungen, Moränenablagerungen oder die Ablagerungen von ehemaligen Urstromtälern. Für die Ausprägung der diversen Sedimente und deren Struktur spielt ebenfalls die Dynamik der Vor- und Rückstöße des Inlandeises eine wichtige Rolle.

Generell zeigt sich, dass die glazialen Substrate und deren Korngrößen bzw. deren Korngrößenverteilungen eng mit diversen Bodentypen und deren Genese zusammenhängen. Für einen Vergleich von Pedogenese und Oberflächengeologie sind die Bodenkarten von M-V sowie die Quartärgeologischen Karte von M-V zu empfehlen, welche im Abschnitt 6.2 „Geochemische Karten und Tortendiagramme“ als Hintergrundkarte zum Einsatz kommt.

Wie oben bereits erwähnt spielen die geochemische Anreicherung von Spurenmetallen sowie glaziale Prozesse und Formungen als auch klimatische Bedingungen eine wichtige Rolle für die Entstehung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern. Auch hierbei sind die Böden in M-V sehr eng mit den vorher

erwähnten oberflächengeologischen Sedimenten und glazialtektonischen Prozessen korreliert. Die Korrelation der Böden mit der quartären Geologie wird bei der Gegenüberstellung der Bodenkarte von M-V mit der geologischen Oberflächenkarte von Mecklenburg-Vorpommern deutlich.

3 Datengrundlagen und Datenbeschaffung

3.1 Typische Spurenmetallgehalte in Böden von M-V

Auf Basis der Daten zu den Hintergrundwerten der Spurenmetalle von M-V (LABO, 2017) erfolgt die statistische Analyse und der Vergleich der in diesem Projekt verwendeten Bodendaten gegenüber den Hintergrundwerten des LABO-Berichts (ebd.). Aus dem Vergleich der Daten mit den LABO-Hintergrundwerten konnten bereits erste geochemische Trends abgeleitet werden. Datensätze mit geringer Probenanzahl (z.B. Schluffproben), wurden für die weitere Darstellung und statistische Analyse nicht berücksichtigt.

3.2 Hintergrundwerte, Vorsorgewerte, Prüfwerte und Maßnahmewerte von Böden

Hintergrundgehalte bezeichnen die Stoffgehalte eines Bodens, die sich aus dem geogenen (=natürlichen) Grundgehalt und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge von diffusen Einträgen in den Boden zusammensetzen. Die daraus abgeleiteten Hintergrundwerte beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen die repräsentativen Stoffkonzentrationen in Böden einer Region. Sie werden differenziert hinsichtlich den Bodeneigenschaften (Substrat), der Nutzung (i.A. Acker, Grünland, Wald) und bei Bedarf dem siedlungsstrukturellen Gebietstyp. Ihre Angabe erfolgt in statistischen Kenngrößen (50. und 90. Quantil). Die Hintergrundwerte der Spurenmetalle werden nach der bundeseinheitlichen Konvention der LABO (LABO, 2017) bestimmt.

In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) sind bundeseinheitliche Werte für die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen und schädlichen Bodenveränderungen festgelegt. Diese Bodenwerte (Vorsorgewerte sowie Prüf- und Maßnahmenwerte) sind Angaben über Stoffkonzentrationen im Boden, deren Überschreitung unterschiedliche Konsequenzen haben kann, von weiterer Untersuchung bis hin zu notwendiger Sanierung. Die kleinsten Werte sind die Vorsorgewerte. Dies sind Bodenwerte, bei deren Überschreiten davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht (§8 BBodSchG). Weiterhin gibt es Prüf- und Maßnahmewerte, bei deren Überschreitungen weitere Untersuchungen oder Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden. Im Zusammenhang mit diesen Werten stellen geochemische Hintergrundwerte eine wertvolle Grundlage für die Einschätzung von potentiellen Bodenverunreinigungen dar.

Schematische Darstellungen über die Zusammenhänge von Spurenmetallkonzentrationen im Hinblick auf Toxizität oder Mangelerscheinungen finden sich in Alloway (Alloway, 1999, S. 35). Ergänzend findet sich in Alloway (ebd.) eine schematische Darstellung über das System Boden-Pflanze mit den Schlüsselfaktoren der Schwermetalldynamik (ebd., S. 29).

3.3 Probennahme und Datenanalyse (Filterung, Aggregation)

Die Probenahmen wurden innerhalb unterschiedlicher Projekte (z.B. BDF, Moorstandortkatalog, Kartierungen) im Zeitraum von 1992 bis 2015 durchgeführt. Bei der Präparation wurden ausschließlich Königswasserextrakte gemäß BBodSchV verwendet. Allerdings wurden diese wie auch die Analytik in verschiedenen zum Teil externen Laboren durchgeführt. Da auch die Analytik von 1996 bis 2015 kontinuierlich fortgeführt wurde, ist darin auch ein methodisch-technologischer Fortschritt vorhanden, der sich in einer Aufweitung des Analysespektrums ab 2007 und einer größeren Empfindlichkeit der Messmethodik (bessere Bestimmungsgrenzen) niederschlägt.

Aufgrund der unterschiedlichen Historie der kompilierten Datensätze (Jahreszahlen, Analysetechniken, Beprobungsstrategien etc.) und der erhobenen Metadaten (z.B. Koordinatenbezugssysteme) mussten die Dateien für eine spätere Darstellung aufwändig gefiltert und sortiert und zum Teil umgewandelt werden. Genauere Angaben dazu finden sich im Abschnitt Methodik.

Die Ausgangsdateien liegen in kontrollierten Exceldateien vor, welche zuvor aus lokalen Access-Datenbanken extrahiert wurden. Zudem wurden hierbei bereits Bodenproben, die in urbanen Gebieten (hauptsächlich Rostock) lagen, herausgefiltert, sodass die betrachteten Daten vorwiegend Böden aus ländlichen Gebieten umfassen. Zu diesen Daten gehören zum einen verschiedene bodenanalytische Grundparameter wie Humus, Karbonat und pH-Wert, zum anderen Metadaten wie Beprobungsdatum, Horizont, Beprobungstiefe etc.

Geoinformationen wie die Beprobungsstandorte (Hoch- und Rechtswerte) lagen in verschiedenen Koordinatensystemen vor, welche zur Vereinheitlichung in das offizielle aktuelle Koordinatensystem von M-V umgewandelt wurden (EPSG 5650).

Da nicht alle Zeilen mit allen Parametern befüllt vorlagen, mussten für die Kovariationen die Daten teilweise gefiltert werden. Als weiteres Problem stellte sich die Verwertung von mehreren Bodenproben am gleichen Standort in der gleichen Gruppe, jedoch mit unterschiedlicher Tiefe, heraus. Letztlich wurden die Spurenmetallgehalte der Bodenproben dieser Stellen als Mittelwert zusammengefasst und dementsprechend wurde mit diesem Wert weitergearbeitet.

Für anschließende Projekte könnten die einzelnen Tiefen der jeweiligen Standorte mittels der Unterscheidung des Substrats differenzierter gewichtet werden. Hierbei könnten beispielsweise geologische oder pedogene Untergrundmodelle zu einer besseren Differenzierung und Gewichtung der Proben bei gleichem Standort verwendet werden.

3.4 Weitere Daten, die innerhalb des GIS-Systems vorlagen

Neben den umfangreichen bodenchemischen Daten lagen bereits Geodaten aus unterschiedlichen vorhergehenden Projekten vor. Hierzu gehören georeferenzierte bzw. digitalisierte Karten von M-V in unterschiedlichen Maßstäben und

verschiedenen Themen, bspw. Substrate, Landnutzung etc. Zudem lagen feature classes/shape files von Wäldern und Feldern vor, an denen im weiteren Verlauf durch Ausweisung von Weißflächen eine Defizitanalyse vorgenommen wurde. Weiterführende Ergebnisse zu der Weißflächengenerierung finden sich in Abschnitt „Methodik“ und „Resultate und Diskussion“.

Das Kartenportal des LUNG M-V (LUNG M-V, 2022) bietet einen WMS-Service (Web Mapping Service) und einen WFS-Service (Web Feature Service) an, bei dem unter Angabe einer speziellen Url thematische Hintergrundkarten in ein GIS-System geladen werden können. Diese WMS-Dienste finden sich auf der LUNG Homepage (ebd.). Für diesen Bericht wurden daraus die geologischen Übersichtskarten und Bodenkarten im Maßstab 1:500.000 gewählt.

Die oben genannten WMS-Karten dienen in der Endfassung als Hintergrund, um die nach den Quantil-klassifizierten bodenchemischen Punktdaten sinnvoll darstellen zu können. Insgesamt enthält das GIS-Archiv des LUNG zahlreiche thematische und administrative Layer (beispielsweise Grundwasser, Rohstoffgeologie, Gewässer, Schutzgebiete, Landwirtschaft, Umriss des Landes M-V) in verschiedenen Maßstäben, welche in vergleichbaren Projekten genutzt werden können.

3.5 Beprobung und instrumentelle Analytik der gemessenen Haupt- und Spurenelemente

Die instrumentelle Analytik der einzelnen Spurenelemente ist in Tabelle 1 zusammengefasst dargestellt. Hierbei sind die Nachweisgrenzen, die Präzision und die Standardfehler etc. aufgezeigt. Die für den Bericht relevanten Spurenelemente wurden mittels KW (Königswasserextrakt HNO₃-HCL (1:3)) präpariert. Die KW-Extrakte lösen je nach Element unterschiedlich große Anteile der Spurenelemente aus dem Bodenmaterial, sodass – um auf die Gesamtgehalte zu gelangen – Korrekturfaktoren angewendet werden müssen (siehe Alloway (1999) Eichsubstanzen). In Tabelle 1 sind die wichtigsten Parameter zur Spurenmetallanalytik zusammengefasst.

Tabelle 1: Die wichtigsten Parameter zur Spurenmetallanalytik

Parameter	verwendete Technik		Bestimmungsgrenzen	Einheit
	Präparation	Analytik		
As	KW	Hyd-AAS / ICP-AES / ICP-MS	0,036 - 1,00	mg/kg
Cr	KW	GF-AAS / ICP-AES / ICP-MS	0,06 - 2,00	mg/kg
Cu	KW	GF-AAS / ICP-AES / ICP-MS	0,20 - 2,00	mg/kg
Hg	KW / Verbrennung	CV-AAS / AFS / DMA	0,010 - 0,025	mg/kg
Ni	KW	GF-AAS / ICP-AES / ICP-MS	0,11 - 2,00	mg/kg
Pb	KW	GF-AAS / ICP-AES / ICP-MS	0,03 - 3,00	mg/kg
Zn	KW	ICP-AES / ICP-MS	0,50 - 2,30	mg/kg

Generell wurden in den Datensätzen bis zu 16 initiale Spurenmetalle analysiert. Aus diesen wurden sieben Spurenmetalle ausgewählt, insbesondere aufgrund ihrer geochemischen Bedeutung, ihrer Werteanzahl in den Datensätzen sowie ihrem hohen Anteil von Messwerten oberhalb ihrer Bestimmungsgrenze. Geringe Datenmengen traten beispielsweise bei U, Mo, Be auf, häufige Werte unterhalb der Bestimmungsgrenzen bei Cd, Se, Tl, sodass diese und andere nicht in die statistische Analyse und die kartographischen Darstellungen einbezogen wurden.

Als weitere Daten für die Interpretation von Hintergrundgehalten werden pH-Werte, Korngrößenverteilung, Humus- und Karbonatgehalt sowie Gesamtelementgehalte mit RFA genutzt. Problematisch war, dass es aufgrund der verschiedenen Altersstufen der eingeflossenen Projekte zu unterschiedlichen Probenahmeverfahren bei der Bodenbeprobung sowie zu unterschiedlichen Nachweisgrenzen und Analysemethoden gekommen ist und damit ein Vergleich der chemischen Daten untereinander erschwert worden ist.

3.6 Substrate und Nutzungstypen

Die in dieser Arbeit verwendeten bzw. analysierten Bodenproben werden generell nach Substrat (Bodenartenhauptgruppe nach KA 5) (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 2005) und Landnutzung unterteilt. Hierbei erfolgte die Analytik der Korngrößenverteilung im Labor durch Siebung bzw. Sedimentation nach KÖHN.

Weiterhin wurden nach Vorgaben der LABO (LABO, 2017) die Tiefenstufen „Oberboden“, „Unterboden“ und „Untergrund“ als merkmalsbildendes Kriterium definiert, die sich aus der Kombination der Brprobungstiefe mit dem jeweiligen Bodenhorizont zusammensetzen.

3.7 Geodaten von Urbanisierungszentren in M-V

Zusätzlich zu den geochemischen Punktdaten wurden größere Städte bzw. urbane Räume M-V kartographisch dargestellt. Die Darstellung dieser anthropogen beanspruchten Räume kann möglicherweise Trends aufzeigen, welche in Bezug zu den Schwermetallgehalten der Bodenproben stehen. Eine umfassende und differenzierte Analyse dieser Trends war im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. In zukünftigen Projekten könnten jedoch insbesondere einzelne Schwermetallquellen betrachtet werden und mit dem Gehalt an Schwermetallen in Böden in Abhängigkeit von der Entfernung in Beziehung gesetzt werden.

3.8 Pflege der Daten und Automatisierung der Darstellung innerhalb des Geoportals des LUNG M-V

Generell soll nach Ende des Projekts eine Pflege der Daten innerhalb des Geoportals möglich sein. Hierzu sollen die Daten bzw. die kartographischen Darstellungen als shape files (bzw. ab QGIS-3.0 als Geopackages) vorliegen. Letztlich sollen neue

Ergebnisse in zukünftigen Projekten im Kartenportal des LUNG M-V aktualisiert werden können, so dass die geochemischen Informationen in Zeitintervallen aktualisiert und verdichtet werden.

4 Methodik

4.1 Aufbereitung, Verarbeitung und Quantilberechnung anhand der Ausgangsdaten

Für die weitere kartografische Darstellung der bodenchemischen Parameter mussten die Dateien zunächst aufbereitet und angepasst werden. Hierbei wurden die Beprobungspunkte der ausgewählten Spurenelemente in vier Kategorien unterteilt, die durch die Hintergrundwerte von M-V im aktuellen LABO Bericht (LABO, 2017) eingeteilt werden, nämlich die 50%- und 90%-Quantile. Ein Quantil definiert den Schwellenwert eines bestimmten Parameters. Beispielsweise definiert das 25%-Quantil den Wert, unter dem 25% aller Daten liegen. Im Umkehrschluss liegen 75% der Daten über diesem Wert. Dazu wurde in Excel eine Vergleichsformel erstellt, welche die Gehalte der analysierten Parameter an der Beprobungsstelle mit den Hintergrundwerten des LABO-Berichts (ebd.) vergleicht. Den Spurenelementen wurden der Wert 0 (keine Messung), 1 (Messung < 50% Quantil), 2 (Messung zw. 50-90% Quantil) und 3 (Messung >90% Quantil) zugeordnet. Diese Werte wurden dann in der kartographischen Darstellung farbig klassifiziert.

Für die statistische Analyse wurden Box-Whisker Plots verwendet, bei denen der Mittelwert, die einfache Standardabweichung und die 1,96fache Standardabweichung dargestellt sind.

4.2 Geographische Informationssysteme zum Auswerten und zur Erstellung von angepassten shape files (Geopackages)

Für die Aufbereitung und Umwandlung bestimmter Parameter in Bezug auf räumliche Darstellungen und Analysen wurde QGIS 2.14 verwendet. Dieses Open Source GIS Programm eignet sich auch für die Transformierung, den Import und den Export verschiedener Dateitypen sowie deren Umwandlung in andere Koordinatensysteme.

Die bodenchemischen Ausgangsdaten lagen zunächst als Excel Tabellen vor mit den Koordinatensystemen ETRS, UTM, Gauß Krüger und geographische Koordinaten (WGS 84 Ellipsoid). Einige der Standorte ($n < 10$) konnten nicht eindeutig einem Koordinatensystem zugeordnet werden und wurden daher nicht weiter berücksichtigt.

Nach dem Import in Q-GIS wurden die Dateien in shape files umgewandelt und in das Koordinatensystem 5650 (EPSG-European Petroleum Survey Group Geodesy) transformiert.

Am Ende der Transformation wurde ein einheitlicher Tabellenkopf generiert, so dass die Parameter der verschiedenen Substrate, Landnutzungen und Tiefenlagen später miteinander verknüpft werden können. Zukünftig könnten so WFS-Daten bzw. Dienste für einen Spatial Join genutzt werden, um die Abhängigkeit der

bodenchemischen Parameter von den glazialen Formen oder den Bodentypen zu erfassen.

Für die kartographischen Quantil-Darstellungen wurden automatisierte Layout-Darstellungen gewählt, zusammen mit einer Legende, Maßstab, Überschrift sowie Nordpfeil. Die Darstellung der Quantile der sieben Spurenelemente wurde über Tortendiagramme realisiert (Abb. 1).

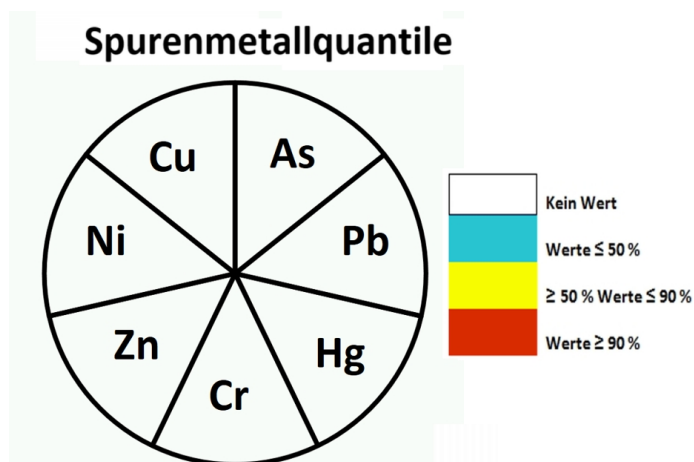


Abb. 1: Tortendiagramm aus sieben Segmenten

Bei der Kartendarstellung der oben genannten Tortendiagramme wurden nur Übersichtskarten (1:500.000) von Mecklenburg-Vorpommern zur Darstellung der Bodenproben verwendet. Die Erzeugung anderer Maßstäbe ist für andere Fragestellungen aber möglich.

Die Tortendiagramme bestehen aus 7 geordneten Tortensegmenten (eins für jedes Spurenmetall), die entsprechend dem Wert 1 – 4 eine Farbzurordnung erhalten (Tabelle 2):

Tabelle 2: Farbzurordnungen

Wert	Bedeutung	Farbzurordnung
0	kein Analysenwert vorhanden	weiß
1	Analysenwert < 50 %-Quantil	blau
2	Analysenwert zw. 50-90 %-Quantil	gelb
3	Analysenwert > 90 %-Quantil	rot

4.3 Statistische Analysen

Mittels der Gegenüberstellung ausgewählter chemischer Parameter wurde versucht, potentielle Prozesse in den Bodenproben zu identifizieren. Es wurden nicht nur Spurenmetallgehalte, sondern auch Hauptkomponenten (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ,

Humusgehalt) und andere Kenngrößen wie der pH-Wert zueinander in Beziehung gesetzt, wenn sie mit bestimmten Spurenmetallen in kausalem bzw. korrelativem Zusammenhang stehen. So zeigen sich bei sandigen Proben Verdünnungseffekte, welche sich mit Quarz bzw. dem SiO₂-Gehalt assoziieren lassen. Bei einigen Kovariationen von Hauptelementen mit Spurenmetallgehalten zeigen sich ebenfalls Korrelationen. Diese werden ausführlicher im Abschnitt Resultate und Diskussion aufgezeigt und interpretiert. Mittels des Statistik-Programms STATISTICA wurden die Daten weitergehend analysiert und kategorisiert. Generell wurden im Rahmen dieses Projektes uni- und bivariate sowie regressions-statistische Methoden eingesetzt. Dabei wurden insbesondere Box-Whisker Plots, Streudiagramme, Kovariationsdiagramme und Histogramme verwendet.

4.4 Räumliche Analyse

Für die anschließende räumliche Analyse werden verschiedene GIS-Werkzeuge von Q-GIS genutzt. Hierbei kommen vor allem Vektorwerkzeuge zum Einsatz (nearest neighbor, dissolve, union etc.). Dabei werden vor allem die Puffer-, die Vereinigen- und die Differenz-Funktion genutzt. Weiterhin können mit Q-GIS fortgeschrittene räumliche Abfragen erstellt werden, sodass eine Defizitanalyse erstellt werden konnte, in der potentielle Weißflächen (Flächen mit fehlenden Probenpunkten) generiert wurden. Shape-files von Wäldern oder anderen Gebieten, die für die Probenahme nicht genutzt werden können, werden in der räumlichen Analyse herausgefiltert. Damit können zukünftige Probennahmen- oder Untersuchungskampagnen optimiert werden.

5 Resultate und Diskussion

5.1 Bodenchemische Trends

Für den Vergleich der bodenchemischen Parameter untereinander werden Kovariationen aller Proben und zudem differenziertere Kovariationen in Abhängigkeit vom Substrat und der Landnutzung erstellt. Zudem werden die Konzentrationen der Spurenmetalle im Oberboden mit denen im Unterboden und im Untergrund verglichen (Tiefenabhängigkeit).

Eine typische Korrelation, die beobachtet werden kann, ist der Arsengehalt gegen den Fe_2O_3 -Gehalt (Abb. 2). Hier zeigt sich ein Zusammenhang zwischen dem Arsengehalt und der Adsorption dieses Schwermetalls an Eisenhydroxidphasen. Hierbei spielen insbesondere die Oxide des Eisens und Mangans beim chemischen Verhalten von Arsen in Böden eine Rolle (Alloway, 1999, S. 17).

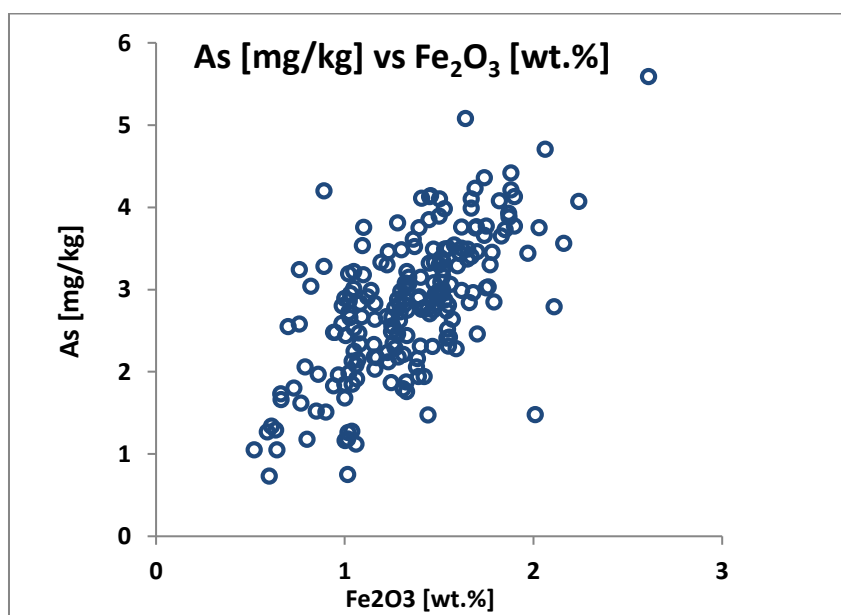


Abb. 2: As gegen Fe_2O_3 am Beispiel Sand Acker Oberboden

Bei der Kovariation von Karbonat (CaCO_3) mit den Korngrößenklassen (siehe Abb. 3) zeigen sich nur undeutliche Trends: die Tonfraktion weist eine leicht positive Korrelation mit dem Karbonatgehalt auf, während die Sandanteile leicht negativ mit dem Karbonatgehalt korrelieren. Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich in dem oben genannten Verdünnungseffekt mit SiO_2 -„Quarzsand“-Körnern zu finden.

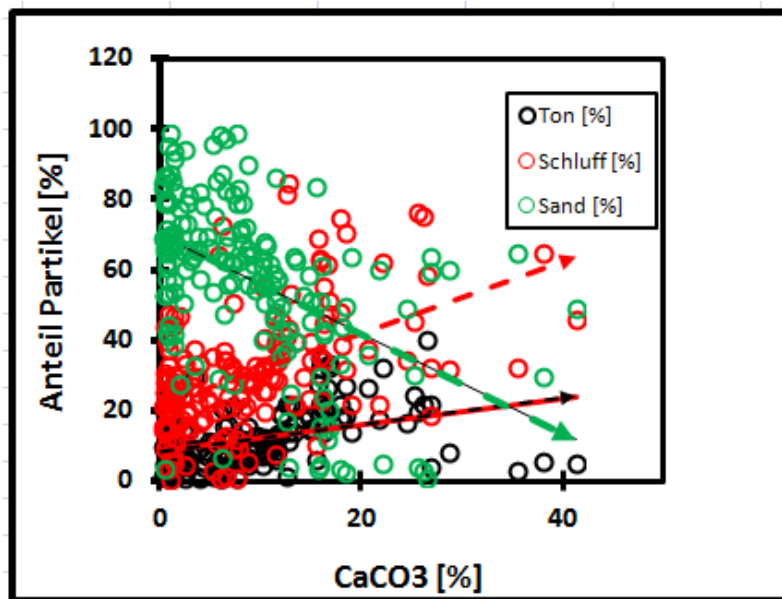


Abb. 3: Zusammenhang Korngröße gegen CaCO_3

Zudem wurden allgemeine geochemische Trends identifiziert. Hierbei fallen vor allem die Korrelationen der primären magmatischen Trends und die Kompatibilität bzw. Inkompatibilität der Spurenelemente innerhalb der verschiedenen Mineralphasen (beispielsweise Tonminerale, Rutil, Feldspäte etc.) auf (Abb. 4). Diese magmatischen Trends wurden für alle Hauptelemente sowie für die Spuremetalle durchgeführt und zeigen die typischen in der Literatur auffindbaren geochemischen Korrelationen. So wurde für Nickel und Chrom die Abhängigkeit vom Tongehalt bei unterschiedlichen Substraten dargestellt (Abb. 4). Hierbei zeigt sich generell der Trend, dass bei einer Erhöhung des Tongehalts ebenfalls eine Erhöhung der Spuremetalle Chrom und Nickel auftritt. Diese Abhängigkeit zeigt die hohe Affinität der Spuremetalle zu den Tonmineralen (Einbau in das Kristallgitter) und kann auch auf die Adsorptionseigenschaften der Tonmineralfraktion zurückzuführen sein. Weiterhin zeigt sich hierin die hohe geochemische Ähnlichkeit der Elemente Chrom und Nickel.

