

Bodenversauerung und Schwermetallfreisetzung

Zusammenfassender Abschlussbericht zu den
Projekten „Säureinduziertes Puffervermögen von
Böden“ und „Auswirkungen der Versauerung auf
Böden und Gewässer“



böden



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Bodenversauerung und Schwermetallfreisetzung

**Zusammenfassender Abschlussbericht zu den
Projekten „Säureinduziertes Puffervermögen von
Böden“ und „Auswirkungen der Versauerung auf
Böden und Gewässer“**

57 Seiten, 12 Abbildungen, 10 Tabellen, Augsburg 2014

UmweltSpezial

Impressum

Bodenversauerung und Schwermetallfreisetzung

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax.: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept/Redaktion:

LfU, Referat 108: Dr. Thorsten Scheel, Dr. Bernd Schilling, Dr. Edzard Hangen, Dr. Raimund Prinz,
Referat 106: Dr. Michael Wittenbecher

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Februar 2014

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



Europäische Union
„Investition in Ihre Zukunft“
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 5 |
| 2 | Ziele | 6 |
| 3 | Material und Methoden | 7 |
| 3.1 | Untersuchungsgebiet | 7 |
| 3.1.1 | Geologie und Böden | 8 |
| 3.1.2 | Standorte der Probenahme | 8 |
| 3.2 | Ermittlung von Critical Loads für das bayerische Interreg-Gebiet | 8 |
| 3.2.1 | Depositionsparameter: BC_{dep} , S_{dep} , N_{dep} und Cl_{dep} | 9 |
| 3.2.2 | Freisetzungsrates basischer Kationen aus der Silikatverwitterung, BC_w | 10 |
| 3.2.3 | Aufnahme von basischen Kationen und Stickstoff durch den Waldbestand: BC_u , N_u | 11 |
| 3.2.4 | Stickstoffimmobilisierungsrate: N_i | 12 |
| 3.2.5 | Denitrifikationsrate: N_{de} | 12 |
| 3.2.6 | Kritischer Austrag an Säureneutralisationskapazität: $ANC_{le(crit)}$ | 12 |
| | 3.2.6.1 <i>Schutz vor Toxizität</i> | 13 |
| | 3.2.6.2 <i>Bodenstabilität</i> | 13 |
| | 3.2.6.3 <i>Typischer Boden pH-Wert</i> | 14 |
| 3.3 | Analyse von Bodenproben zur Ableitung versauerungsrelevanter Parameter | 14 |
| 3.3.1 | Bestimmung der Säureneutralisationskapazität (pHstat-Extraktion) | 14 |
| 3.3.2 | Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) | 15 |
| 3.3.3 | Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S_4) | 16 |
| 3.3.4 | Bestimmung von Sulfatpools | 16 |
| 3.3.5 | Bestimmung von oxalat- und dithionitlöslichen Eisengehalten | 16 |
| 3.3.6 | Bestimmung der Element-Mobilität über sequenzielle Extraktion zur Beurteilung der säureinduzierten Freisetzung | 16 |
| 3.4 | Auswertung der Analysenergebnisse | 17 |
| 3.4.1 | Aggregation nach LABO | 17 |
| 3.4.2 | Statistische Auswertung der Gesamtdatensätze der Laboranalysen | 17 |
| 3.4.3 | Substratspezifische Auswertung | 17 |
| 4 | Ergebnisse und Schlussfolgerungen | 19 |
| 4.1 | Maximale saure Einträge ohne nachhaltigen Einfluss auf den Boden (Critical Load) | 19 |
| 4.2 | Säureneutralisationskapazität der Böden | 23 |
| 4.3 | Bestimmung der säureinduzierten Schwermetall- und Nährstofffreisetzung aus dem Boden mittels sequenzieller Extraktion sowie deren Einfluss auf Grund- und Oberflächengewässer | 25 |
| 4.4 | Abgrenzung versauerungsempfindlicher Regionen und von Gebieten mit hohem Potenzial an Schwermetall- und Stoffausträgen | 28 |
| 4.5 | Schlussfolgerungen | 30 |
| 5 | Literatur | 31 |

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | 33 |
| Tabellenverzeichnis | 34 |
| 6 Anhang | 35 |
| 6.1 pH-stat Analyse | 36 |
| 6.2 Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) | 37 |
| 6.3 Wasserextrakt (S4) | 38 |
| 6.4 Ammoniumfluorid-Extrakt | 39 |
| 6.5 Sequenzielle Extraktion | 40 |
| 6.6 Oxalat- und dithionitlösliche Metalle | 53 |
| 6.7 Elementar-Analytik | 54 |
| 6.8 Königswasser-Extrakt | 55 |
| 6.9 Ammoniumnitrat-Extrakt | 56 |
| 6.10 pH CaCl_2 | 57 |

1 Einleitung

Im Zuge der Industrialisierung stiegen die Emissionen von Stickstoff und Schwefel bis in die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts in Mitteleuropa stark an. Durch den Einsatz von Rauchgasentschwefelungsanlagen konnten die Emissionen an Schwefel seitdem sehr stark reduziert werden. Im Gegensatz dazu befinden sich die Stickstoffemissionen weiterhin auf hohem Niveau und tragen durch den Eintrag im Niederschlagswasser zur Versauerung der Wälder bei. Die Menge des Eintrags in ein Ökosystem über die Luft ist grundsätzlich abhängig von der Nähe zu Emittenten, der vorherrschenden Windrichtung und den Rezeptoreigenschaften der Ökosysteme.