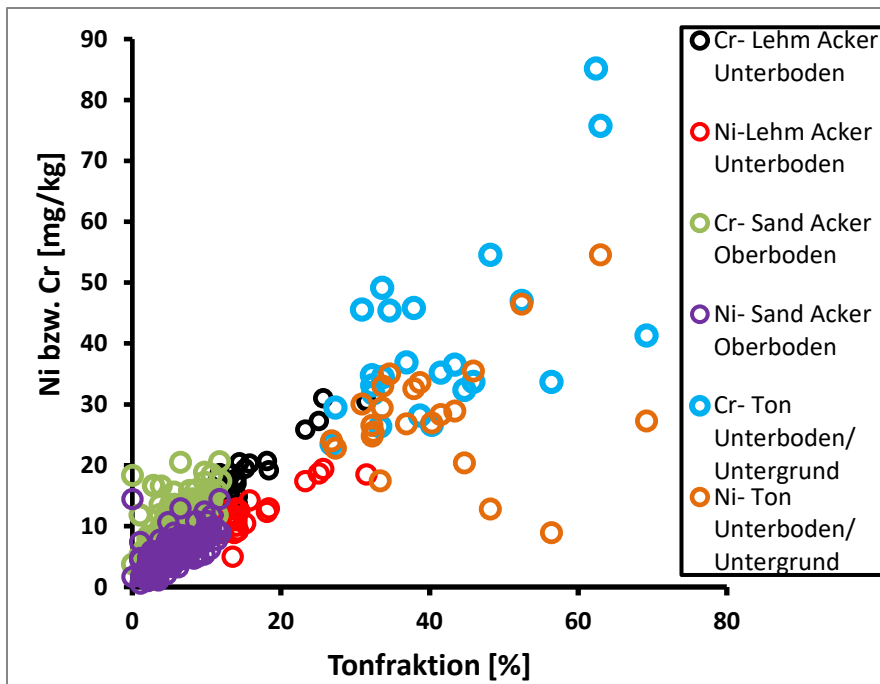


Abb. 4: Korrelationen zw. Tonfraktion und Cr-, Ni-Gehalt bei verschiedenen Substraten

Die negative Korrelation zwischen Fe_2O_3 und SiO_2 (siehe Abb. 5) zeigt deutlich die Inkompatibilität des großen Fe-Atoms gegenüber dem kleinen Si-Atom, wobei zum einen Si-reiche Mineralphasen mit kaum Fe vorhanden sind (Quarz, Feldspäte), zum anderen Fe-reiche Phasen mit wenig Si (Limonit, Biotit, Chlorit), die auch schwerpunktmäßig in unterschiedlichen Korngrößenfraktionen vorkommen.

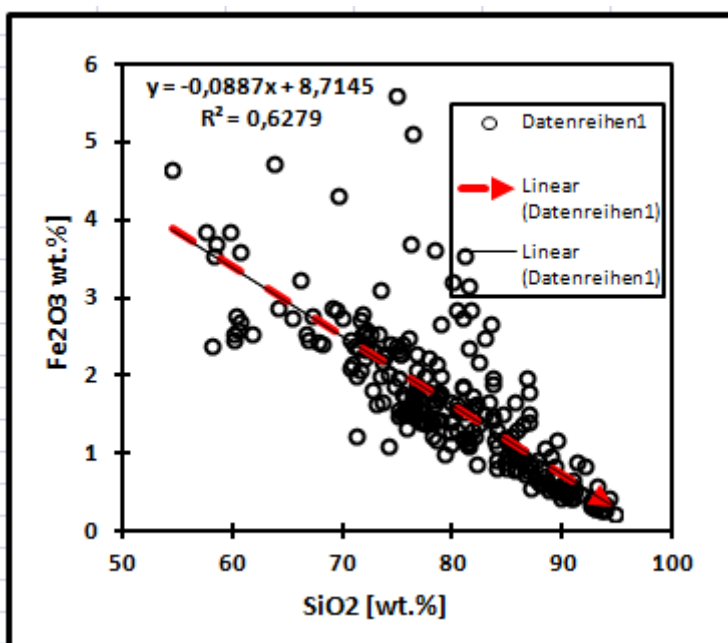


Abb. 5: Korrelation der Hauptkomponenten SiO_2 und Fe_2O_3

Auf stärker differenzierte geochemische Korrelationen, die weitere Parameter (wie Humusgehalt, Vegetationsart etc.) berücksichtigen, kann im Rahmen dieses Berichts nicht eingegangen werden. Für weiterführende Informationen sei an dieser Stelle auf

Alloway (Alloway, 1999) und Scheffer und Schachtschabel (Scheffer/Schachtschabel, 2018) verwiesen.

5.2 Desriptive Statistik (Box-Plots, Konfidenzintervalle)

5.2.1 Allgemeine Trends und Rahmenbedingungen

Für die statistische Darstellung der Spurenelemente werden Box-Whisker Plots verwendet (Siehe Abb.6 bis Abb. 26). Dabei werden der Mittelwert, die Standardabweichung und die 1,96-fache Standardabweichung erfasst. Diese werden mit Daten aus der Literatur (Alloway, 1999) verglichen, die häufig in die Box Whisker eingetragen werden. Vereinzelt werden zum Vergleich auch Vorsorge- und Prüfwerte der BBodSchV herangezogen. Da es sich bei den Proben aller hier behandelten Böden um nur diffus verunreinigte Böden handelt, ist ein Vergleich mit höher kontaminierten Gehalten nicht zielführend.

Für einige Hauptelemente und den pH-Wert werden ebenfalls Box-Whisker Plots erstellt, insofern sie Einfluss auf die Schwermetallgehalte in den einzelnen Bodensubstraten und Nutzungen haben könnten.

5.2.2 Arsen (As)

In Abb.6 sind die substratabhängigen Gehalte von As dargestellt. Hierbei zeigt sich eine Erhöhung des Mittelwertes von sandigem, über lehmigem bis hin zu tonigem und torfigem Material. Diese Trends finden sich auch in der Literatur wieder, wobei tonige Gesteine und Phosphorite durchschnittliche Gehalte von 10-15 mg/kg besitzen; bei den meisten Erstarrungs- und Sedimentgesteinen liegen die Werte weitaus niedriger bei ca. 2 mg/kg (Alloway, 1999, S. 114). Weitere derartige Trends finden sich ebenfalls in Böden, wobei beispielsweise in tonigen Böden weitaus höhere Gehalte als in sandigen Böden vorliegen. Bei einer umfassenden Untersuchung von 2691 nicht verunreinigten Böden ergab sich eine durchschnittliche Arsenkonzentration von 10 mg/kg ((Alloway, 1999) S. 114), , die auch innerhalb der Spanne der M-V-typischen Gehalte liegt.

In sandigen Substraten zeigt sich, dass die Mittelwerte von Arsen in den Oberböden der sandigen Standorte im Vergleich zu den Unterböden und dem Untergrund leicht erhöht sind (Abb.7). Hierbei können atmosphärische Depositionen eine Quelle der leicht erhöhten Arsengehalte in den Oberböden darstellen. Ergänzende und weiterführende Information zur Geochemie und dem Verhalten von Arsen in Böden, in Wechselwirkung mit anderen Kompartimenten wie beispielsweise Pflanzen, werden in Alloway (Alloway, 1999) behandelt.

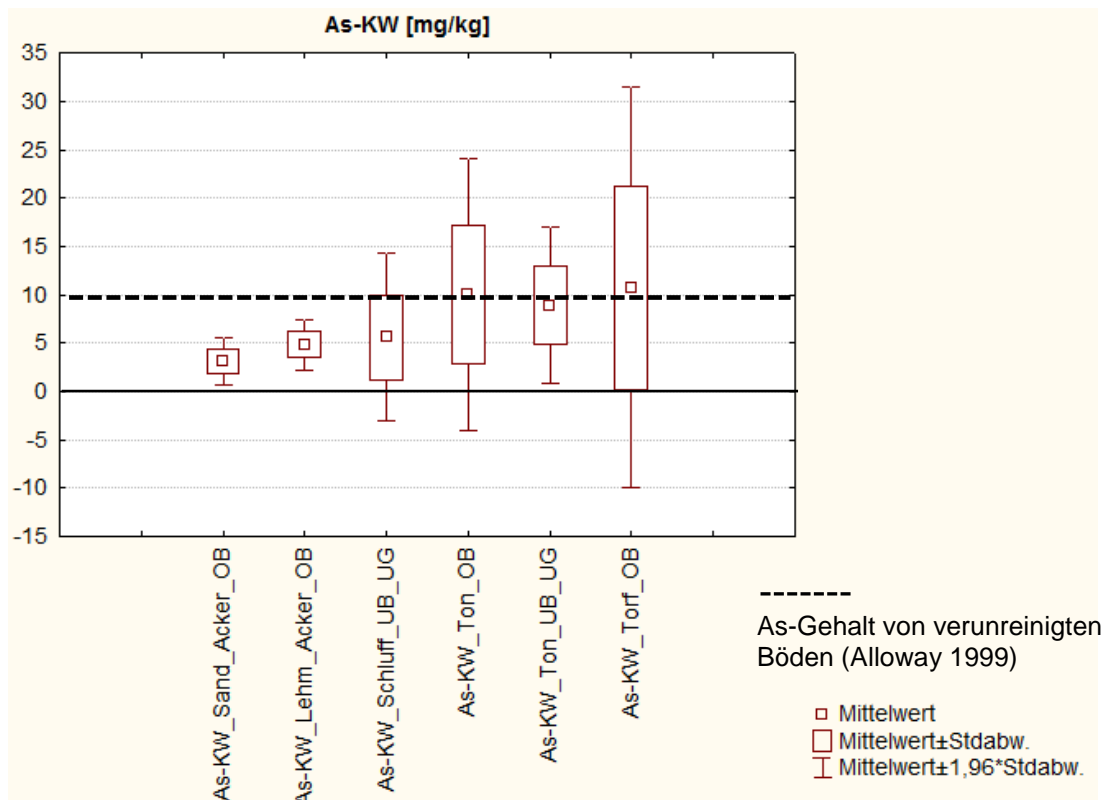


Abb.6: As-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

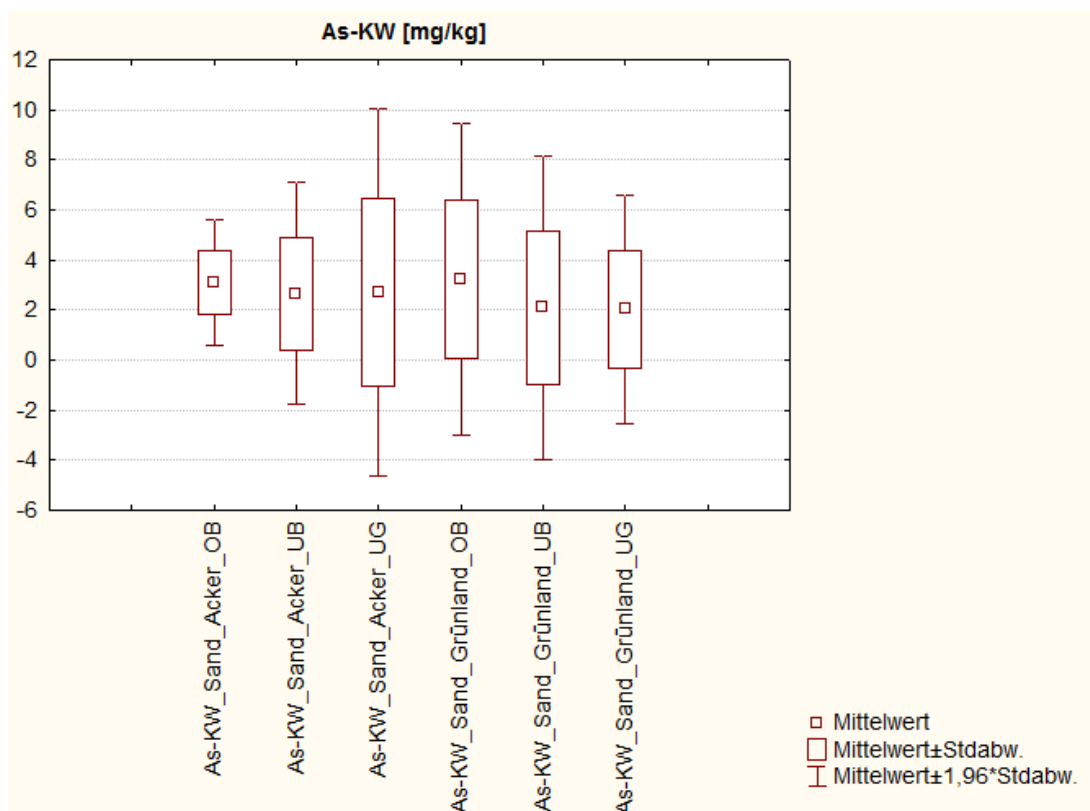


Abb.7 As-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.2.3 Nickel (Ni)

Nickel weist in der Erdkruste eine durchschnittliche Konzentration von 75 mg/kg auf (Alloway, 1999, S. 186 - 187), bei der Bodenbildung kommt es zu einer Verringerung der Nickelgehalte, wobei die durchschnittlichen Werte bei ca. 20 mg/kg liegen (ebd. S. 188). Dabei sind die Nickelgehalte der Böden stark vom Ausgangssubstrat abhängig (Ø 2 mg/kg in Sandsteinen über 68 mg/kg in Tonsteinen bis zu 2000 mg/kg in ultrabasischen Ausgangsgesteinen).

Dementsprechend zeigt sich auch bei Nickel, wie entscheidend das initiale Ausgangsmaterial die Konzentration der Spurenelemente beeinflusst. In den erzeugten Box-Whisker Plots zeigen die statistischen Nickelwerte eine Abhängigkeit vom Substrat, mit hohen Werten bei Ton zu geringeren Werten bei den Sand- und den Torf-Proben. Mittlere Werte zeigen die Proben der lehmigen und schluffigen Substrate (Abb 8). Grund hierfür ist der abnehmende Tonmineralgehalt ausgehend von Ton über Schluff und Lehm hin zu den geringen Werten in Sanden.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV bilden diese geogenen Unterschiede ebenfalls ab: Tone besitzen den größten Vorsorgewert mit 70 mg/kg, Lehm/Schluff mit 50 mg/kg einen mittleren und Sand mit 15 mg/kg den kleinsten Wert.

In den sandigen Substraten ist kein eindeutiger Tiefentrend zu beobachten (Abb. 9). Das zeigt, dass die Ni-Gehalte in M-V primär auf geogene und nur untergeordnet auf anthropogene Quellen zurückzuführen sind.

Die Geochemie und Petrologie von Nickel und Chrom sind auf Grund ähnlicher Ionenradien auch ähnlich. Deshalb sind vergleichbare Trends auch in den Cr-Gehalten zu erwarten. Diese Ähnlichkeit wird in Alloway (Alloway, 1999, S. 183) näher beleuchtet. Dabei zeigt sich zudem die enge Korrelation zu weiteren kompatiblen Elementen wie Kupfer, Zink, Magnesium und Eisen auf der einen Seite und wenig kompatiblen Elementen wie Calcium oder Silizium auf der anderen Seite.

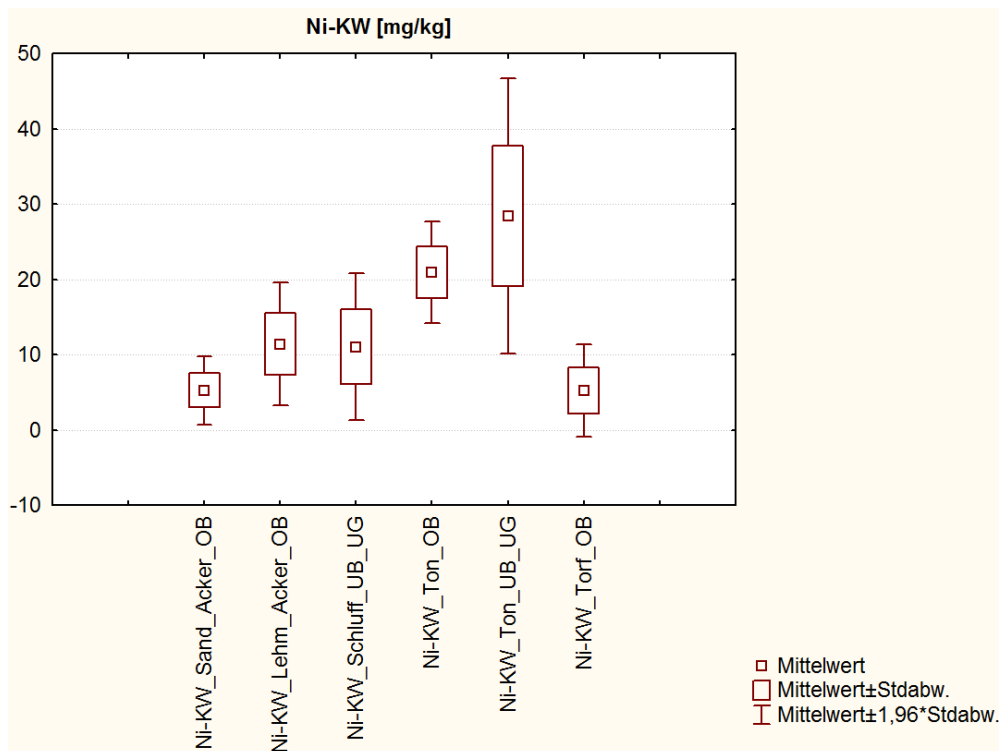


Abb 8: Ni-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

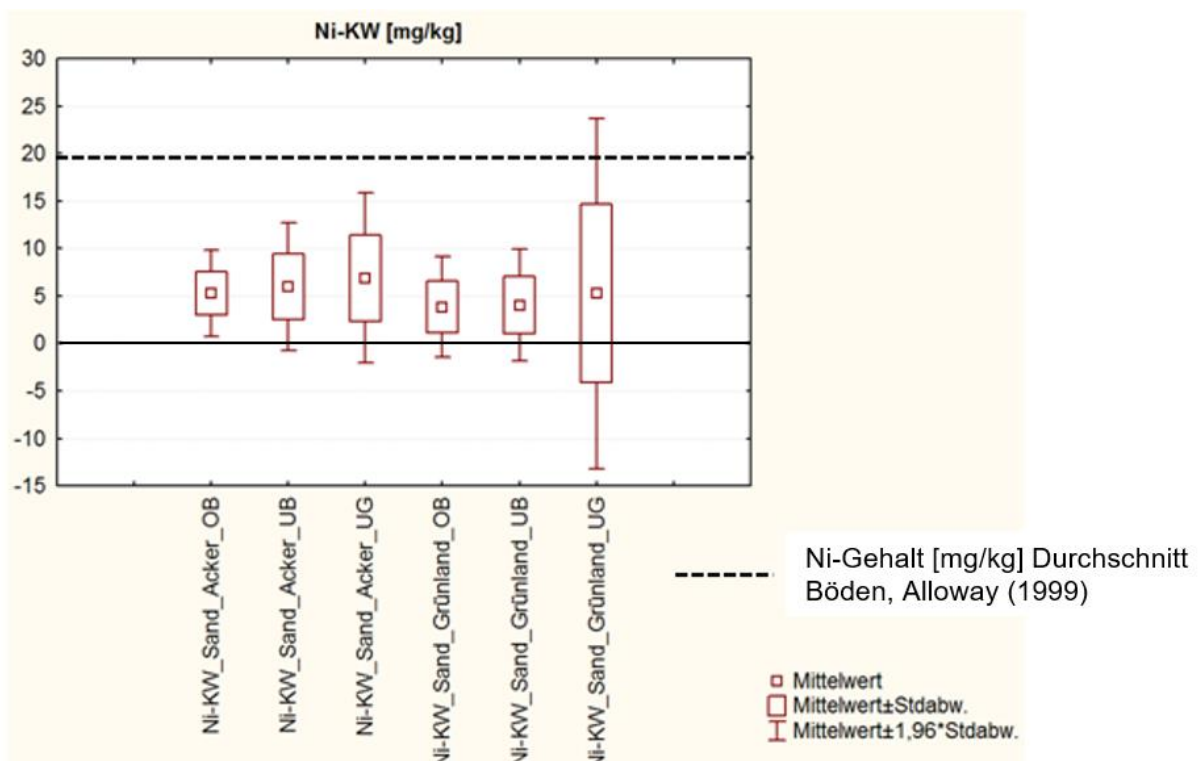


Abb. 9: Ni-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.2.4 Chrom (Cr)

Chrom weist innerhalb der Erdkruste einen durchschnittlichen Gehalt von ca. 100 mg/kg auf mit einer großen Spanne in Abhängigkeit von der Gesteinsart. Gesteine mit hohen Eisengehalten besitzen auf Grund der geochemischen Ähnlichkeit auch

hohe Chromgehalte (vgl. Ni). Eisenarme Gesteine wie Kalksteine haben die geringsten Chromgehalte mit ca. 10 mg/kg, Sandsteine ca. 20 mg/kg. Tone besitzen höhere Eisengehalte im Kristallgitter und haben daher auch höhere primäre Chromgehalte (ca. 120 mg/kg). Wie bei Ni sind auch hier die höchsten Gehalte in ultrabasischen Erstarrungsgesteinen zu finden mit ca. 1800 mg/kg.

Statistische Analysen von Bodenproben aus Wales weisen unterschiedliche 50 %-Quantile mit Abhängigkeit vom betrachteten Substrat auf. Hierbei zeigen tonige Böden relativ hohe (59 mg/kg,) und torfige Proben geringe Werte (12.2 mg/kg) (Alloway, 1999, S. 189). Diese Trends weisen eine hohe Korrelation zu den Analysen dieses Projekts auf (siehe Abb. 10) und können auf den Anteil der Tonminerale im Gesamtsubstrat zurückgeführt werden.

Die Chrom-Konzentrationen wurden aus Königswasser-Extrakten analysiert und sind daher nur bedingt mit Literaturwerten vergleichbar. Nach eigenen Untersuchungen und z.B. (Hornburg, 2002) werden dadurch nur ca. 50-60 % des gesamten im Boden befindlichen Chroms in Lösung gebracht und analysiert. Daher sind die eigenen Befunde im Vergleich mit den Literaturangaben, die sich auf Totalgehalte beziehen, systematisch niedriger.

Die Box Plots, die die Tiefenstufen der sandigen Substrate abbilden, zeigen in den Oberböden etwas höhere Mittelwerte, die sich mit abnehmender Tiefe leicht verringern (Abb. 11). Hierbei könnten atmosphärische Depositionen oder Einflüsse der Bewirtschaftung (z.B. Zufuhr von Wirtschaftsdünger) eine Rolle spielen.

Zusammenfassend zeigen die eigenen Ni- und Cr-Gehalte der Proben eine hohe Relation zu Werten und Quellen aus der Literatur. Es zeigt sich auch eine hohe Korrelation von Nickel und Chrom in den Bodenproben, so dass die Geochemie als sehr ähnlich beschrieben werden kann.

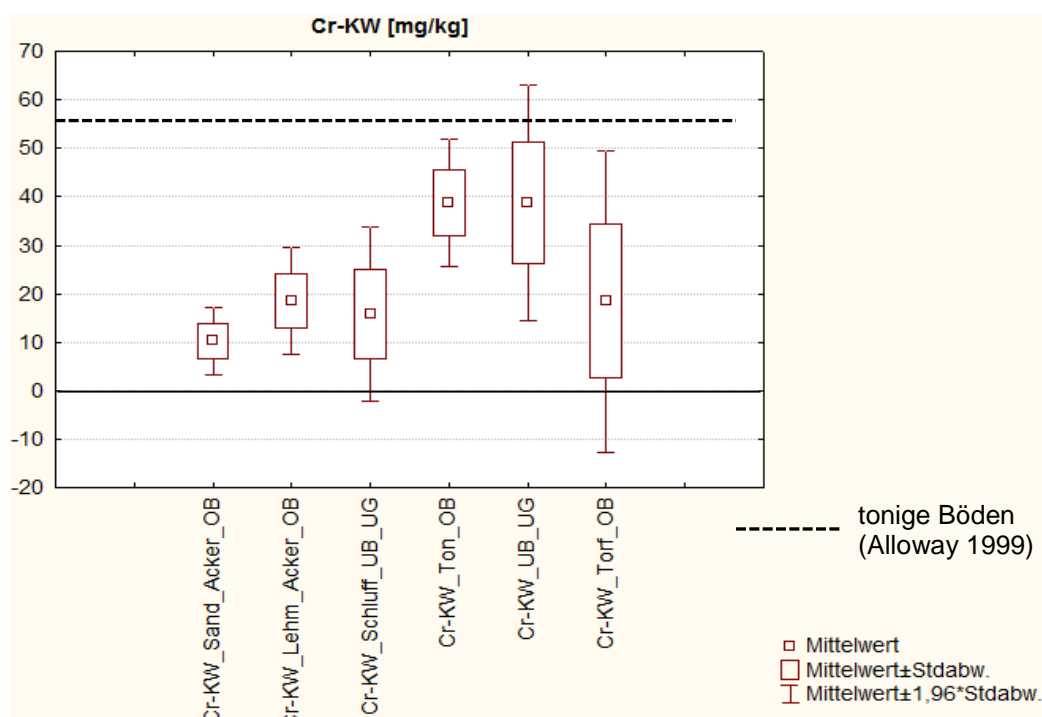


Abb. 10: Cr-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

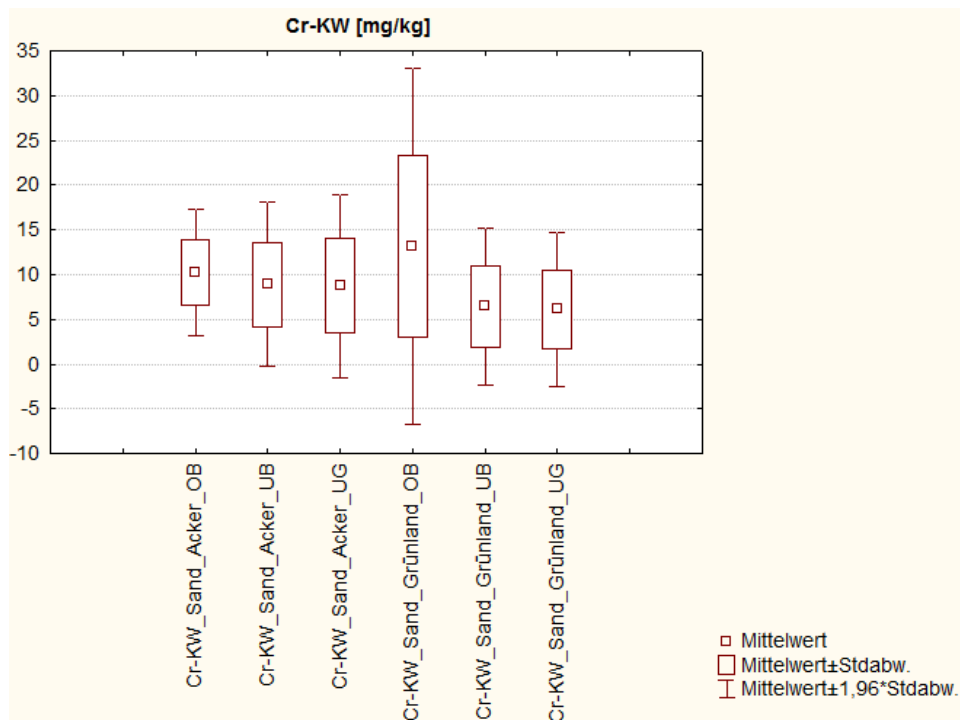


Abb. 11: Cr-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.2.5 Blei (Pb)

Der durchschnittliche Wert der Erdkruste liegt bei ca. 6 mg/kg (Alloway, 1999, S. 132). In schottischen Böden wurden Pb-Konzentrationen mit einem Median von 13 mg/kg für mineralische Böden und einem Median von 30 mg/kg für organische Böden bestimmt.

In Abb. 12 ist die Bleiverteilung der Proben aus M-V im Hinblick auf verschiedene Substrate dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass die höchsten Gehalte in tonigen und torfigen Proben vorliegen. Dieser Trend kann zum einen auf die Adsorptionsfähigkeit von Blei an organischem Material, zum anderen auf die tonmineralogische Struktur zurückgeführt werden, da Blei wegen seines großen Ionenradius gut in das Kristallgitter K-haltiger und Ca-haltiger Tonminerale passt. Zusammenfassend liegen die Literaturdaten innerhalb der Schwankungsbreite der Mittelwerte bzw. der Mediane, der analysierten Proben (siehe Abb. 12) und können somit als wenig verunreinigt gelten.

Um neben dem Einfluss des Substrats auch Unterschiede in der Tiefe und mögliche Effekte der Landnutzung statistisch zu erfassen, werden die Pb-Gehalte der Sandböden in den drei Tiefenstufen und den Landnutzungen Acker und Grünland gegenübergestellt (Abb. 13). Im Vergleich der Landnutzung Grünland – Acker zeigen sich fast keine Unterschiede. In der Tiefenabhängigkeit ist aber bei beiden Landnutzungen ein ausgeprägtes und vergleichbares Verhalten zu sehen: In den Oberböden ist Blei um den Faktor 2-3 gegenüber dem Untergrund angereichert, was auf einen hohen atmosphärischen Input und eine gleichzeitig hohe Fixierung am Humus des Oberbodens schließen lässt.

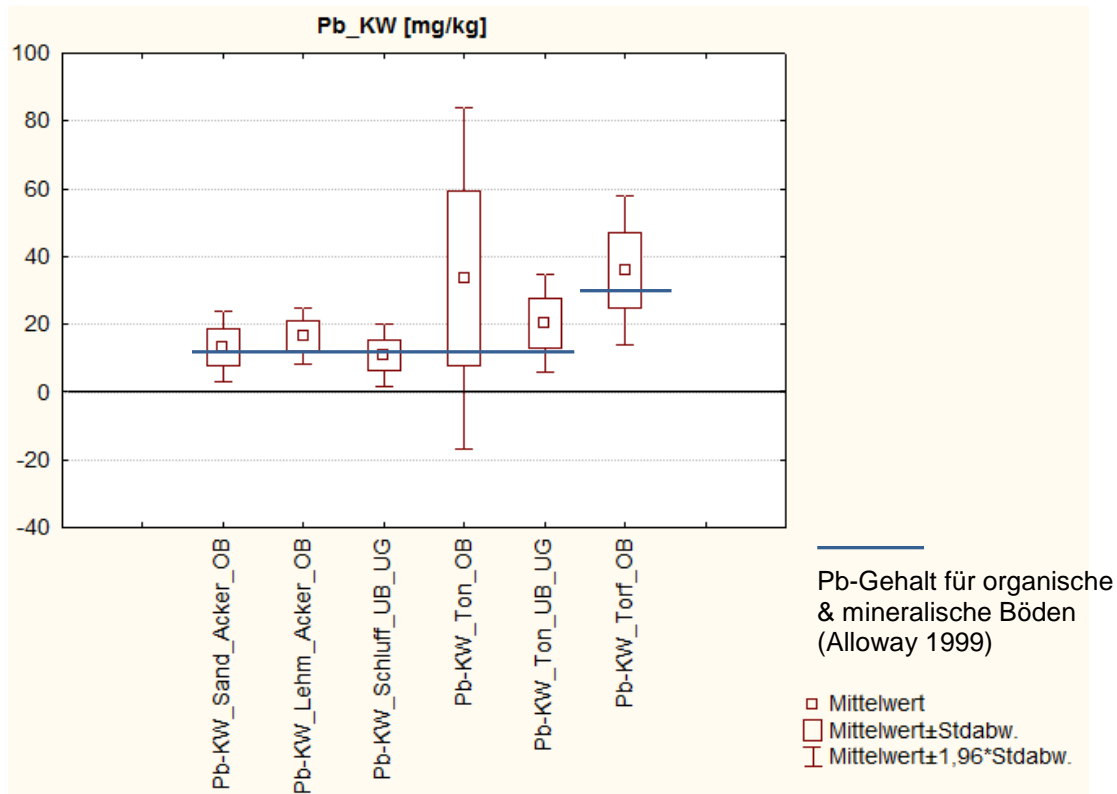


Abb. 12: Pb-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

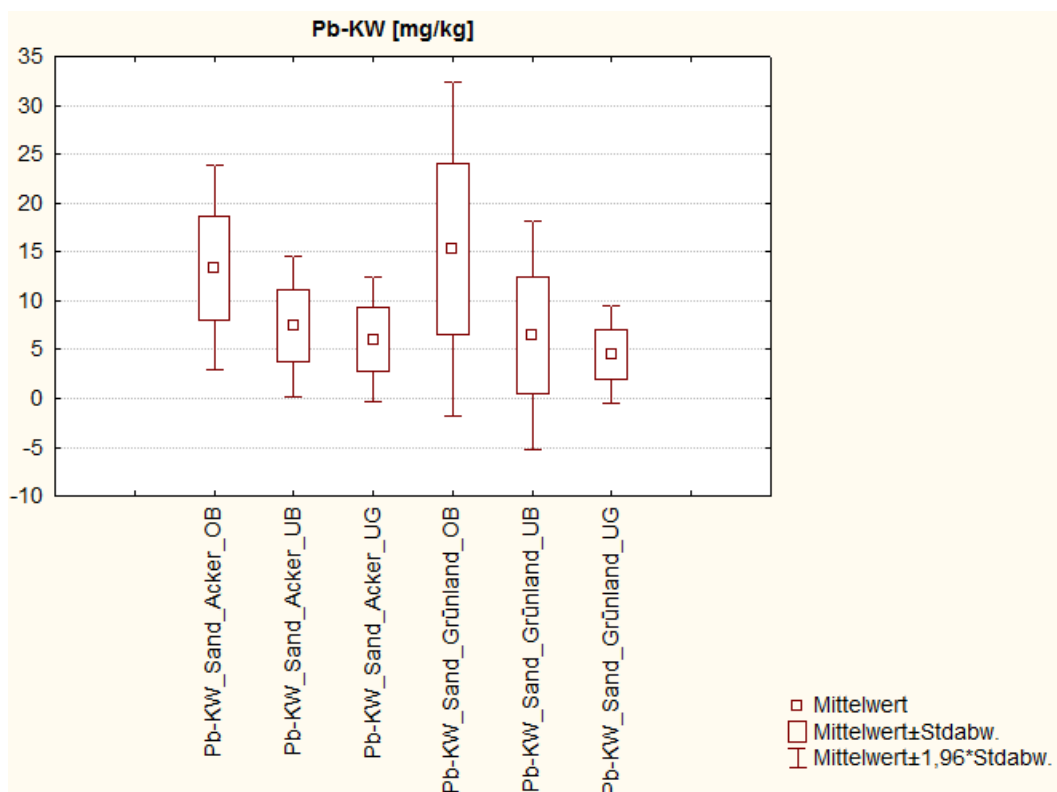


Abb. 13: Pb-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.2.6 Kupfer (Cu)

In Gesteinen schwankt der geogene Kupfergehalt im Bereich 4 – 200 mg/kg. Die geringsten Gehalte sind in Sand- und Kalksteinen sowie Graniten zu finden (4-30

mg/kg); hohe Gehalte liegen in Ton- und Schwarzschiefern vor (20-200 mg/kg). Die durchschnittliche Konzentration von Kupfer in Böden liegt bei 20-30 mg/kg (Abb. 14). Im normalen pH-Bereich stellt Cu(II) die vorherrschende Spezies dar.

Organische Substanzen können Kupfer effektiv im Boden binden, wobei die Bindung in Form von Carboxylgruppen als Komplexlignanden erfolgt (Alloway, 1999, S. 212).

Entsprechend den Literaturdaten weisen auch die untersuchten Proben höhere Gehalte in tonreichen und torfigen Substraten auf, was zum einen für erhöhte primäre Gehalte in Tonmineralen und zum anderen für Sorptionsprozesse an organischem Material (beispielsweise Humine, Huminstoffe, Fulvosäuren) spricht.

Beim Vergleich der durchschnittlichen Cu-Gehalte unterschiedlicher Tiefenstufen und Nutzungen im sandigen Substrat (Abb. 15) fallen leicht erhöhte Werte in den Oberböden in Relation zu Unterböden und Untergrund auf. Dieser Trend ist möglicherweise auf Zufuhr von Quellen mit erhöhten Kupfergehalten zurückzuführen wie Klärschlämme oder Düngemittel oder auf atmosphärische Einträge. Das Kupfer wird dann im Oberboden durch den Humusgehalt fixiert.

Zusammengefasst zeigt sich in den Ergebnissen, dass die primären geochemischen Gehalte von Kupfer gegenüber den diffusen anthropogenen Quellen wie atmosphärischer Deposition oder Klärschlämmen überwiegen.

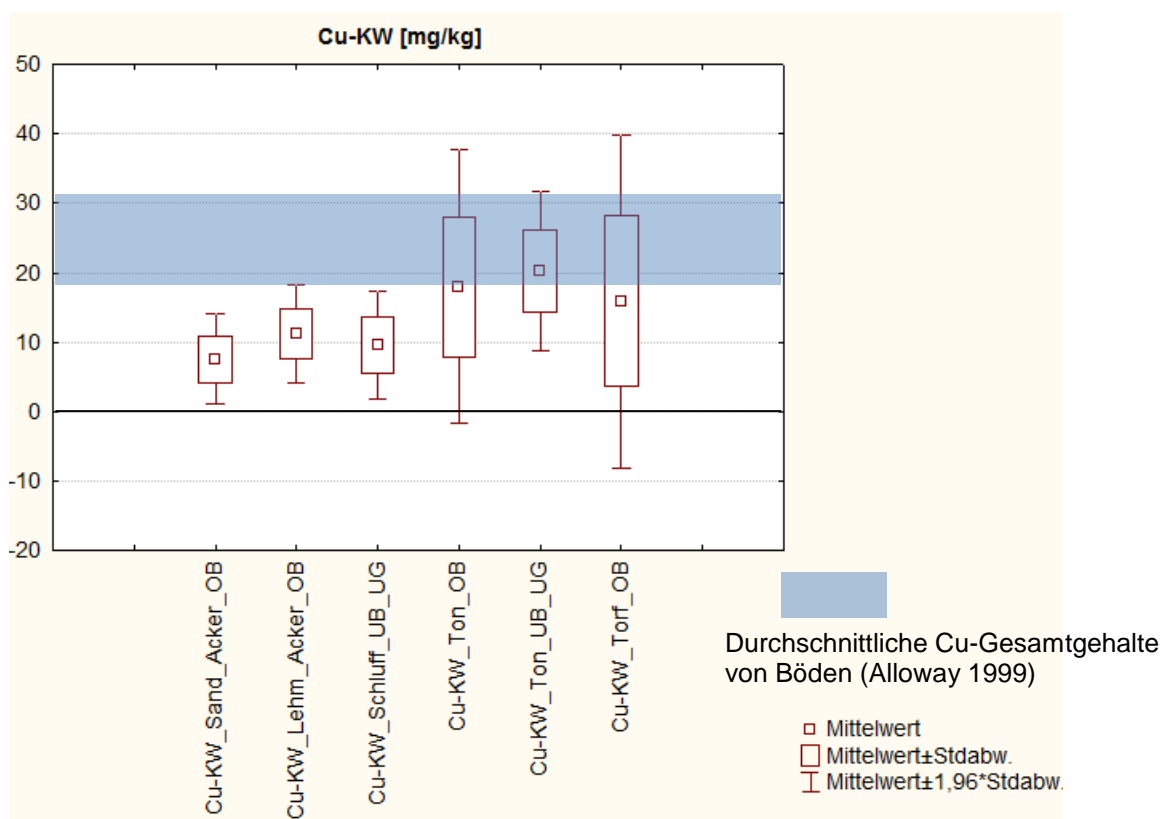


Abb. 14: Cu-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

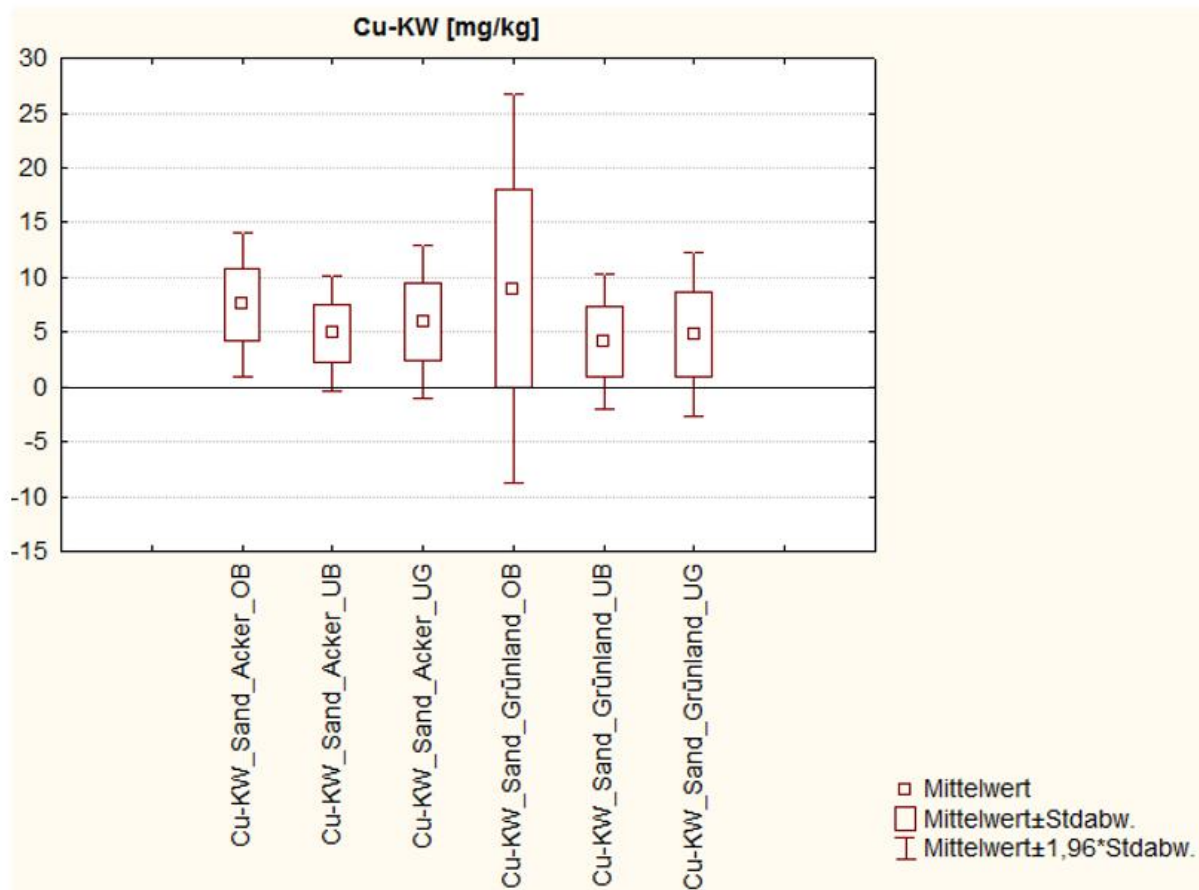


Abb. 15: Cu-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.2.7 Quecksilber (Hg)

Der Quecksilbergehalt von Gesteinen ist im Allgemeinen sehr gering, er liegt häufig bei Gehalten $< 30 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Alloway, 1999), wobei Sedimentgesteine etwas höhere Gehalte aufweisen als magmatische Gesteine. Eine Übersicht der Quecksilberkonzentration der wichtigsten Gesteinstypen ist in Alloway (ebd., S.269) aufgelistet.

Der Vergleich mit den analysierten Hg-Gehalten zeigt erhöhte Konzentrationen in den tonigen und torfigen Materialien, vor allem in den Oberböden (Abb. 16). Eine Ursache hierfür ist die starke Komplexbildung an Huminstoffen aus dem Humus und in den Torfen vermutlich eine starke Fixierung an Sulfidbindungen.

Bei der Gegenüberstellung von sandigen Substraten mit unterschiedlicher Landnutzung und verschiedenen Tiefen zeichnet sich ein Trend ab zu einer Erhöhung der Gehalte in den Oberböden sowohl bei Acker- als auch bei Grünlandnutzung (Abb. 17). Eine Hauptursache für die Zunahme der Hg-Konzentrationen im Oberboden liegt in der atmosphärischen Deposition von Quecksilber, das über die Verbrennung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre gelangt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, das Quecksilber relativ geringe Gehalte in den betrachteten Sedimenten aufweist. Quellen wie Klärschlämme scheinen keine wesentliche Rolle bei den beobachteten Konzentrationen zu spielen.

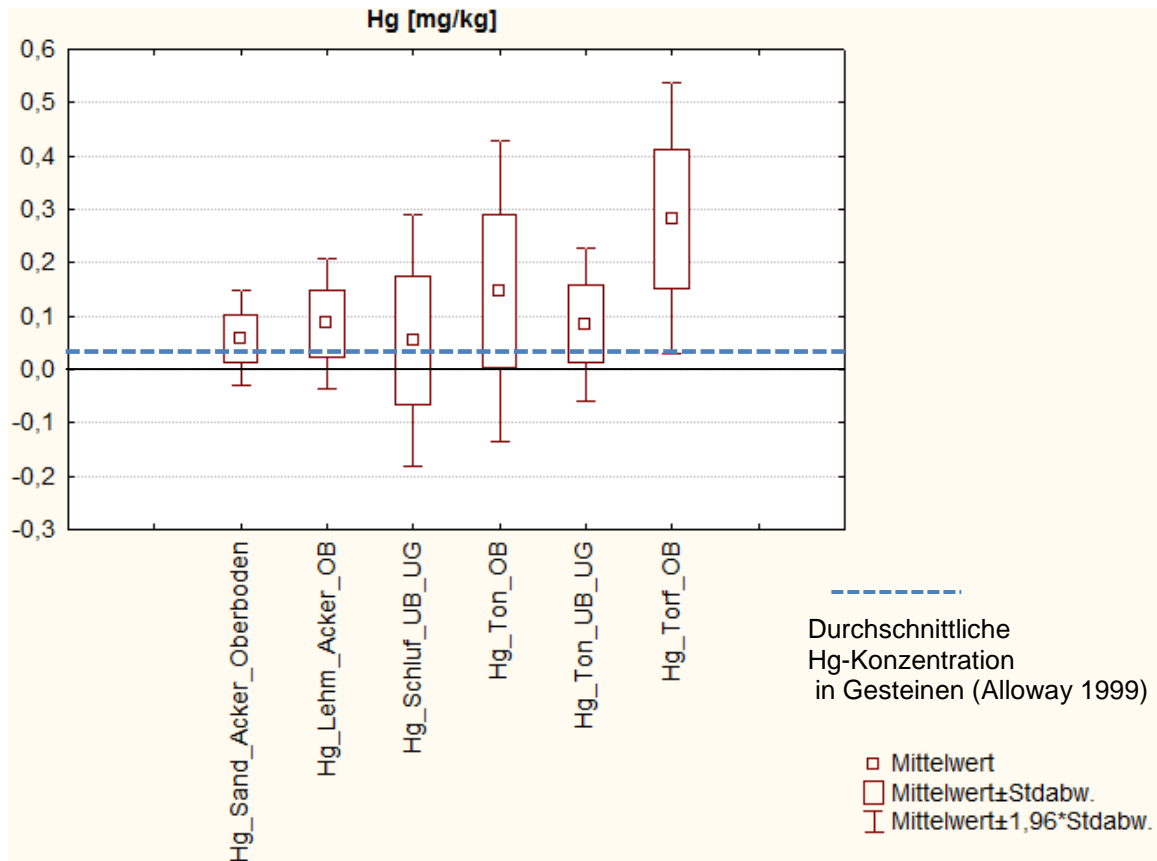


Abb. 16: Hg-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

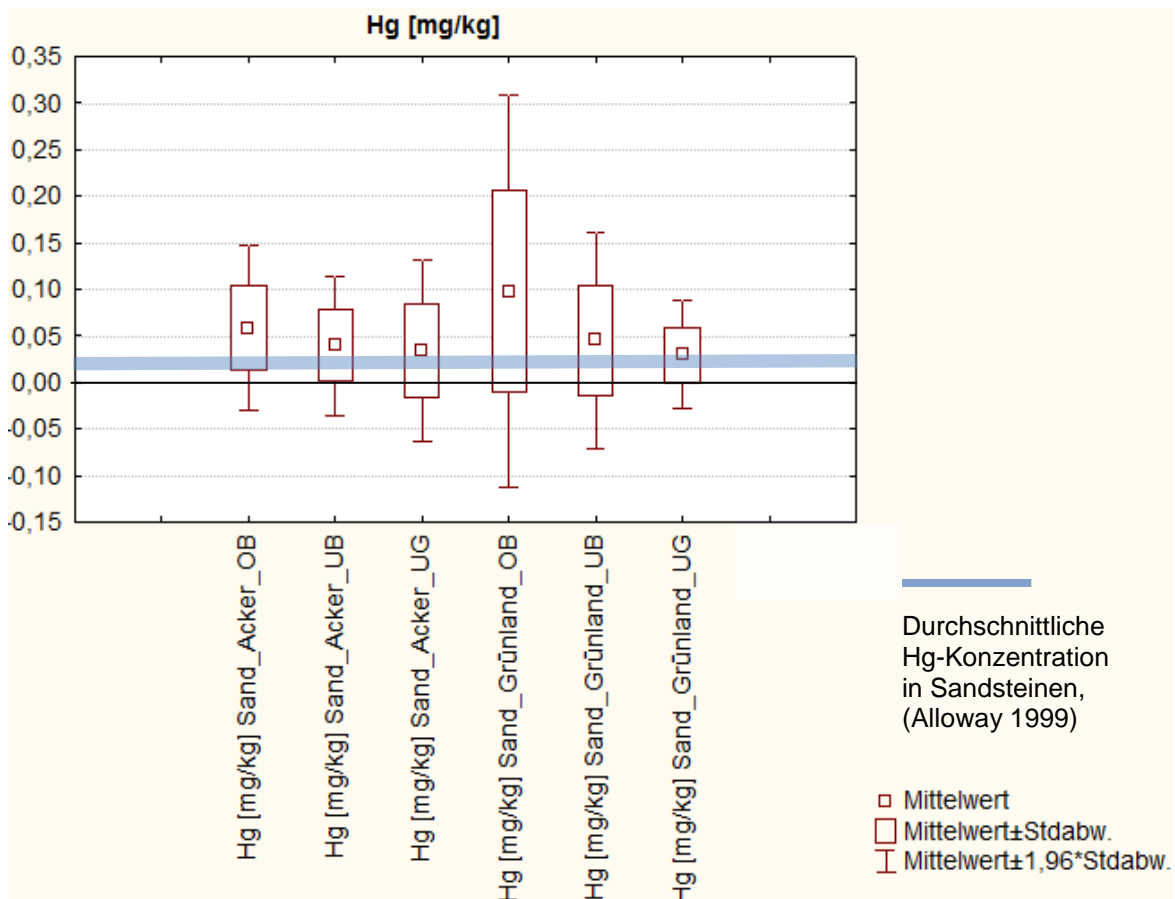


Abb. 17: Hg-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.2.8 Zink (Zn)

Der Gesamtgehalt eines Bodens an Zink hängt vor allem von der Zusammensetzung des Bodenausgangsmaterials ab. Sandsteine und Kalksteine besitzen meist 15-20 mg/kg Zn, Granite 40-60 mg/kg, Basalte und Tonschiefer um 100 mg/kg. Die Spannweite der Gesamtgehalte von Zink in Böden ist recht groß und liegt zwischen 10 und 300 mg/kg, bei einem Durchschnitt von 50 mg/kg (Alloway, 1999).

Beim Betrachten der Zn-Gehalte in Abb. 18 zeigt sich wie bei den Sedimentgesteinen ein Anreicherungstrend von sandigem zu tonigem Material. Ursache hierfür ist der ähnliche Ionenradius wie der von Eisen, so dass Zink in die Gitter Fe-haltiger Tonminerale wie Chlorit oder Illit eingebaut werden kann. Weiterhin können auch Adsorptionsprozesse an Tonmineralen eine Rolle spielen.

Darüber hinaus zeigt sich in Abb. 19 eine leichte Erhöhung der Zn-Gehalte in den sandigen Oberböden im Vergleich zu den Unterböden und dem Untergrund. Dieser Trend kann auf atmosphärische Deposition zurückzuführen sein (Alloway, 1999, S. 311), aber auch durch die Zufuhr von z.B. Düngemitteln. Der Anteil dieser potentiellen Quellen ist aber bei der vorhandenen Datenlage nicht abschätzbar.

Spezifischere Trends der geochemischen Signatur der verschiedenen Bodenproben sind nur durch eine umfangreiche und spezifische Untersuchung der einzelnen Standorte unter Anwendung einer sorgfältigen Identifizierung und Abschätzung von Quellen, Senken, Prozessen, Horizontbestimmung und Tiefenbestimmung, möglich.

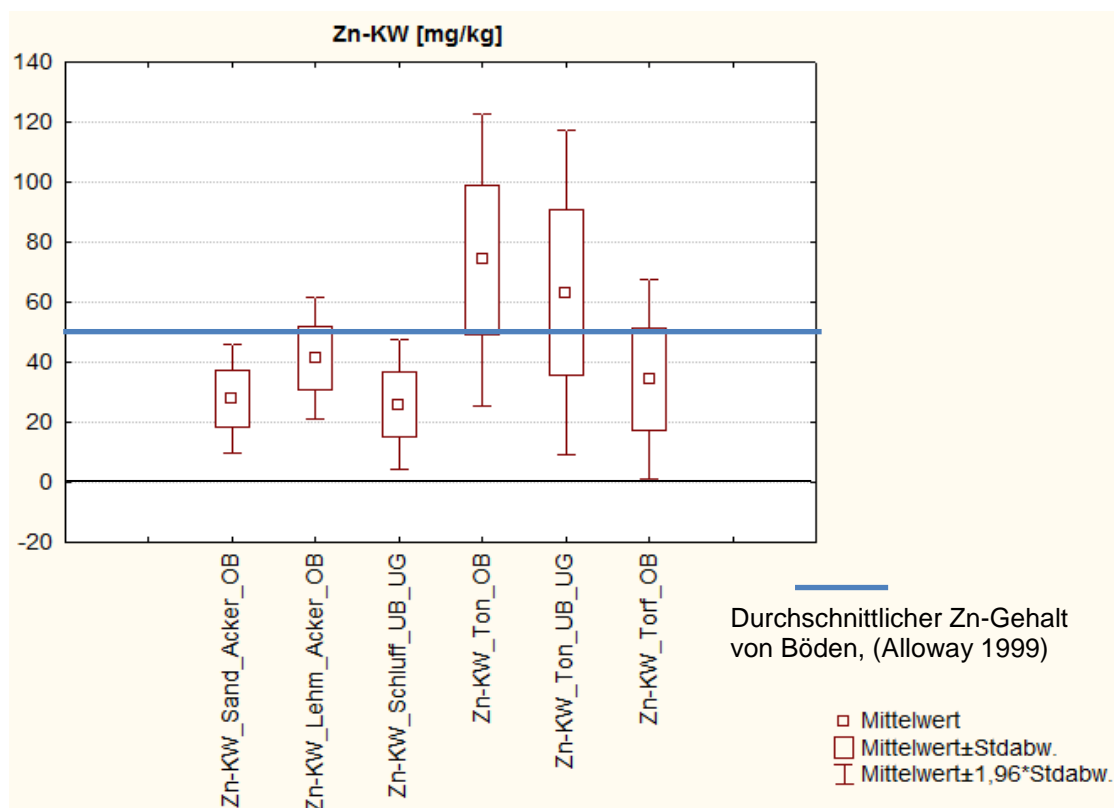


Abb. 18: Zn-Gehalt unterschiedlicher HGW-Gruppen von Böden in M-V

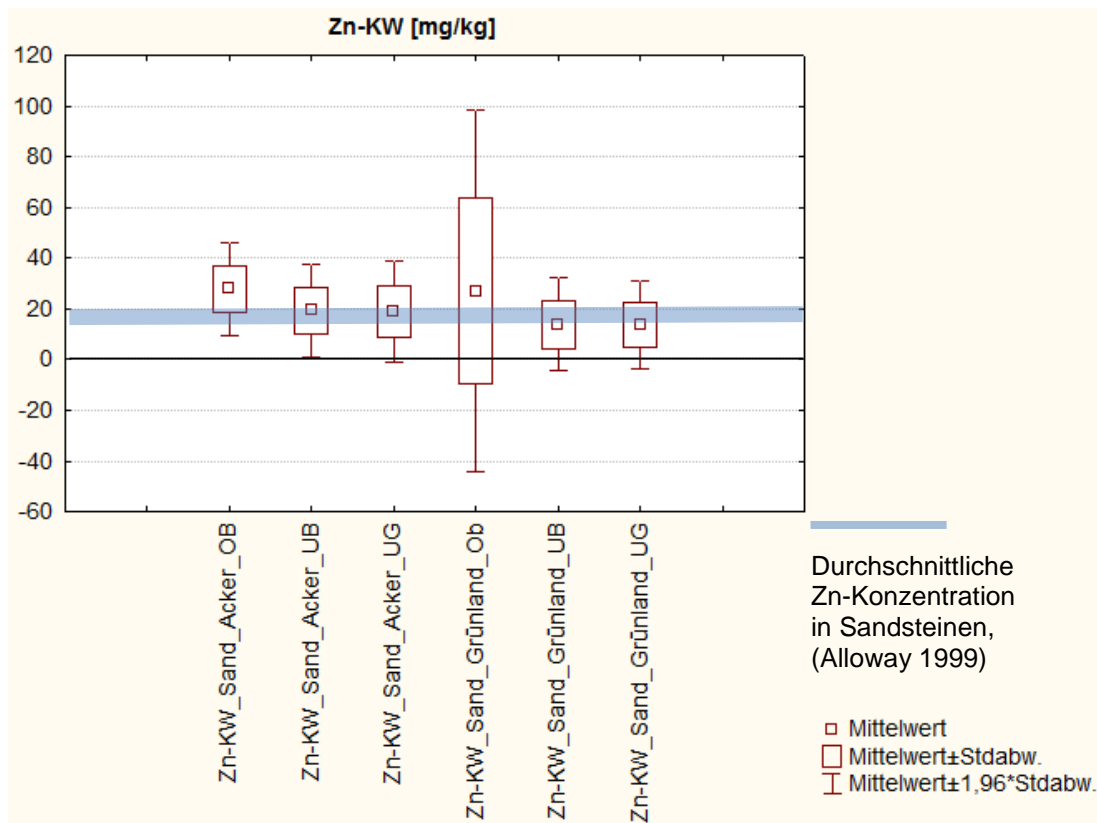


Abb. 19: Zn-Gehalt unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

5.3 Statistik von Hauptelementen und weiteren Parametern

Ergänzend zur statistischen Verteilung der Schwermetallgehalte wurden auch Hauptelemente statistisch erfasst (Abb. 20 bis Abb. 23) sowie einige andere Parameter wie der pH-Wert (Abb. 25 und Abb. 26). Hierbei wurden die einzelnen Parameter im Hinblick auf Substrat und Landnutzung differenziert.

Als Ergebnis dieser Gegenüberstellung ergeben sich auch zu erwartende Trends, wie erhöhte Humusgehalte oder geringere pH-Werte in den Torfproben (Abb. 26). Zudem zeigen die SiO₂-Gehalte erhöhte Konzentrationen in den mineralischen sowie geringe Gehalte in den organischen Fraktionen (Torfe) (Abb. 20). Augenfällige Trends sind auch erhöhte Al₂O₃- und F₂O₃-Gehalte der Tonproben (Abb. 21 und Abb. 22), welche auf die chemisch-mineralogische Struktur der Tonminerale zurückgeführt werden kann. Darüber hinaus zeigt sich in den Proben eine Erhöhung der CaO-Gehalte, vor allem in den torfigen Böden und im Unterboden/Untergrund. Geringe CaO-Gehalte sind in den Oberböden zu finden (Abb. 23). Hier zeigt sich der Prozess der Entkalkung durch kohlensaures Regenwasser, der im Oberboden schon abgeschlossen ist, wohingegen in größeren Tiefen noch primäre Karbonate vorhanden sind. Dieser Effekt ist auch gut im pH-Werte-Vergleich der Tiefenstufen zu erkennen (Abb. 25), in der man den kontinuierlichen Anstieg zum Untergrund hin sieht. Der pH-Wert auf Acker ist zudem bei gleichem Substrat nutzungsspezifisch höher, da hier regelmäßig Kalk zugeführt wird, um den pH-Wert im Optimum zu halten (Abb. 25).

Die hohen CaO-Gehalte der Torfe sind auf Sulfate und Phosphate der Niedermoortorfe zurückzuführen, die im mineralischen Anteil enthalten sind.

Generell zeigt sich in den Daten der Hauptelemente eine starke Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung sowie dem Anteil von mineralischem (Sand, Lehm) und organischem Material (Torf).

Die Variation der Hauptkomponenten ist zwischen den Substraten größer als innerhalb des gleichen Substrats bei unterschiedlicher Landnutzung. Einige der Spurenelemente sind eng an die Gehalte der Hauptkomponenten gekoppelt, beispielsweise zeigt sich eine positive Korrelation zwischen dem Eisenhydroxidgehalt und dem Arsengehalt im Boden (vgl. Abb. 2 im Abschnitt 5.1 Bodenchemische Trends).

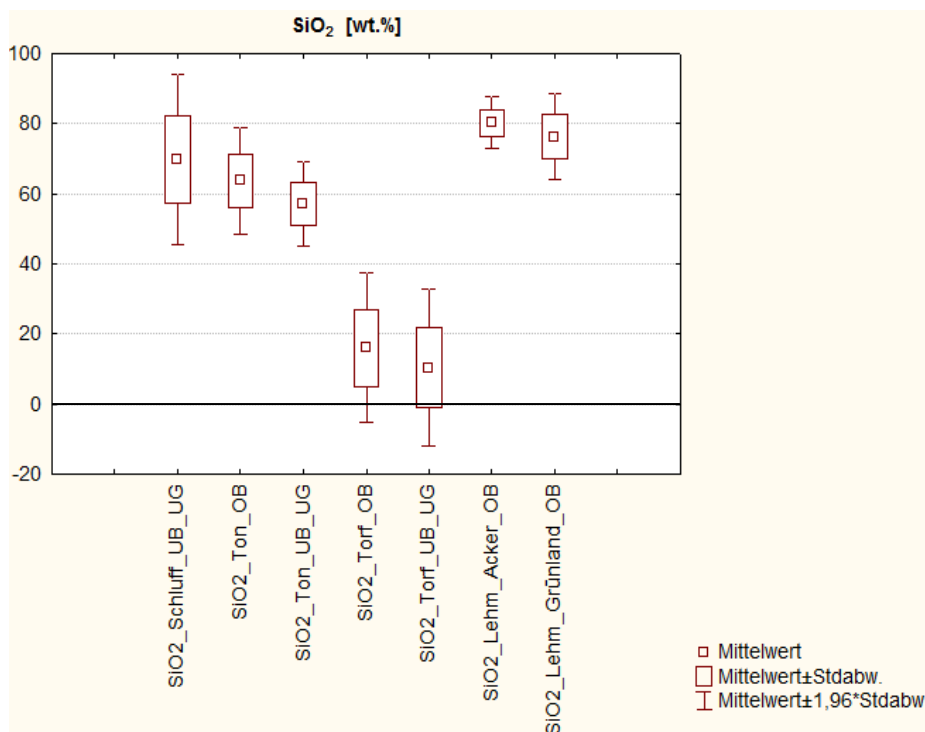


Abb. 20: SiO_2 -Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate

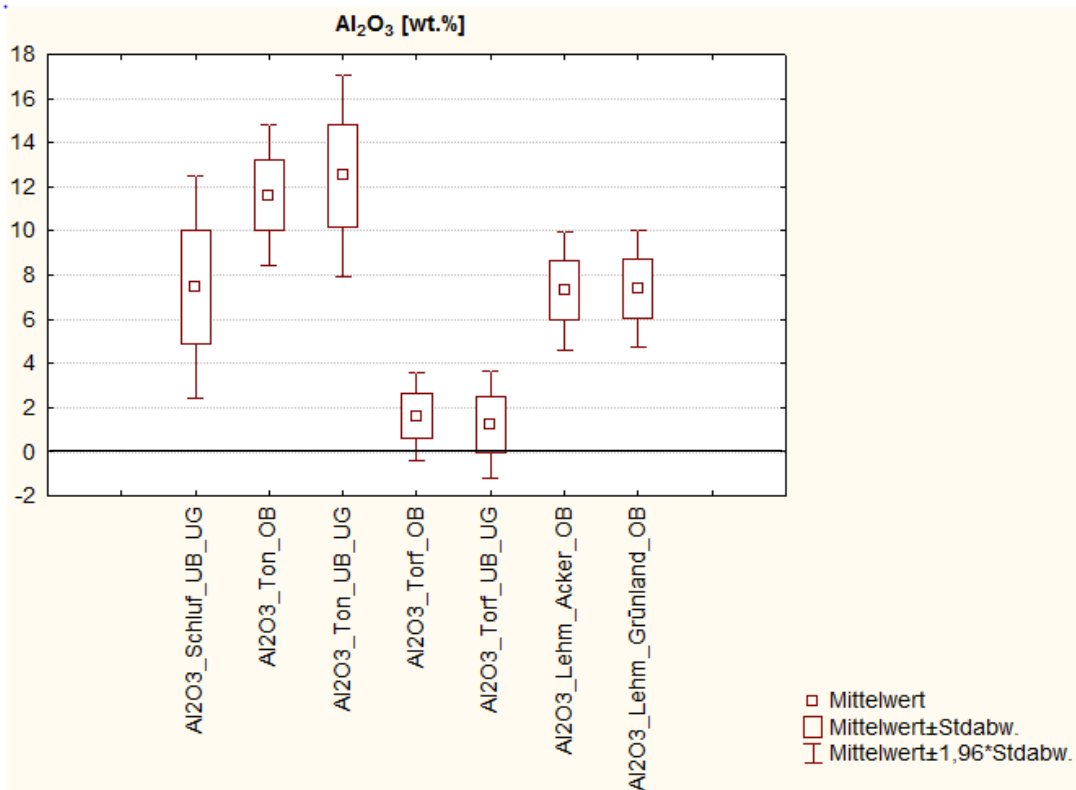


Abb. 21: Al₂O₃-Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate

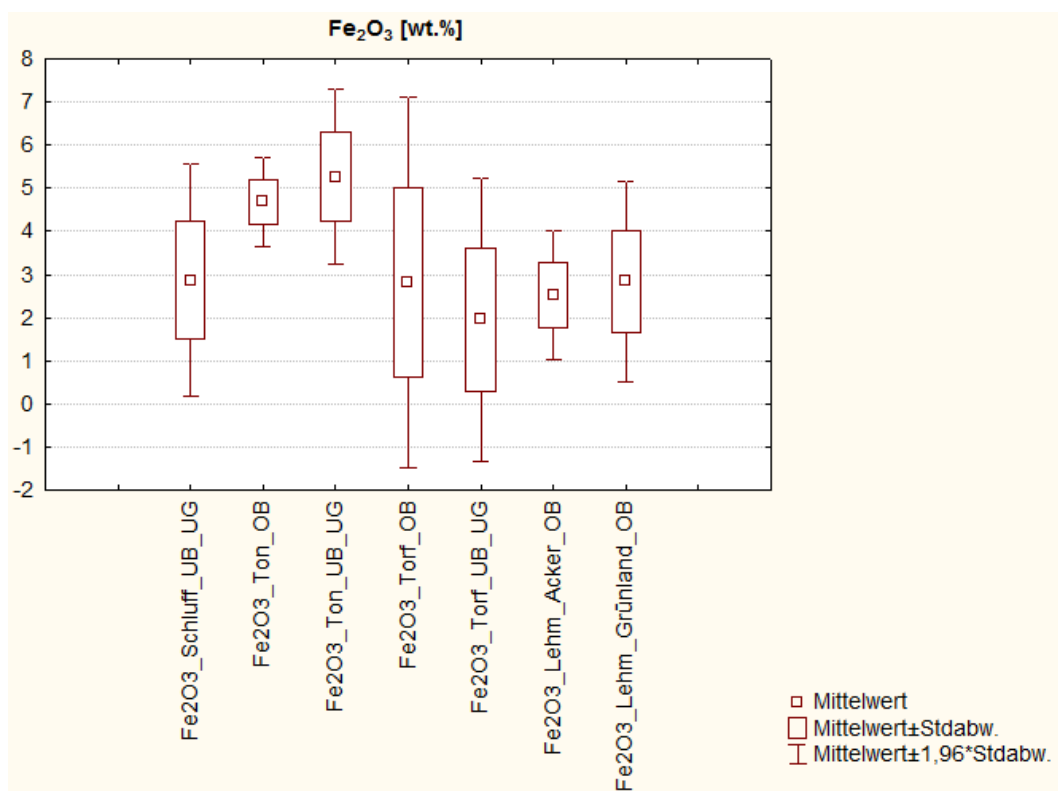


Abb. 22: Fe₂O₃-Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate

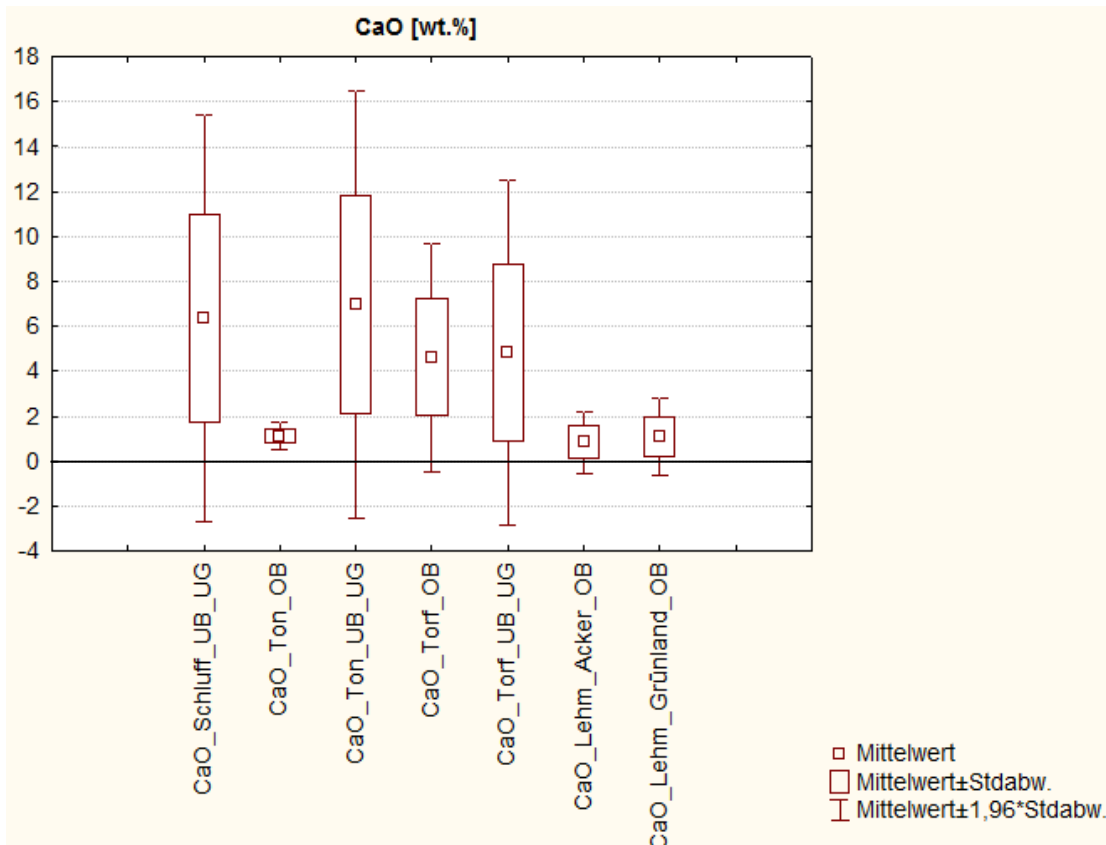


Abb. 23: CaO-Gehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate

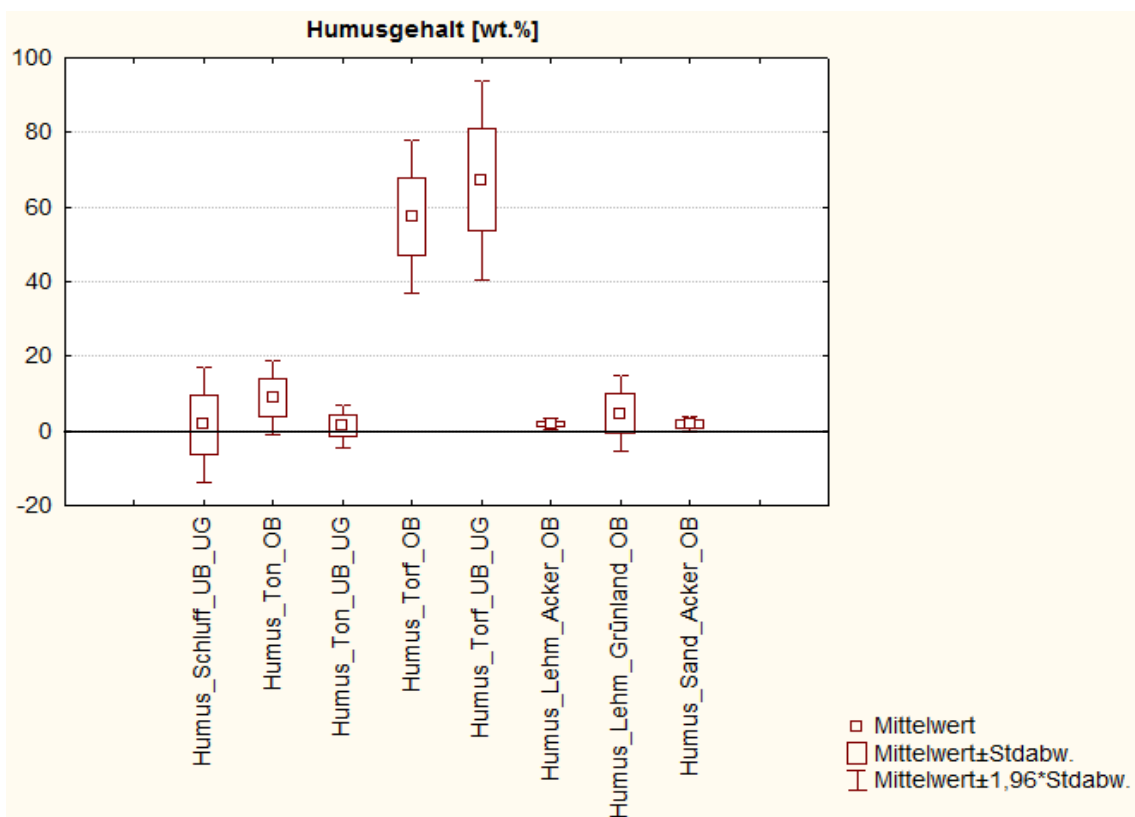


Abb. 24: Humusgehalt in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate

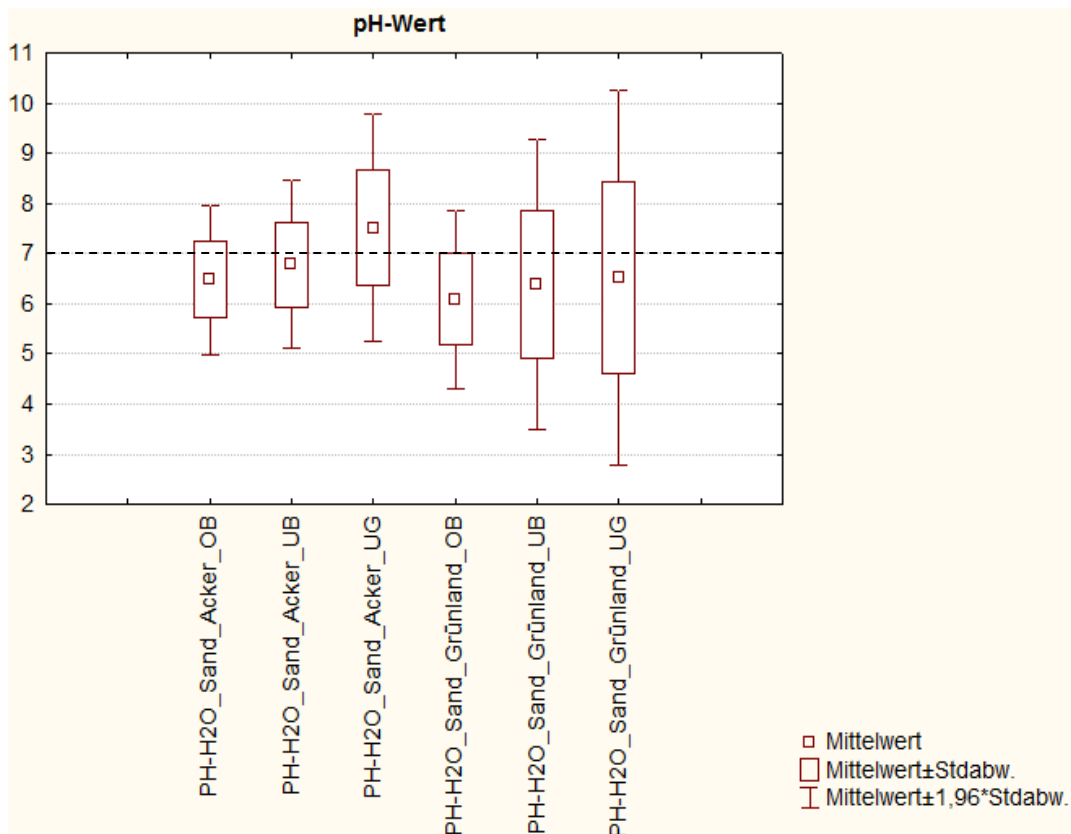


Abb. 25: pH-Werte unterschiedlicher Tiefenstufen von Böden in M-V

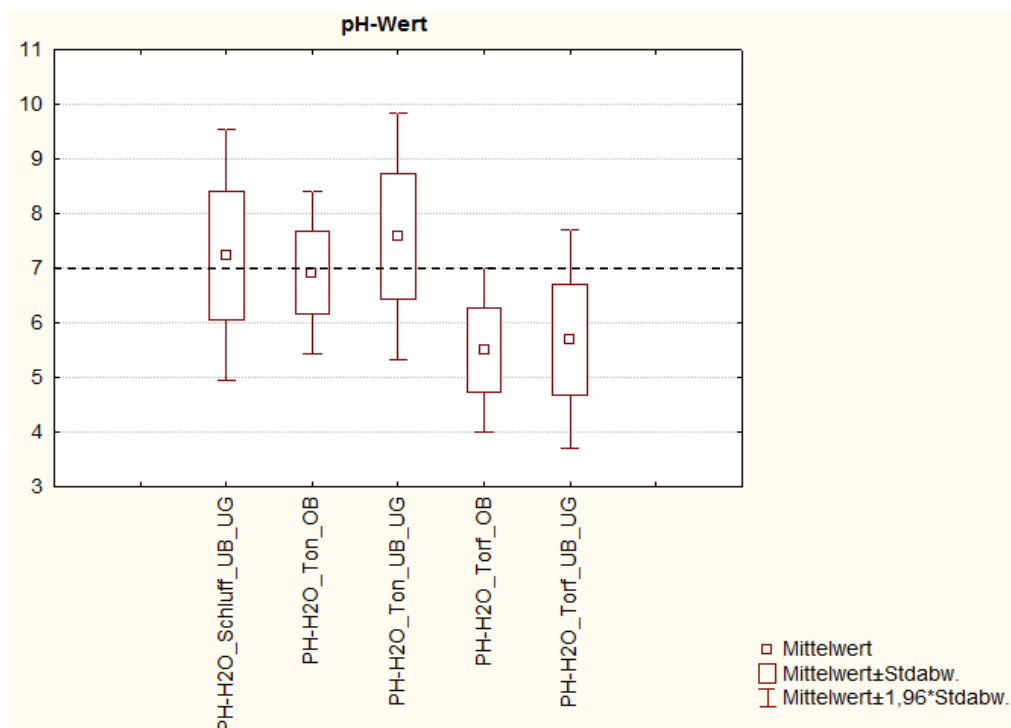


Abb. 26: pH-Werte in Böden unterschiedlicher Ausgangssubstrate

5.4 Zusammenfassung der statistischen Analyse

Nach der statistischen und visuellen Analyse stellen sich die folgenden wesentlichen Faktoren für die geochemische Verteilung der analysierten Daten heraus:

- a) Geochemie und organische Chemie des Ausgangssubstrats
- b) terrestrische bzw. sub-terrestrische Prozesse und Quellen
- c) leichte anthropogene Einflussnahme, z.B. durch atmosphärische Deposition oder Düngemittel
- d) indirekte magmatische Trends (theolitischer Trend oder kalk-alkaliner Trend (Markl, 2015)), die mit der Mineralogie und der Kristallographie der Hauptbestandteile zusammenhängen

6 Kartographische Darstellung und Tortendiagramme

Da für die geochemischen Ergebnisse der Spurenmetalle Daten aus vielen unterschiedlichen Projekten verwendet wurden, sind die Beprobungsstandorte entsprechend den Themenschwerpunkten sehr ungleich verteilt. Um einen Eindruck über die Datendichte zu vermitteln, werden nachfolgend die Ergebnisse im Zusammenhang mit der Landnutzung verglichen und dargestellt. Es zeigen sich zahlreiche Lücken, an denen in den Themenkarten die Probendichte sehr gering erscheint. Allerdings sind auf Grund der quartärgeologischen Ausgangslage auch nicht flächendeckend alle Kombinationen (Nutzung – Substrat – Schicht) vorhanden. So sind in den Sandergebieten z.B. in SW-Mecklenburg keine Daten über lehmige Standorte verfügbar, da dort keine lehmigen Bodenhorizonte vorhanden sind.

Die Unterscheidung von scheinbaren und realen Lücken soll durch die Einbindung von flächenhaften Nutzungsdaten ermöglicht werden.

6.1 Weißflächenanalyse von potentiellen Bodenbeprobungsstandorten

Für die Defizitanalyse lagen folgende Ausgangsdaten vor:

- Informationen zu Probenpunkten von 676 Standorten
- Daten der Corine Landcover Kartierung

Hierbei umfasst die Corine Landcover Karte (Abb. 27) bereits herausgefilterte Orte, wie beispielsweise urbane Gebiete oder Nutzungstypen wie Gewässer oder Wälder. Generell umfassen die Corinen Karten alle landwirtschaftlich genutzten Flächen von M-V, also Acker + Grünland ohne Unterscheidung des Bodensubstrats. Für die Erzeugung der „Weißfläche“ (in der Abb. 30 die rötliche Fläche), für die ein Defizit an Beprobungen besteht, wurden Vektortools verwendet. Um die Probenpunkte ($n = 676$) wurden radiale Puffer gelegt. Verwendet wurde ein Pufferradius von 4000 m.

Anschließend wurden die so erzeugten Kreisflächen jedes einzelnen Punktes mit den Puffern der anderen Punkte verbunden (Abb. 28). Die derart erzeugten Flächen wurden dann landwirtschaftlichen Flächen der Corine Karten verschnitten, um die landwirtschaftlichen Flächen zu erhalten, die bereits ausreichend beprobt wurden (Abb. 29). Diese Flächen wurden von der Gesamtfläche der Corine Landcover shape files abgezogen bzw. „ausgestanzt“. Die dabei zurückgebliebene Restfläche stellt die unter den oben genannten Randbedingungen erzeugte Weißfläche (rote Flächen) dar (Abb. 30).

Der Flächeninhalt der erzeugten Weißflächen wurde in Relation zu der Gesamtfläche von M-V, der landwirtschaftlich genutzten Fläche und der Fläche aller beprobten landwirtschaftlichen Teilflächen gesetzt (Tabelle 3).

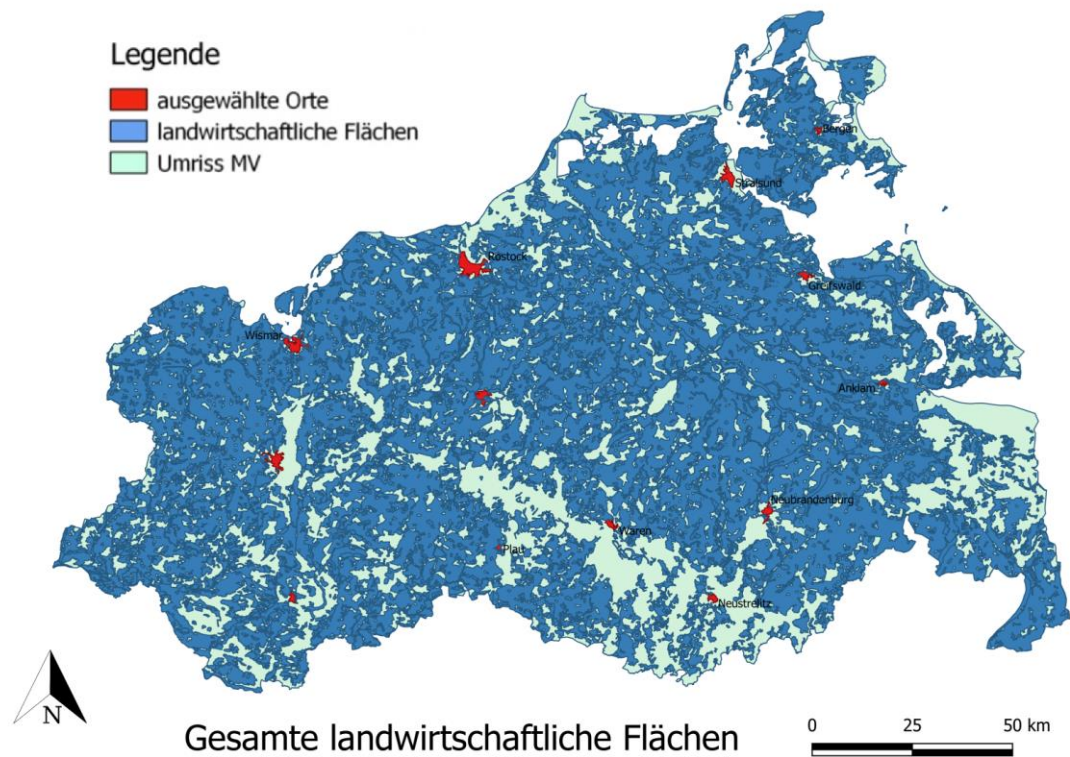


Abb. 27: Verteilung der landwirtschaftlich genutzten Flächen von M-V

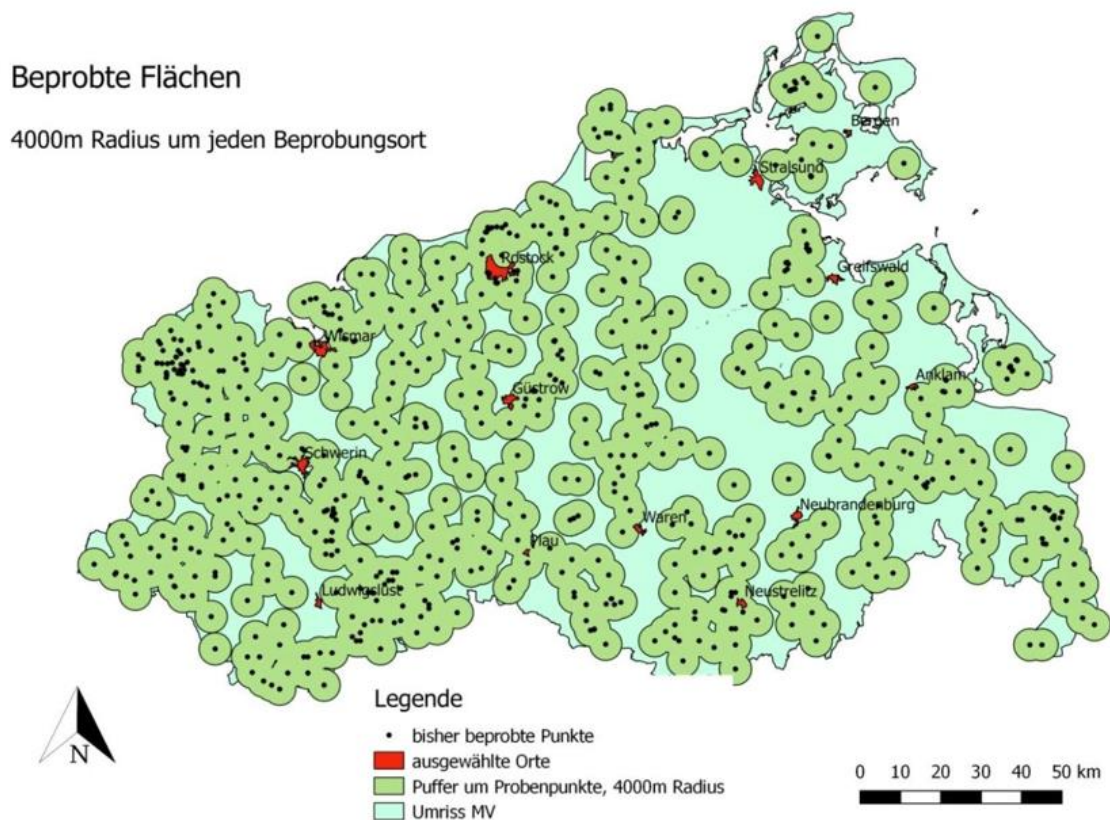


Abb. 28: abgedeckter Flächenanteil bei einem Repräsentanzradius von 4000 m bezogen auf gesamt M-V

Beprobte landwirtschaftliche Flächen

4000m Radius um jeden Beprobungsort

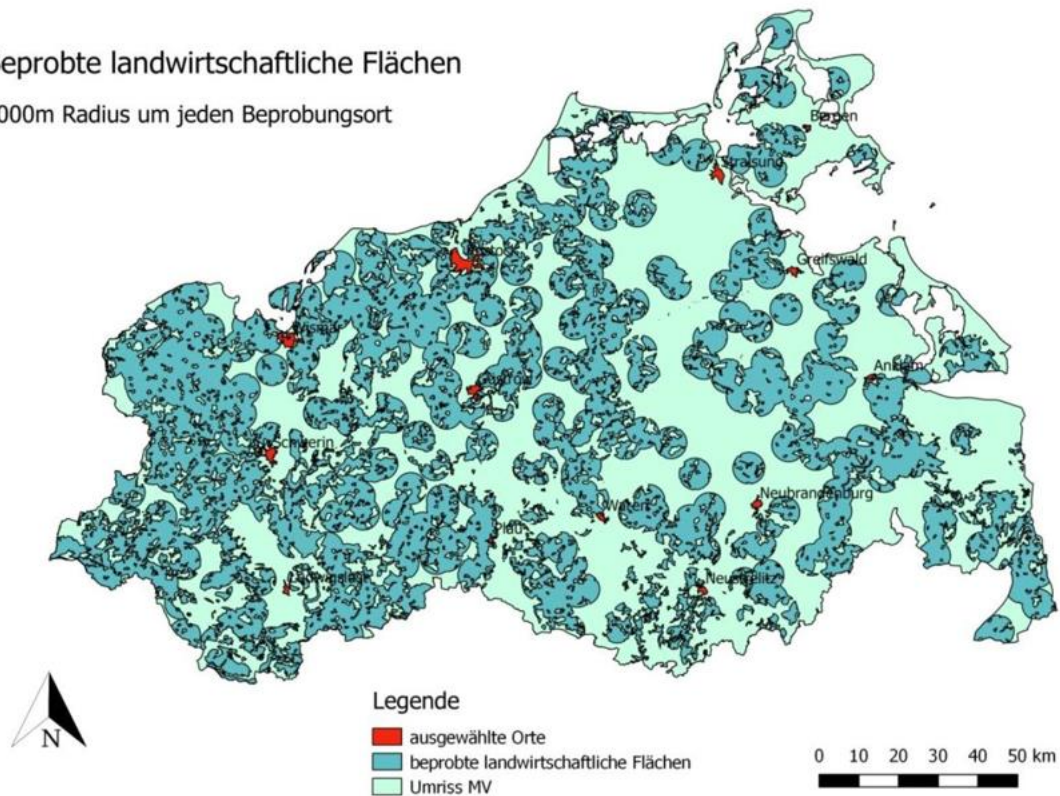


Abb. 29: abgedeckter landwirtschaftlich genutzter Flächenanteil bei einem Repräsentanzradius von 4000 m bezogen auf landwirtschaftliche Nutzfläche

Unbeprobte landwirtschaftliche Flächen

4000m Radius um jeden Beprobungsort

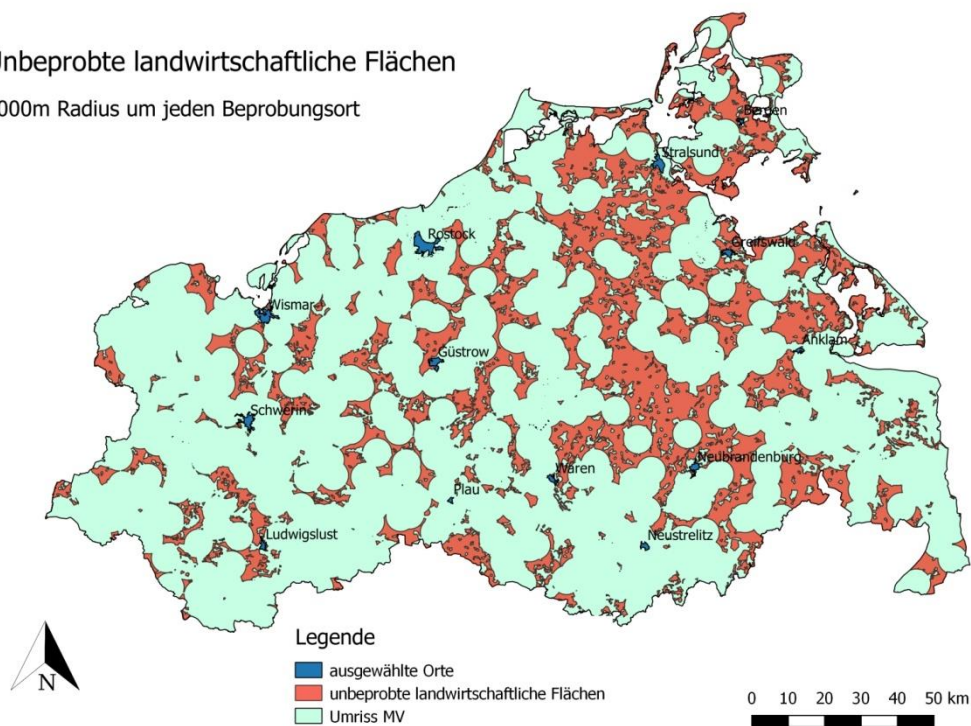


Abb. 30: Nicht abgedeckter landwirtschaftlich genutzter Flächenanteil bei einem Repräsentanzradius von 4000 m

Tabelle 3: Flächeninhalte der mittels QGIS erzeugten Flächen nach Corine Landcover bei einem Repräsentanzradius von 4000 m (Stand: 23.10.2019)

Flächenteil	km ²	Anteil
(a) Mecklenburg-Vorpommern	23198,3	100,0 %
(b) gesamte landwirtschaftliche Fläche	15905,3	68,6 %
(c) beprobte landwirtschaftliche Fläche	10385,4	44,8 % von (a) 65,3 % von (b)
(d) fehlende landwirtschaftliche Fläche	5519,9	23,8 % von (a) 34,7 % von (b)

Unter den gesetzten Randbedingungen gibt es ein Defizit von ca. einem Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche, für die eine geochemische Analytik notwendig ist, um die Repräsentanz der Hintergrundwerte für das gesamte Land M-V zu gewährleisten. Auffällig ist ein Ost-West-Trend bei der Verteilung der Probenpunkte, was zu einem höheren Anteil noch nicht untersuchter Flächen im östlichen Landesteil führt.

6.2 Geochemische Karten und Tortendiagramme

Für die flächenhafte Darstellung der Spurenmetallquantile wurden, wie im Abschnitt 4.2 beschrieben, Tortendiagramme als Darstellungsformat gewählt, in dem die sieben Spurenmetalle als Tortensegmente in einem Kreisdiagramm aufgetragen sind. Zur schnellen Einordnung wurden die Farben „Blau“, „Gelb“ und „Rot“ gewählt (RGB-Farbkodierung siehe Anhang):

- Das Unterschreiten des 50%-Quantils zeigt sich in der Farbe blau
- Das Überschreiten des 50%-Quantils bei Unterschreiten des 90%-Quantils zeigt sich in der Farbe gelb
- Das Überschreiten des 90%-Quantils zeigt sich in der Farbe rot
- Liegt kein Analysenwert vor, bleibt das Tortensegment weiß

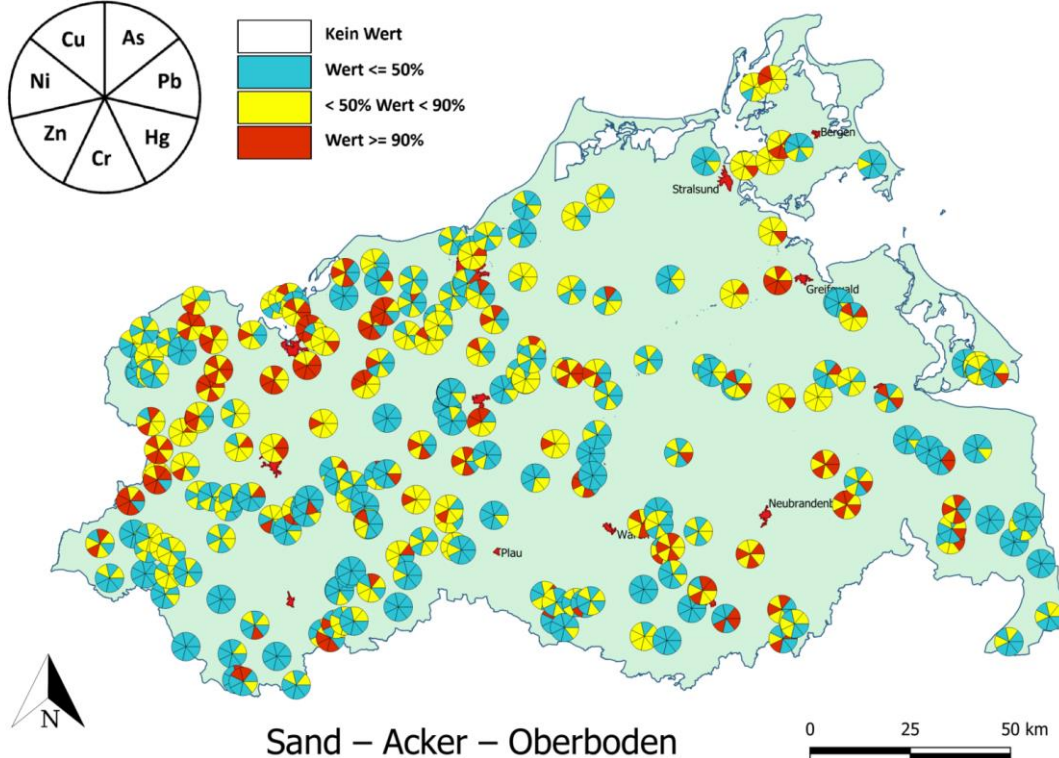
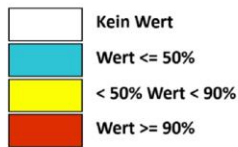
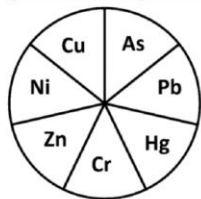
Die Karten wurden nach Substrat und Tiefe kategorisiert. Die derart kategorisierten Werte wurden nun mit Hilfe der Tortendiagramme auf eine oberflächengeologische Übersichtskarte (siehe Anhang 9.2) gelegt, um mögliche Effekte der quartärgeologischen Formen zu erkennen.

Im Rahmen dieses Projekts wurden für folgende Kombinationen Karten erstellt:

- a) Sand – Acker – Oberboden
- b) Sand – Acker – Unterboden
- c) Sand – Acker – Untergrund
- d) Sand – Grünland – Oberboden
- e) Sand – Grünland – Unterboden
- f) Sand – Grünland – Untergrund
- g) Lehm – Acker – Oberboden
- h) Lehm – Grünland – Oberboden
- i) Lehm – Unterboden (ohne Nutzungsunterscheidung)
- j) Lehm – Untergrund (ohne Nutzungsunterscheidung)
- k) Torf – Unterboden + Untergrund (ohne Nutzungsunterscheidung)

Die Karten sind zur besseren Übersicht einmal ohne und einmal mit quartärgeologischer Karte erstellt worden, da ansonsten die doppelte Farbinformation aus den Tortendiagrammen und den geologischen Schichten das Erkennen behindern würde.

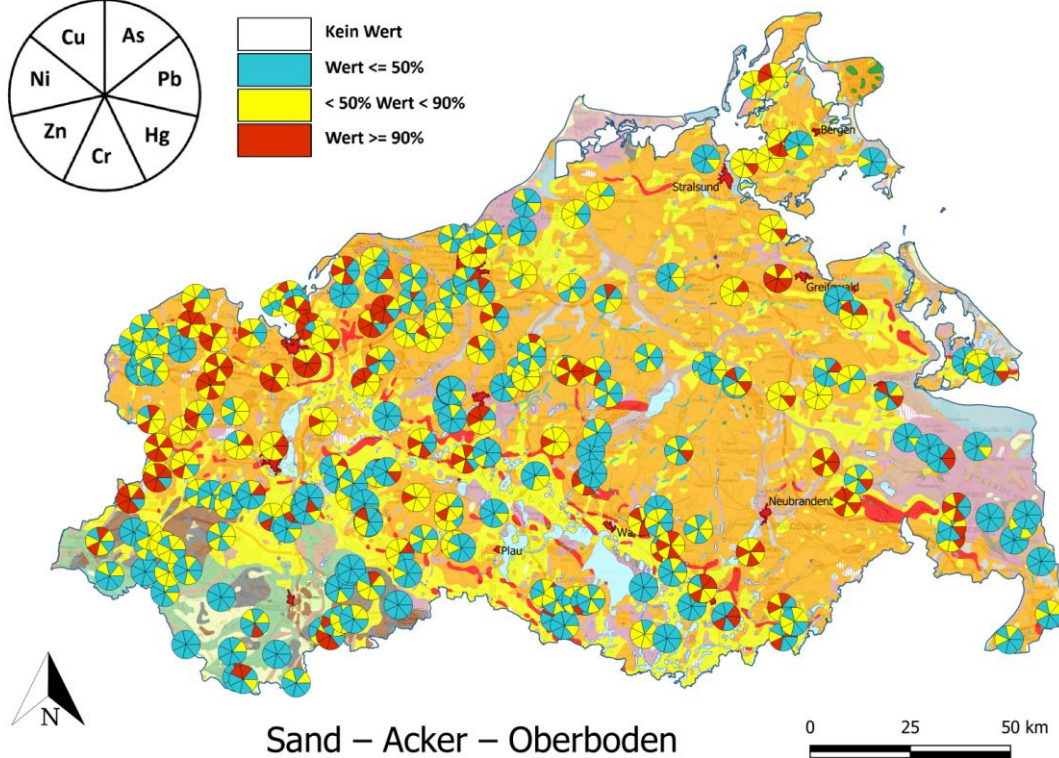
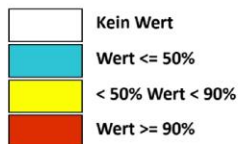
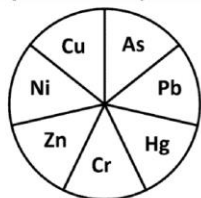
Spurenmittelquantile



Sand – Acker – Oberboden

Abb. 31: Sand - Acker – Oberboden

Spurenmittelquantile



Sand – Acker – Oberboden

Abb. 32: Sand - Acker - Oberboden

Spurenmittelquantile

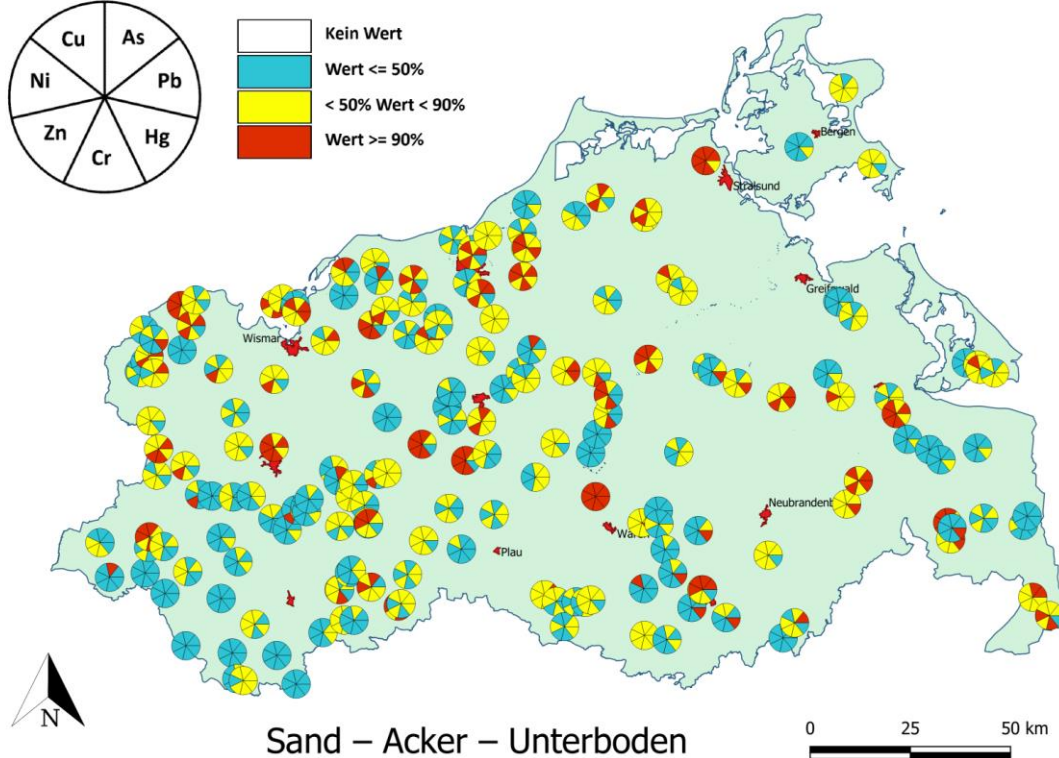
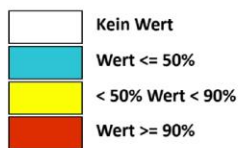
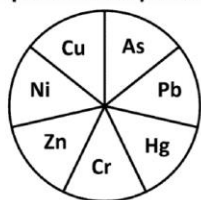


Abb. 33: Sand - Acker - Unterboden

Spurenmittelquantile

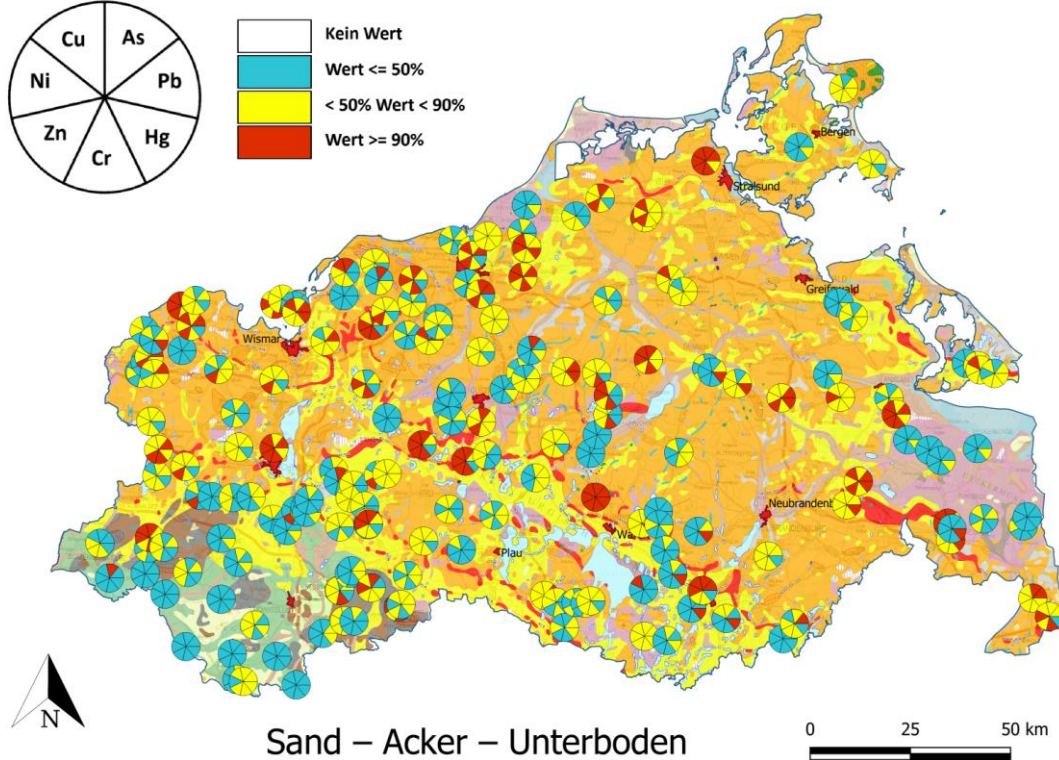
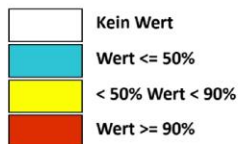
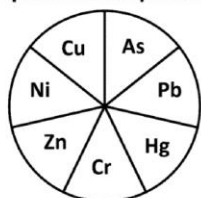


Abb. 34: Sand - Acker - Unterboden

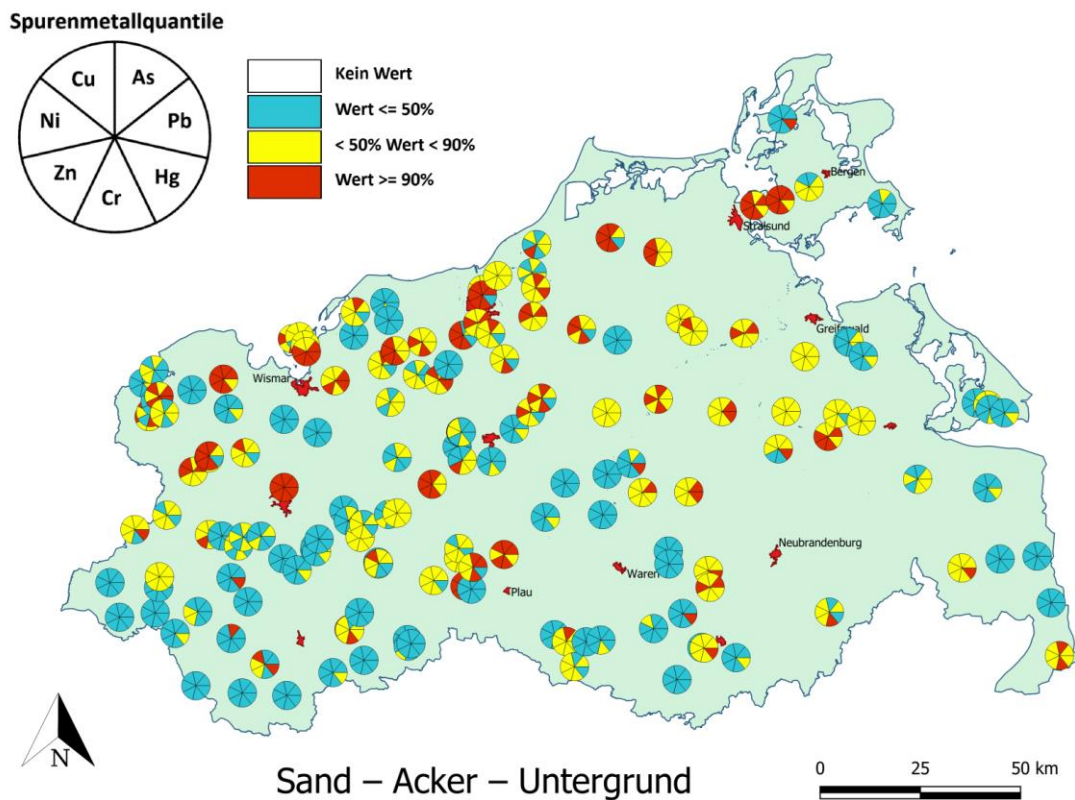


Abb. 35: Sand - Acker - Untergrund

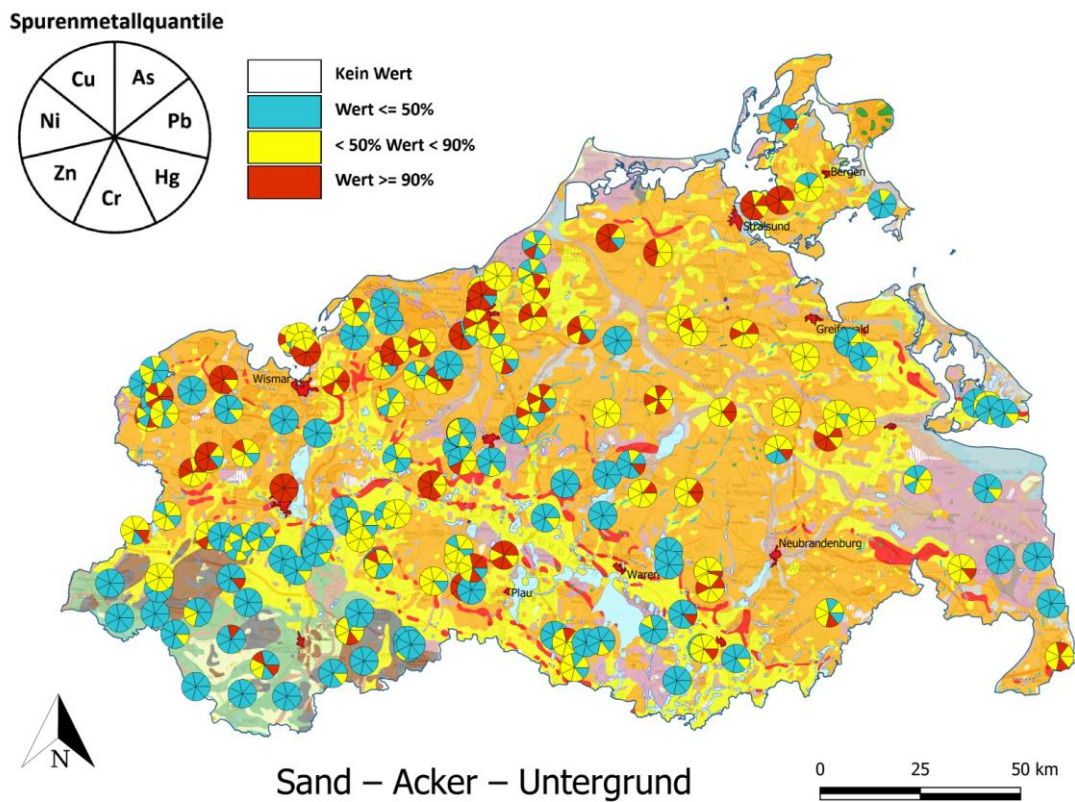


Abb. 36: Sand - Acker - Untergrund

Spurenmittelquantile

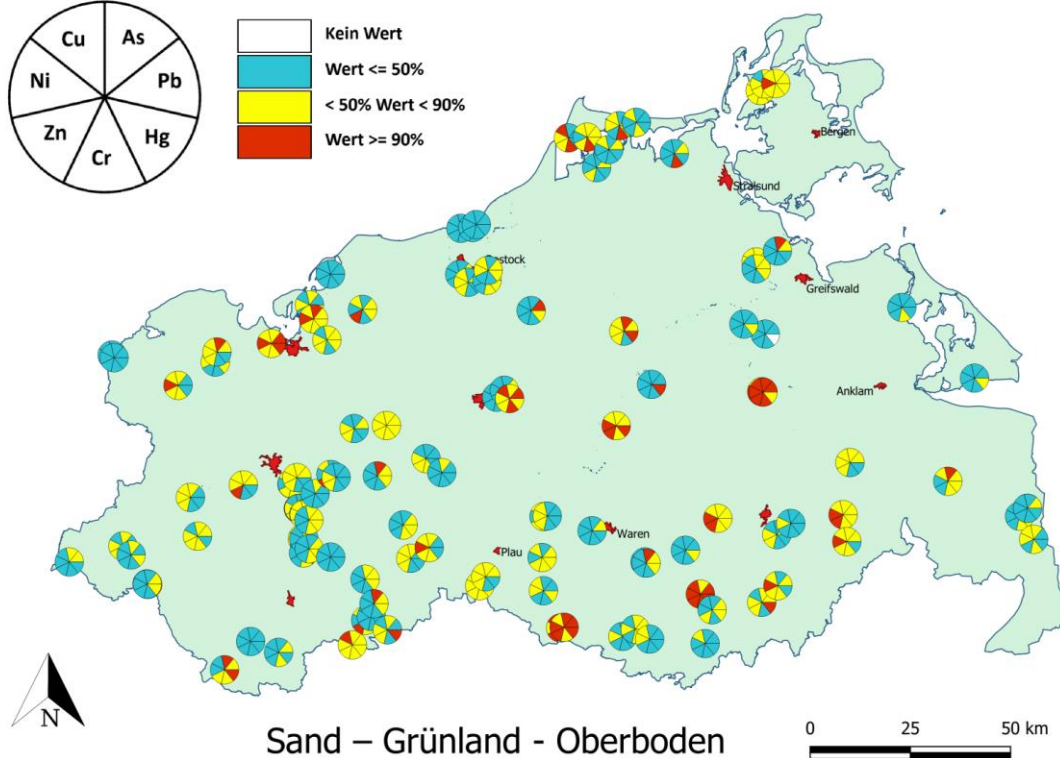
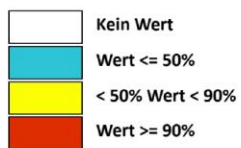
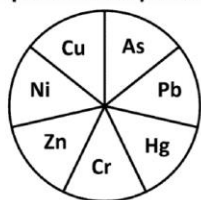


Abb. 37: Sand - Grünland - Oberboden

Spurenmittelquantile

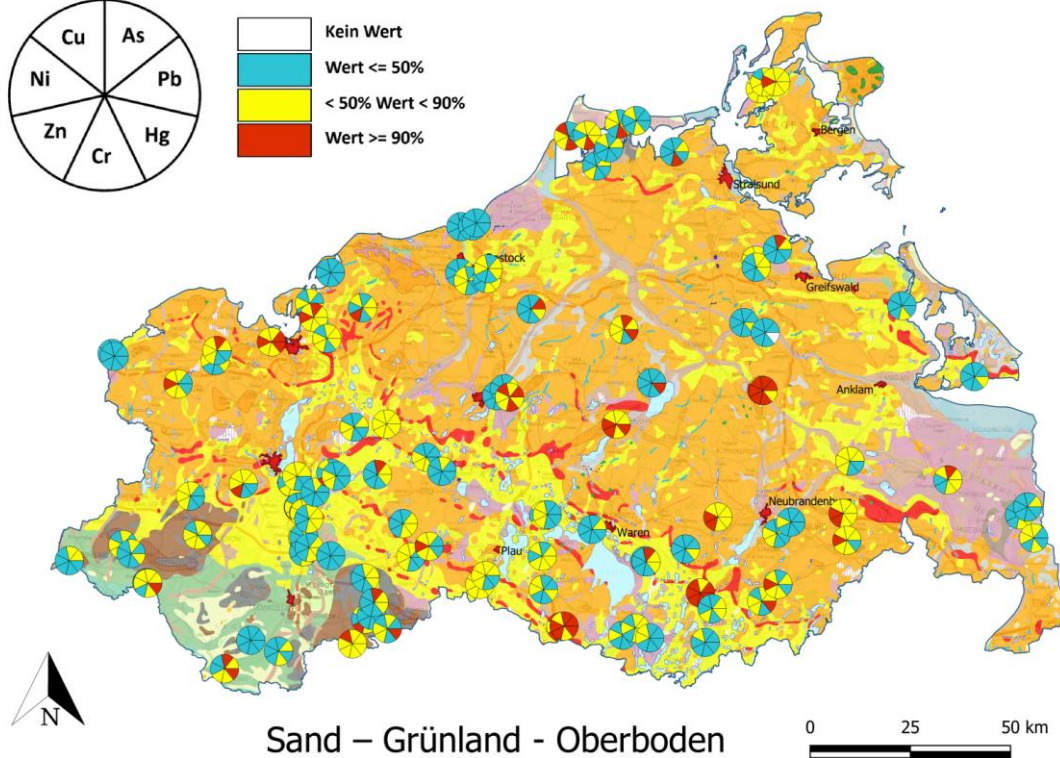
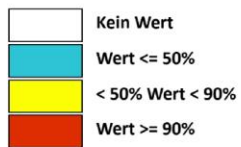
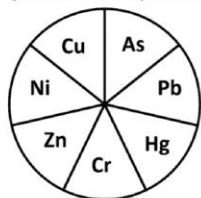


Abb. 38: Sand - Grünland - Oberboden

Spurenmittelquantile

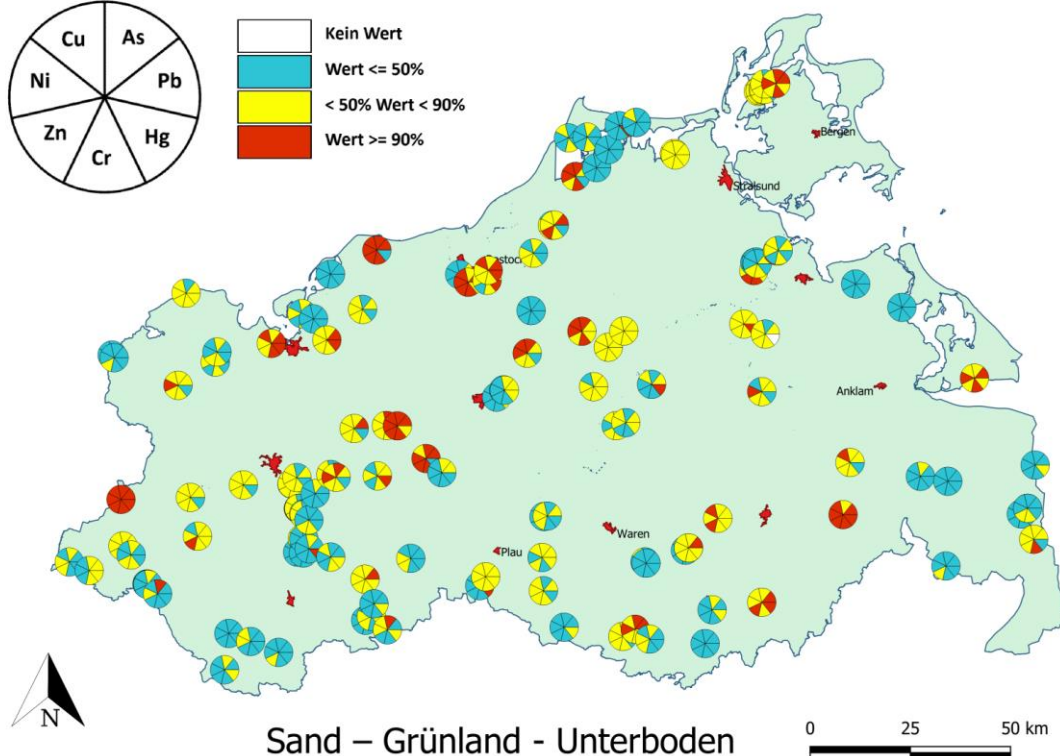
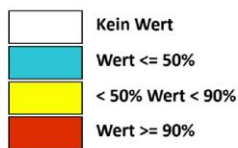
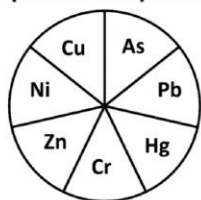


Abb. 39: Sand – Grünland - Unterboden

Spurenmittelquantile

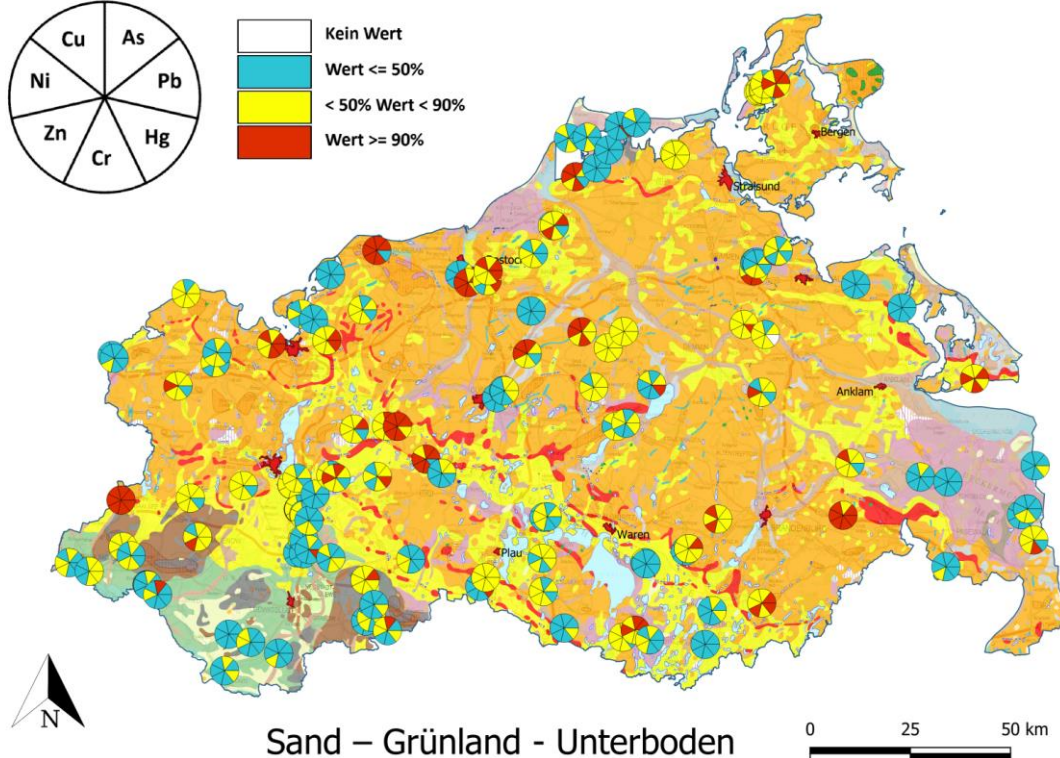
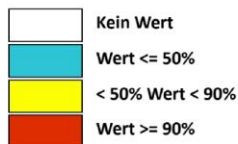
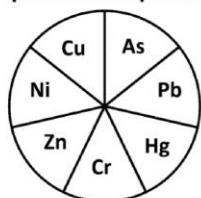


Abb. 40: Sand – Grünland - Unterboden

Spurenmittelquantile

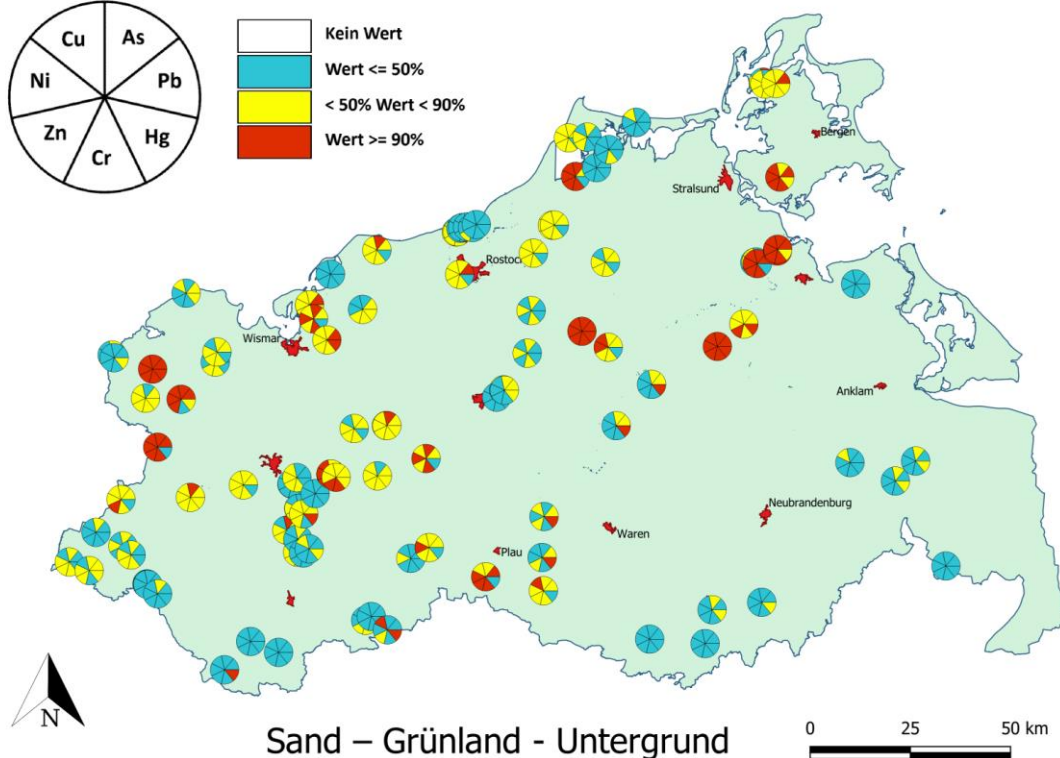
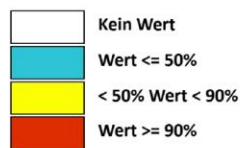
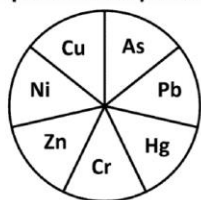


Abb. 41: Sand – Grünland - Untergrund

Spurenmittelquantile

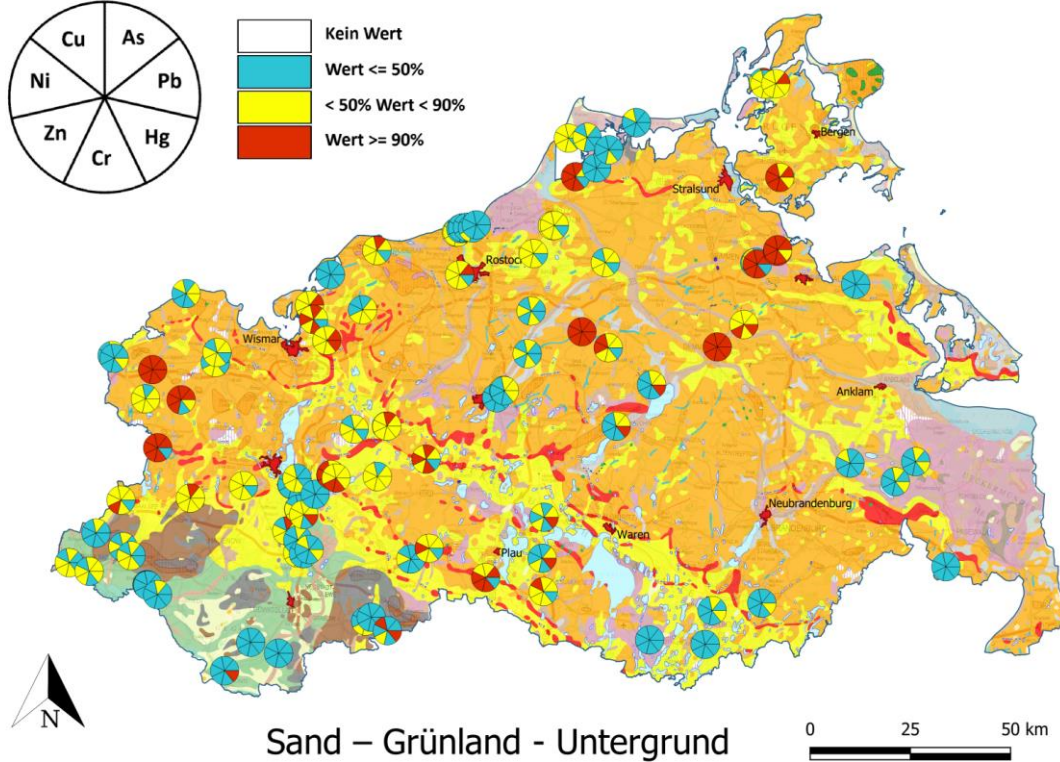
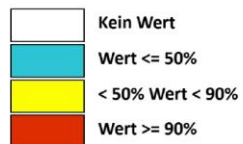
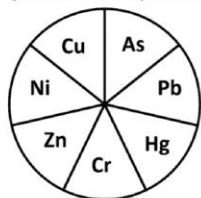
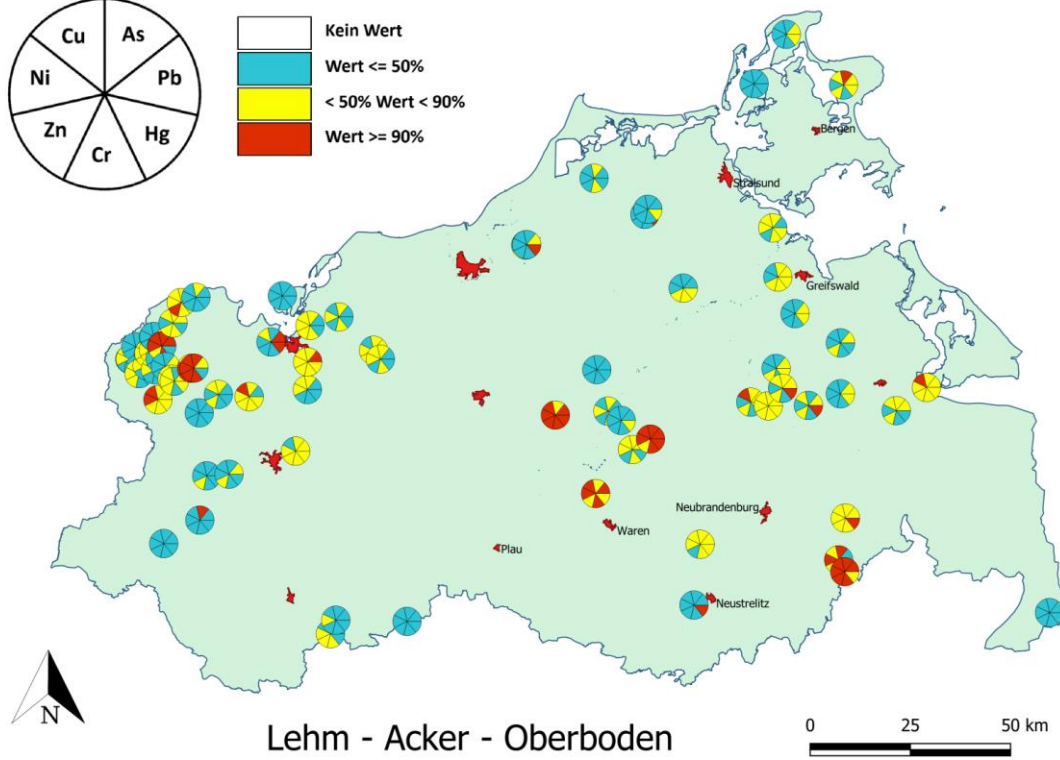
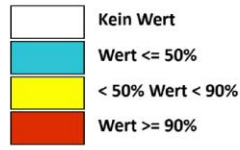
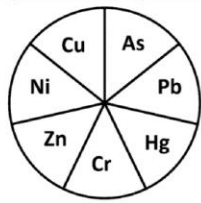


Abb. 42: Sand – Grünland - Untergrund

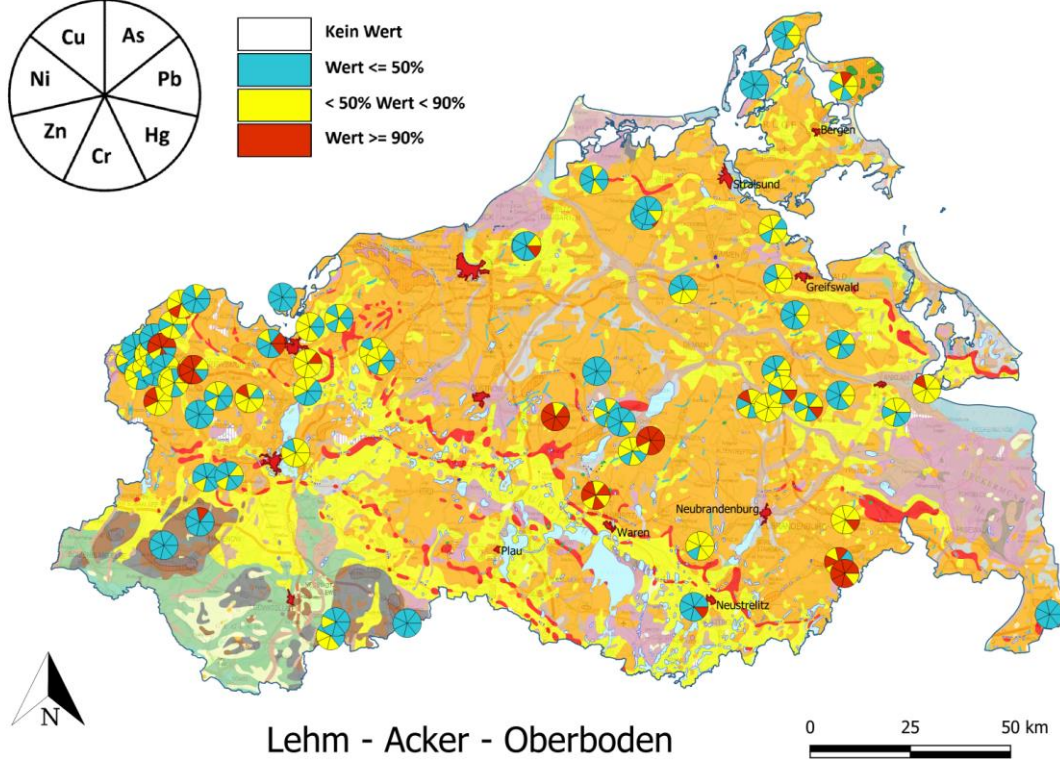
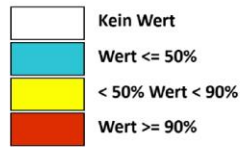
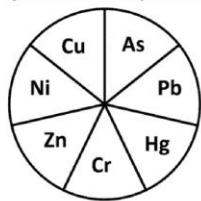
Spurenmittelquantile



Lehm - Acker - Oberboden

Abb. 43: Lehm - Acker - Oberboden

Spurenmittelquantile



Lehm - Acker - Oberboden

Abb. 44: Lehm - Acker - Oberboden

Spurenmittelquantile

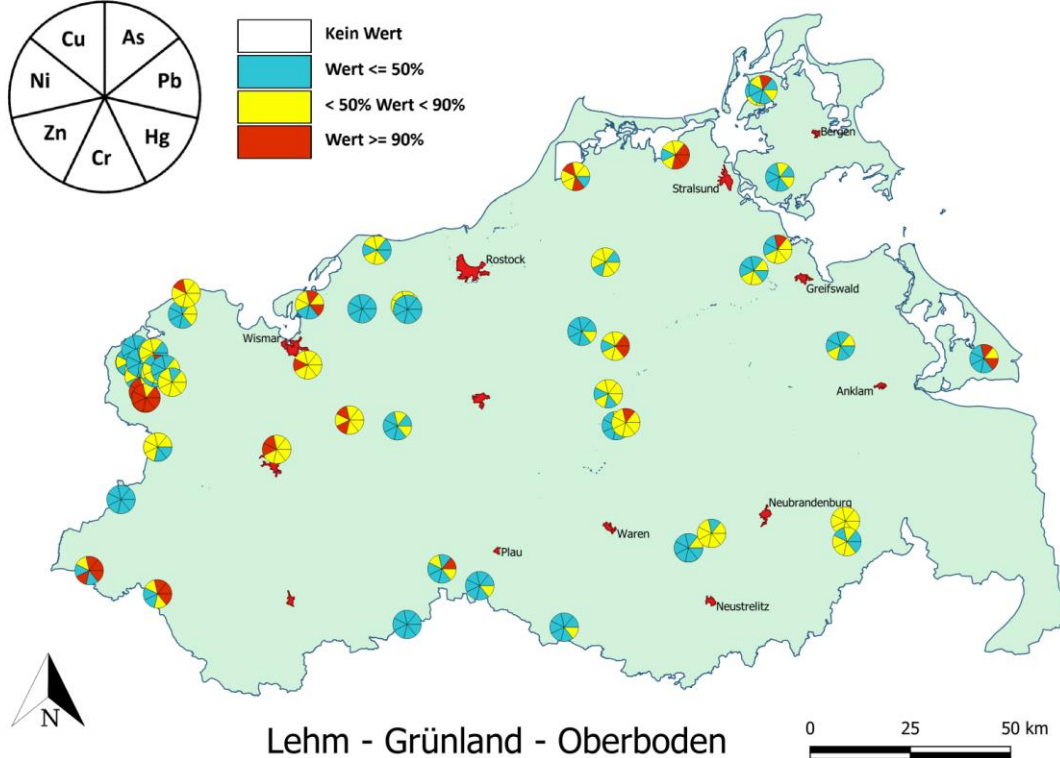
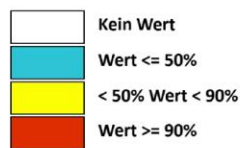
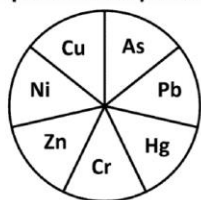


Abb. 45: Lehm - Grünland - Oberboden

Spurenmittelquantile

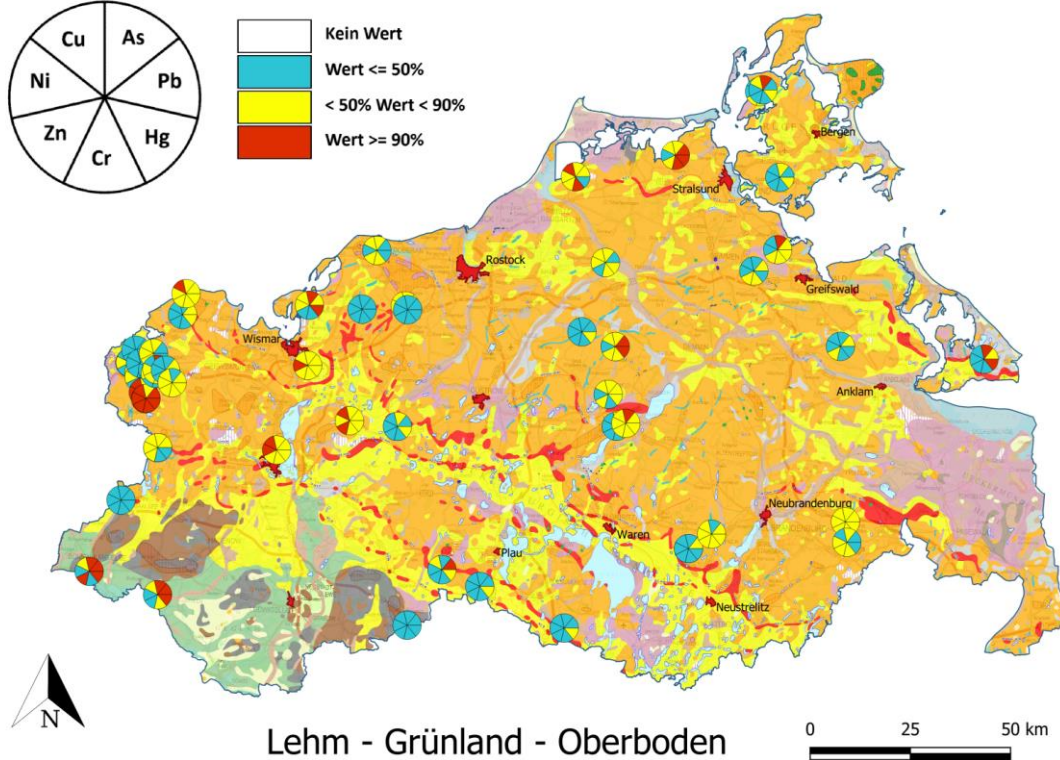
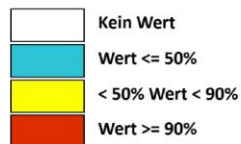
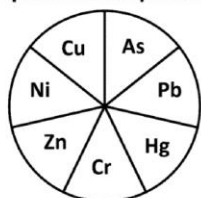
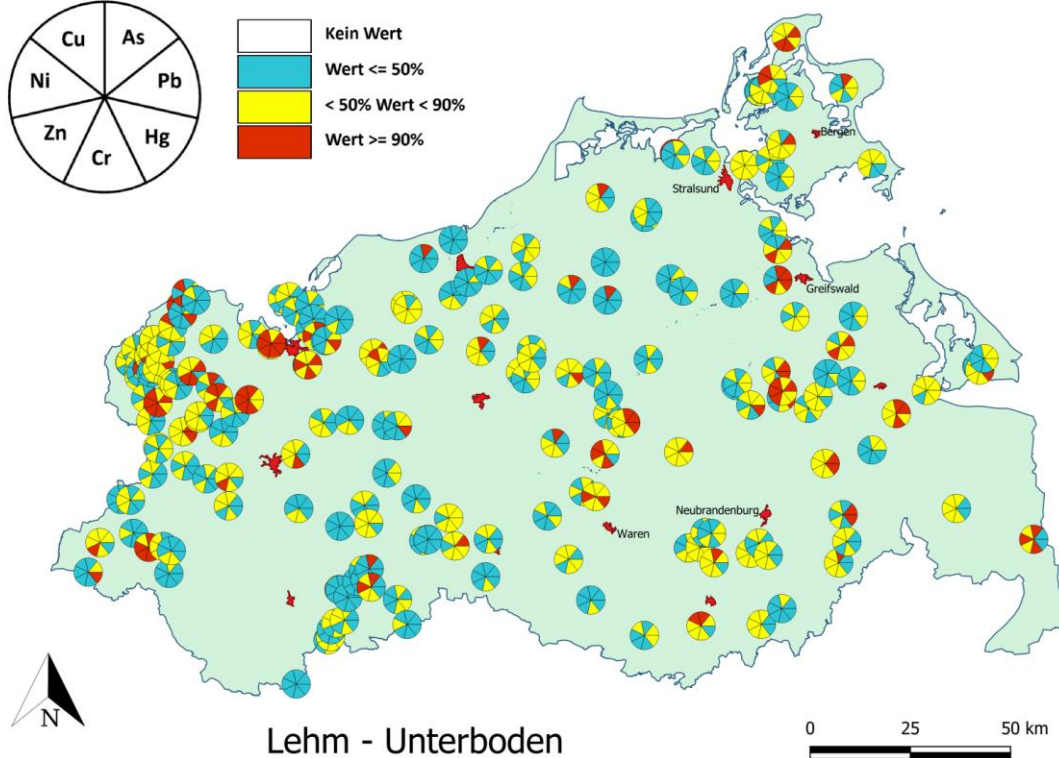
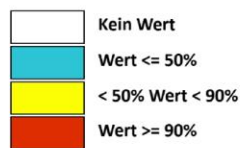
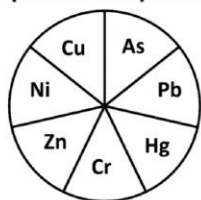


Abb. 46: Lehm - Grünland - Oberboden

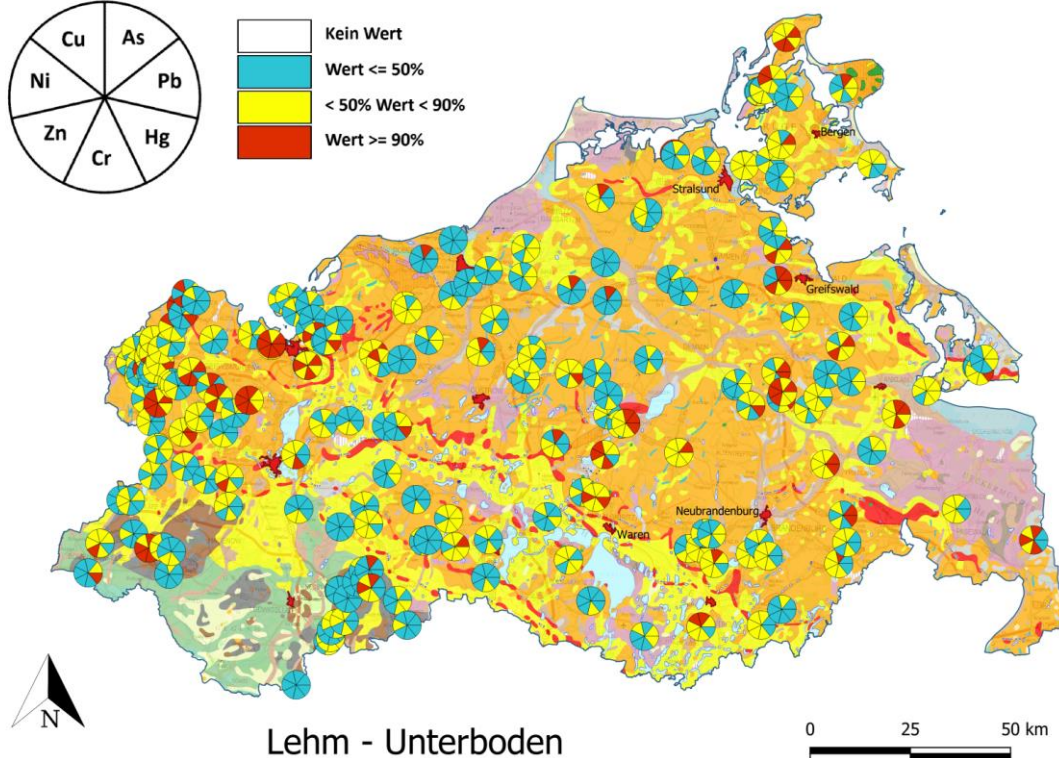
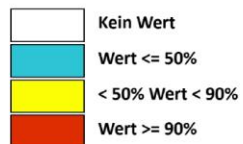
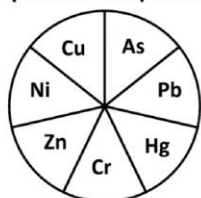
Spurenmittelquantile



Lehm - Unterboden

Abb. 47: Lehm - Unterboden

Spurenmittelquantile



Lehm - Unterboden

Abb. 48: Lehm - Unterboden

Spurenmittelquantile

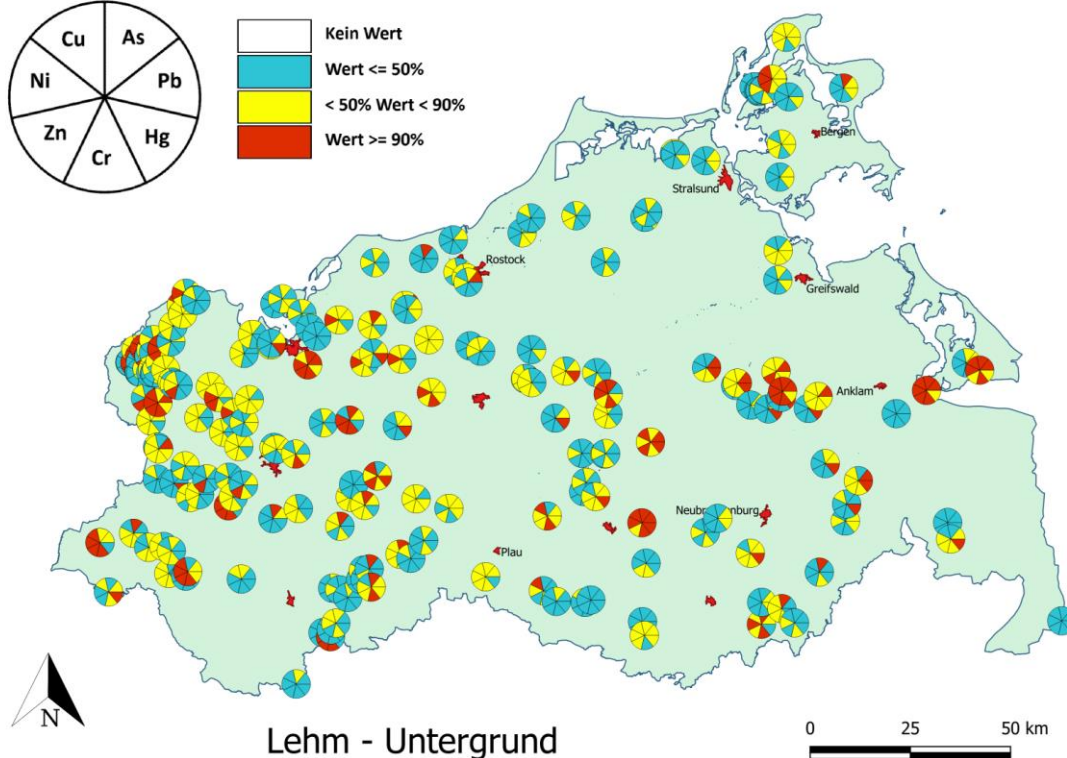
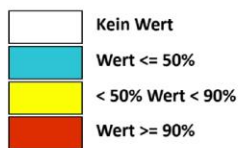
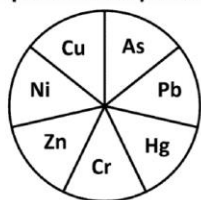


Abb. 49: Lehm - Untergrund

Spurenmittelquantile

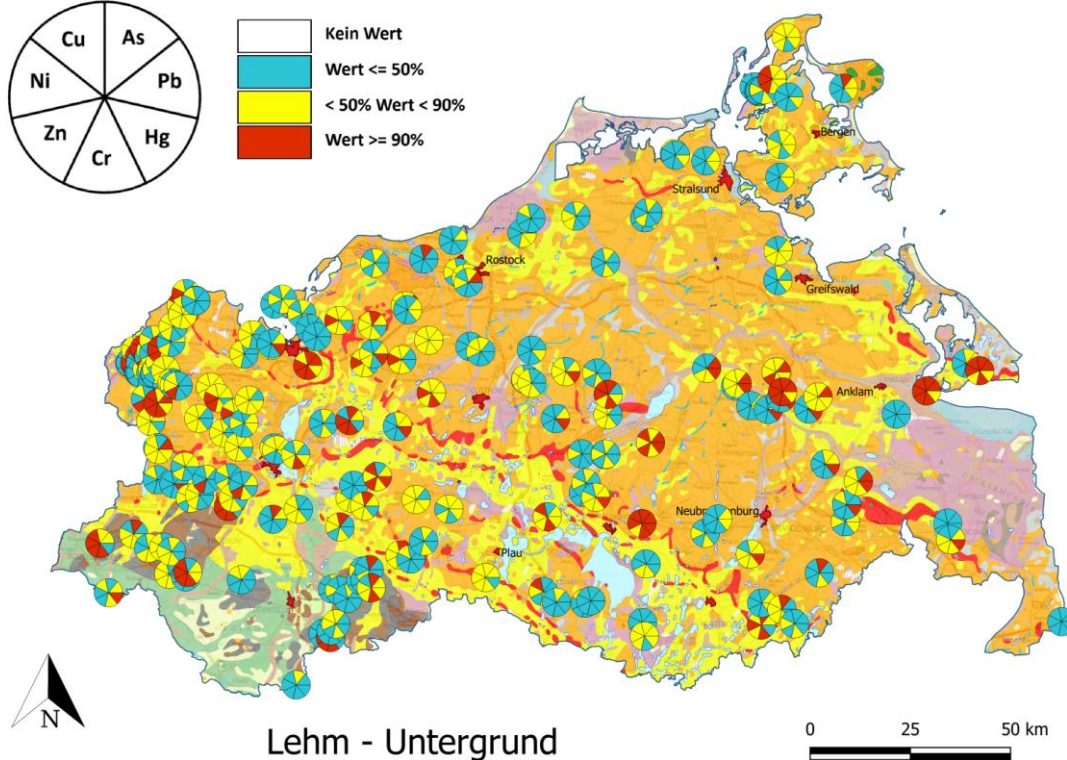
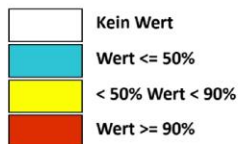
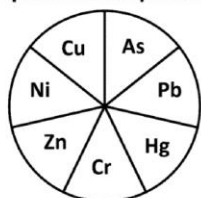
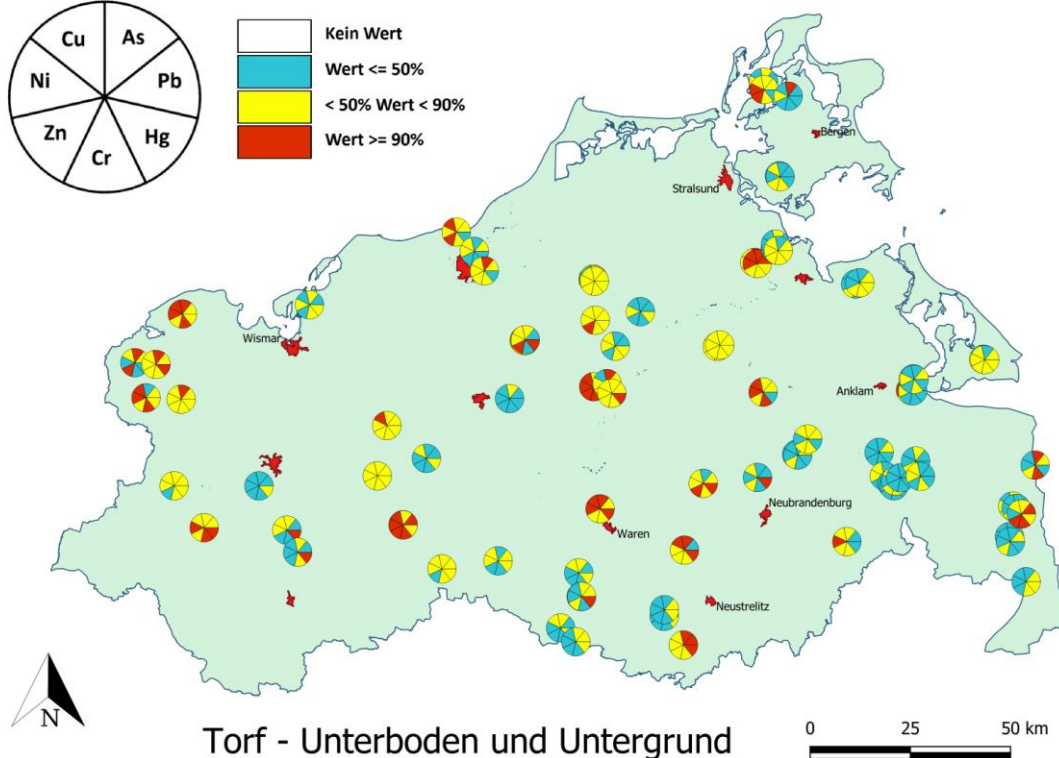
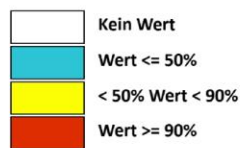
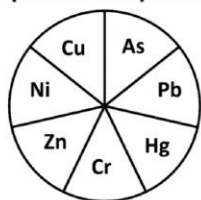


Abb. 50: Lehm - Untergrund

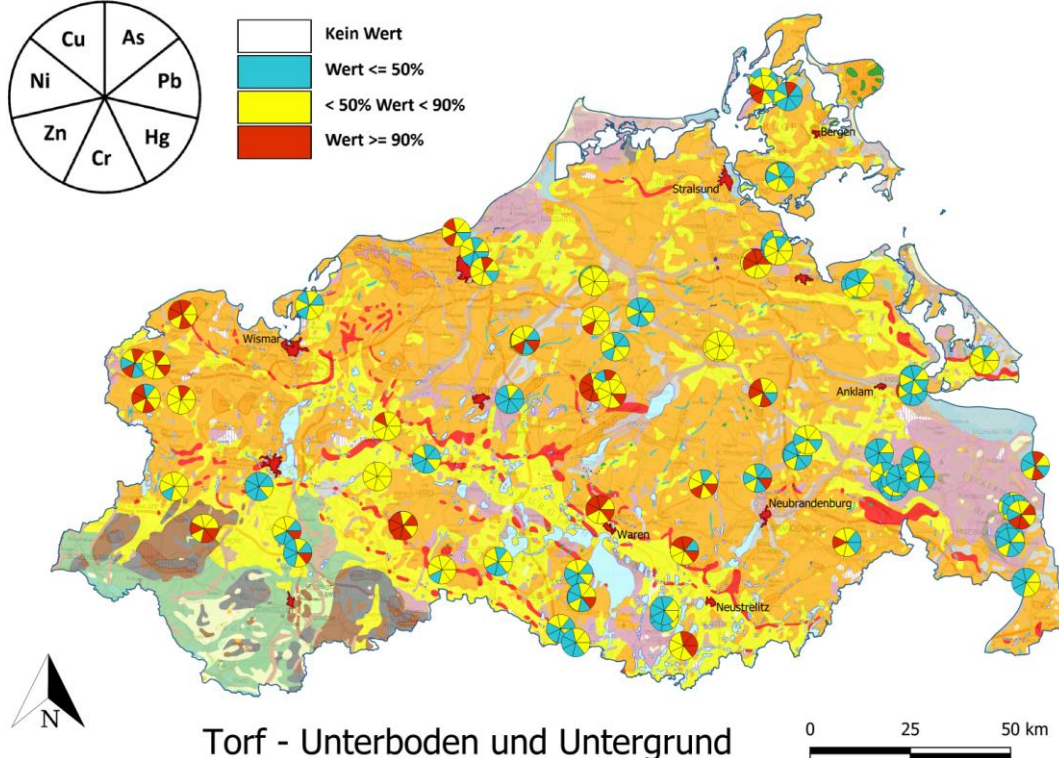
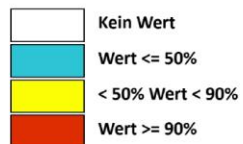
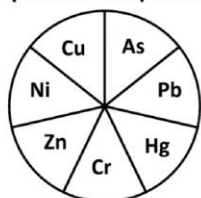
Spuremetallquantile



Torf - Unterboden und Untergrund

Abb. 51: Torf - Unterboden und Untergrund

Spuremetallquantile



Torf - Unterboden und Untergrund

Abb. 52: Torf - Unterboden und Untergrund

Die Interpretation von Spurenmetallauffälligkeiten aus diesen flächenhaften Darstellungen ist schwierig, da viele verschiedene Faktoren die Spurenmetallgehalte beeinflussen, wie die lokale Geologie, atmosphärische Quellen etc..

Zudem können gehäufte Beprobungsstandorte wie im Westen von M-V mehr auffällige Einzelgehalte andeuten, die jedoch nur auf Grund der vermehrten Proben zustande kommen. Leider ist auch kein Interpolationsverfahren möglich, das aus den Punktinformationen Flächeninformationen prognostiziert, da hierfür die Beprobungspunktdichte zu gering ist.

Eine höhere Zahl von gelben und roten Färbungen in den Tortensegmenten der untersuchten Spurenmetalle können aber auf lokale Kontaminationen hindeuten, bei denen all diese Spurenmetalle in hoher Konzentration vorliegen. Hier ist eine nähere Auswertung erforderlich, die das gesamte Bodenprofil sowie benachbarte Probenpunkte umfasst und die dann zu Nach- oder Neubeprobungen führen kann.

6.3 Gefilterte Parameter im Bezug zur kartographischen Darstellung

Neben den Tortendiagrammen der kategorisierten Quantile wurden gefilterte Parameter dargestellt und interpretiert. Hierbei können sehr viele Kombinationen von potentiellen Zusammenhängen dargestellt werden, um Gruppen zu erzeugen, die sich möglicherweise auf bestimmte geochemische Prozesse oder Quellen zurückführen lassen. Ein Beispiel mit einem Kombinationsfilter (Arsen > 2,5 mg/kg und Zink > 40 mg/kg) ist in Abb. 53 gezeigt.

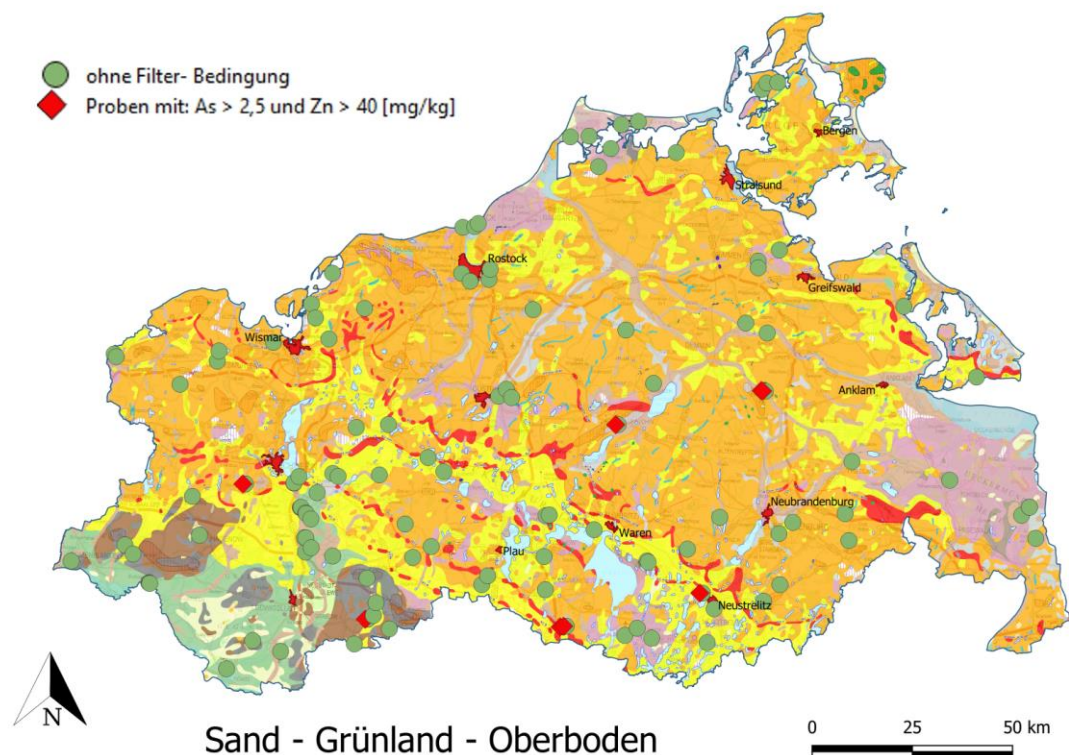


Abb. 53: Gefilterte Kombination von Punktinformationen an Probenpunkten von M-V

Durch geschicktes Filtern sowie Verständnis von potentiellen Korrelationen in Verbindung mit räumlichen Informationen, beispielsweise der Verbreitung der oberflächengeologischen Formen, können weitere bodenchemische Zusammenhänge identifiziert werden. Jedoch kann aufgrund der Vielfalt der Parameter und der Randbedingung an dieser Stelle nur prinzipiell auf die Chancen hingewiesen werden, die dieses Werkzeug beinhaltet.

7 Ausblick auf künftige Arbeiten an Hintergrundwerten

Ausgehend vom jetzigen Kenntnisstand werden die Arbeiten an Hintergrundgehalten und Hintergrundwerten von M-V an nachfolgenden inhaltlichen Schwerpunkten fortgesetzt:

(a) Kurzfristiger Import der Karten in das interaktive Kartenportal des LUNG

Es ist vorgesehen, die erstellten Karten in das Kartenportal des LUNG zu importieren und sie dort zur interaktiven Nutzung freizuschalten. Dazu müssen die einzelnen vorhandenen GIS-Projekte an die Formate im Kartenportal angeglichen werden.

(b) Defizitanalyse

Nutzung der erzeugten Weißflächen, um zielgerichtet Verdichtungen des Datensatzes zu erreichen (a) durch Analysen von Proben aus der Bodenprobenbank des LUNG und (b) optimierte Neubeprobungen

(c) Intensivierung statistischer Verfahren

Anwendung bi- und multivariater statistischer Verfahren zur weiteren Differenzierung von geochemischen Prozessen und Quellen.

Suche nach räumlichen Trends in den Spurenmetallgehalten von M-V

(d) Erweiterung der Parameter von Hintergrundwerten/-gehalten

Messung von organischen Verbindungen, Erzeugung von Hintergrundwerten nach dem LABO-Schema und kartenmäßige Darstellungen

Erweiterung der Auswertung auf weitere Haupt- und Spurenmetalle (bspw. K_2O , MgO , Co , V); Differenzierung von bestimmten Spurenelementen nach verschiedenen Fraktionen (an Tonen, Sanden, Sekundärmineralen etc. gebundenen Fraktionen)

8 Literaturverzeichnis

- Alloway. (1999). *Schwermetalle in Böden: Analytik, Konzentrationen, Wechselwirkungen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten. (2005). *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Hannover.
- Hornburg, V. (2002). *Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte von Haupt- und Spurenelementen in Böden - Vergleich zwischen Königswasser-Extrakt und Flusssäure-Aufschluss*. - 113 S., 43 Abb., 48 Tab., 1 Kt. Krefeld: Geologischer Dienst NRW [www.gd.nrw.de/Projekte].
- Katzung, G. (2004). *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*. Stuttgart: Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- LABO, L. B. (2017). *Anhang: Tabellen der Hintergrundwerte für Böden*.
- LABO, Länderarbeitsgemeinschaft Boden -. (2003). *Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden und Anhang: Tabelle der Hintergrundwerte für Böden*.
- LUNG M-V. (09. 05 2022). Von Kartenportal Umwelt Mecklenburg-Vorpommern: <https://lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/umweltinformation/gis/kartenportal.htm> abgerufen
- Markl, G. (2015). *Minerale und Gesteine: Mineralogie-Petrologie-Geochemie*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag .
- Montgomery, D. (2011). *Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert*. München.
- Montgomery, D.R. (2011). *dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert*. München: University of California Press.
- Neukirchen/Ries. (2016). *Die Welt der Rohstoffe*. Springer.
- Penck, A. (1882). *Die Vergletscherung der deutschen Alpen. Ihre Ursachen, periodische Wiederkehr und ihr Einfluß auf die Bodengestaltung*. Barth, Leipzig.
- Scheffer/Schachtschabel. (2018). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Schulz, W. (1998). *Streifzüge durch die Geologie des Landes Mecklenburg-Vorpommern*. Schwerin: cw Verlagsgruppe.
- White. (2020). *Minerale und Gesteine: Mineralogie-Petrologie-Geochemie*.

9 Anhang

9.1 Zuordnung der Quantilgrenzen

(Aus: <_LABO_HGW_Anhang_02_2017.xlsx>),

Quelle: LABO-Hintergrundwerte für M-V (Anhang: Tabelle der Hintergrundwerte für Böden, A-101 ff.)

Die grün markierten Werte werden für die Legende im Geo-Portal genutzt und dort dargestellt.

Tabelle 4: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente - Sande

Quartäre Lockersedimente - Sande																
Nutzung: Acker mg/kg	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
Oberboden n	344	42	344	263	346	341	342	181	344	345	265	258	178	176	182	345
Typ 0 50. P.	3	0,41	0,11	2,8	10	7,2	0,041	0,28	5	13	0,28	0,05	0,08	0,49	18	27
90. P.	4,3	0,56	0,17	4,6	15	10,6	0,105	0,5	7,9	17	0,49	0,49	0,16	0,72	29	38
Unterboden n	407	62	411	348	412	412	408	219	413	413	351	346	215	214	220	411
Typ 0 50. F	2,2	0,49	0,09	2,7	8	4,6	0,02	0,2	5,2	6,8	0,13	0,05	0,05	0,44	15	19
90. F	4,4	0,77	0,13	5,2	15	8,6	0,088	0,5	11	12	0,33	0,29	0,18	0,75	27	30
Untergrund n	344	43	344	280	346	344	345	176	344	346	281	281	190	187	193	345
Typ 0 50. P.	2,3	0,44	0,1	2,8	8,3	5,8	0,013	0,14	6,1	5,8	0,13	0,05	0,05	0,51	15	19
90. P.	4,3	0,73	0,13	5,1	15	10	0,067	0,29	12	10	0,37	0,23	0,13	0,74	28	31
Nutzung: Grünland mg/kg	As	Be ^{'2}	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
Oberboden n	148	11	148	110	149	148	144	71	148	147	124	122	117	63	73	148
Typ 0 50. P.	2,6	-0,34	0,1	1,4	9,9	6,3	0,055	0,29	3,6	13	0,27	0,05	0,11	0,39	13	22
90. P.	5,3	—	0,26	3,4	28	17	0,19	0,5	6,3	24	0,51	0,47	0,25	0,74	24	40
Unterboden n	259	19	260	200	260	259	259	96	259	258	244	243	112	109	114	262
Typ 0 50. P.	1,3	-0,49	0,1	1,7	5,4	2,9	0,028	0,15	3,1	4,7	0,13	0,05	0,05	0,38	9,8	11
90. P.	4,1	—	0,12	3,8	12	7,9	0,093	0,52	7,9	12	0,32	0,25	0,14	0,75	27	27
Untergrund n	211	12	218	196	217	218	215	117	218	218	191	194	139	126	143	218
Typ 0 50. P.	1,2	-0,6	0,08	1,7	4,5	4	0,013	0,08	3,4	3,6	0,13	0,05	0,05	0,32	8,1	10
90. P.	3,8	—	0,13	3,9	12	8,9	0,043	0,28	8,5	7,4	0,34	0,13	0,12	0,65	20	22

Tabelle 5: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente - Geschiebelehme, -mergel

Quartäre Lockersedimente - Geschiebelehme, -mergel																
Nutzung: Acker mg/kg Oberboden n Typ O 50. P. 90. P.	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
	113	4	112	81	113	113	112	27	113	113	83	83	83	27	27	113
	4,6	—	0,1	4,7	18	11	0,079	0,33	11	16	0,29	0,05	0,25	0,57	28	40
	6,4	—	0,18	7,2	27	16	0,14	0,43	17	22	0,56	0,56	0,25	0,8	40	53
Nutzung: Grünland mg/kg Oberboden n Typ O 50. P. 90. P.	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo ²	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U ²	V ²	Zn
	79	0	79	60	80	80	78	14	80	79	70	69	70	14	14	80
	5	—	0,1	4,3	19	12	0,075	0,3	11	17	0,25	0,05	0,25	0,56	30	42
	7,4	—	0,18	6,5	27	16	0,24	—	16	28	0,59	0,23	0,25	—	—	59
Ohne Nutzungsunterscheidung mg/kg Unterboden n Typ O 50. P. 90. P.	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
	346	27	350	279	352	351	347	121	352	351	296	294	146	143	146	351
	5,1	0,9	0,1	5,8	20	11	0,04	0,29	15	12	0,22	0,05	0,12	0,63	31	36
	7	1,08	0,13	8,7	28	16	0,09	0,47	21	18	0,62	0,6	0,23	0,94	42	50
Ohne Nutzungsunterscheidung mg/kg Untergrund n Typ O 50. P. 90. P.	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
	319	25	322	288	325	324	323	146	323	324	288	286	166	158	168	323
	4,2	0,69	0,1	4,9	17	11	0,025	0,22	13	10	0,22	0,05	0,05	0,65	26	32
	6,2	1,09	0,13	7,9	24	15	0,097	0,36	19	15	0,6	0,31	0,18	0,85	37	44

Tabelle 6: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente – Tone & Schluffe

Quartäre Lockersedimente - Tone																
Nutzung: Acker mg/kg	As ²		Cd ⁴	Co ²	Cr ⁴	Cu ⁴	Hg ⁴		Ni ⁴	Pb ⁴	Sb ²	Se ²	Tl ²			Zn ⁴
Oberboden n	10		30	10	30	30	30		30	30	10	10	10			30
Typ 0 50. P.	(7,3)		0,2	(9,0)	39	23	0,09		21	24	(0,22)	(0,05) ¹	(0,25) ¹			72
90. P.	—		0,4	—	58	27	0,11		27	33	—	—	—			93
Quartäre Lockersedimente - Schluffe																
Ohne Nutzungsunterscheidung mg/kg	As	Be ²	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
Unterboden/grund n	56	11	56	56	56	57	57	34	56	57	57	56	57	34	35	56
Typ 0 50. P.	8,2	(1,1)	0,10 ¹	9,7	35	20	0,06	0,37	26	19	0,42	0,05 ¹	0,25 ¹	0,98	59	60
90. P.	12	—	0,22	16	52	29	0,2	0,63	43	32	1,1	0,4	0,29	1,4	77	86
Ohne Nutzungsunterscheidung mg/kg	As		Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
Unterboden/grund n	52		52	53	52	53	52	34	53	53	53	52	53	21	34	53
Typ 0 50. P.	4,3		0,10 ¹	4,2	13	9,7	0,021	0,50 ¹	10	11	0,22	0,05 ¹	0,16 ¹	0,84	23	24
90. P.	8,1		0,15	8,5	24	15	0,074	0,55	19	17	0,69	0,28	0,25 ¹	2	42	40

Für Oberböden entsprachen nur 4 Proben den Kriterien. Daher wird für Oberböden aus Schluff keine Auswertung vorgenommen.
Quelle: SCHWEDER etal (1996)

Tabelle 7: Hintergrundwerte für Quartäre Lockersedimente - Torfe

Quartäre Lockersedimente - Torfe																
Ohne Nutzungsunterscheidung nng/kg	As		Cd	Co	Cr	Cu	Hg		Ni	Pb	Sb	Se	Tl			Zn
Oberboden n	90		89	51	88	89	89		89	90	52	50	51			90
Typ 0 50. P.	6,6		0,1	1,2	13	12	0,24		4,6	34	0,26	0,05	0,25			29
90. P.	29		0,93	3,8	36	27	0,39		8,8	48	0,75	0,05	0,25			57
Ohne Nutzungsunterscheidung mg/kg	As		Cd	Co	Cr	Cu	Hg		Ni	Pb	Sb	Se	Tl			Zn
Unterboden/grund n	216		217	180	216	220	217		215	217	180	181	182			218
Typ 0 50. P.	1,5		0,1	0,5	2	7	0,18		3	7	0,17	0,05	0,25			8,1
90. P.	15		0,28	4,1	14	17	0,6		9,8	23	0,46	0,05	0,25			34

9.2 Legende zur oberflächengeologischen Übersichtskarte

WMS (https://www.umweltkarten.mv-regierung.de/script/mv_a7_uek_wms.php)

Oberflächengeologie

BILDUNGEN

rezente Sedimente des Ostseebodens

-  Schlick
-  Feinsand
-  Mittelsand
-  Grobsand
-  Restsediment auf Geschiebemergel
-  Steine
- fluviatile und limnische Sedimente
-  Sand (marin-brackisch)
-  Niedermoortorf
-  Hochmoortorf
-  Moorerde
-  Auelehm
-  Sand, fluviatil
- äolische Sedimente
-  Dünensand
-  Flugsand

-  Sand des Urstromtales
-  Feinsand, schluffig in Becken
-  Schluff in Becken
-  Sand der Hochfläche
-  Sand u. Kiessand der Sander
-  Kiessand u. Sand der Oser
-  Sand in Spalten
-  Geschiebelehm u. -mergel der Grundmoräne
-  Endmoränen
-  Sand in o. unter Grundmoräne
-  Sand u. Kiessand (glazifluviatil) prälsterglazial
-  Geschiebelehm der Grundmoräne
-  Sand u. Kiessand (fluviatil)
-  Tertiär (Schollen)
-  Kreide (Schollen)
-  Jura (Schollen)
-  Vollformen
-  Gew

VOLLFORMEN

-  Sand in Spalten, z.T. mit kamesartigen Formen, auch mit Geschiebemergeldecke
-  Vollformen (überwiegend glazitektonischer Genese); ältere Durchtragungen

RANDLAGEN

wahrscheinlicher Verlauf

-  W3V
-  W3 bzw. W3R
-  W2
-  W2 max.
-  W1F

unsicherer Verlauf

-  W3V
-  W3 bzw. W3R
-  W2
-  W2 max.
-  W1F
-  W1B