Die Grundgebirgskette im Grenzgebiet zwischen der Tschechischen Republik und Bayern stellt in diesem Zusammenhang eine topographische Barriere für ferntransportierte Schadstoffe dar. Die mit Fichten bestockten Hochlagen des Franken-, Böhmer- und Bayerwaldes sowie des Fichtelgebirges kämmten über mehrere Jahrzehnte hinweg die Schadstoffe ganzjährig aus der Luft aus. Von den Nadeln wurden die Schadstoffe mit dem Regen abgewaschen und gelangten in die Böden. Das tschechisch-bayerische Grenzgebiet wird dominiert von sauren Gesteinen des kristallinen Grundgebirges. Die Böden selbst entwickelten sich fast ausschließlich aus basenarmen Ausgangssubstraten wie Granit, Grauwacke, Gneis oder Sanden und besitzen ein nur geringes Puffervermögen gegenüber den eingetragenen Säuren. Der Versauerungsprozeß in der Region wurde durch die saure Deposition weiter beschleunigt, welche einen starken Einfluß auf die Pufferkapazität des Bodens besitzt. Trotz der stark zurückgehenden Immissionen von Säurebildnern seit Beginn der 1990er Jahre zeigen die Sickerwässer und Oberflächenwässer der Region immer noch Versauerungserscheinungen und erhöhte Schadstoffkonzentrationen. Im bayernweiten Vergleich weisen die Humusaufgaben der Böden Ostbayerns außerdem die niedrigsten pH-Werte bis flächendeckend unter pH 4 auf, was die Intensität der Versauerung verdeutlicht.

Die Folgen der Bodenversauerung werden als Schäden am Baumbestand sowie als Beeinträchtigung der Grundwasser- und Fließgewässerqualität deutlich. Durch Aluminium, das bei pH-Werten von unter 4 als dominierendes Kation in der Bodenlösung auftritt, kann es zu Schäden an Wurzeln kommen, wodurch die Nährstoffversorgung der Bäume beeinträchtigt wird. Daneben sind viele Schwermetalle bei niedrigen pH-Werten mobil, was eine Beeinträchtigung der Grundwasserqualität infolge fortschreitender Versauerung bedeuten kann.

Das Projekt wurde im bayerisch-tschechischen Gebiet (Interreg III und Interreg IV) grenzüberschreitend mit Mitteln des EU-Fonds (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) „Investition in Ihre Zukunft“) durchgeführt und kofinanziert.

2 Ziele

Im Zuge der Projekte „Säureinduziertes Puffervermögen von Böden“ und „Auswirkungen der Versauerung auf Böden und Gewässer“ wurden im bayerischen Grenzgebiet zur Tschechischen Republik das Ausmaß der Versauerung der Böden quantifiziert und das Puffervermögen der Böden abgeschätzt. Die Datengrundlage zur Bewertung der Pufferkapazitäten und des Stofftransports in andere Umweltkompartimente, welche äußerst sensitiv auf weitere Einträge reagieren, war zu Projektbeginn nicht ausreichend. Die Projekte zielten daher darauf ab, diese Datengrundlage zu verbessern und eine Abschätzung des Stofftransports zu ermöglichen. Im Einzelnen sollten Daten zu pH-Werten, Bodenkenndaten und Critical Loads erhoben und in vollzugsunterstützenden Karten dargestellt werden. Durch die punktbezogenen Laboruntersuchungen und die flächenhafte Charakterisierung der Critical Loads können für die durch Säureinträge besonders in der Vergangenheit stark belastete nordbayerisch-tschechische Grundgebirgsregion kleinräumige Abstufungen der Belastung, des Schadzustandes der Ökosysteme und der Ökosystemstabilität ermittelt werden. Die Ermittlung der Critical Loads, der Boden-pH-Werte, der Säureneutralisationskapazität der unterschiedlichen Bodenformen sowie deren säureinduziertes Schwermetall- und Nährstofffreisetzungspotential war ein wichtiges Ziel dieser Arbeit. Es läßt sich feststellen, dass der anhaltend hohe atmosphärische Stickstoffeintrag nicht nur das Waldökosystem sättigt, sondern auch eine Gefahr für das Grund- und Oberflächenwasser durch Austrag im Sickerwasser darstellt. Ähnliches gilt in umgekehrter Weise für die Versauerung der Böden. Die Verdrängung basischer Nährelemente vom Austauscherkomplex des Bodens durch Nachlieferung säurewirksamer Elemente, wie z. B. Aluminium bzw. Säuren wie Salpeter- und Schwefelsäure, führt nicht nur zum Verlust wichtiger Nährelemente, sondern bei basenarmen Substraten bei den meisten Waldbaumarten zu Mangelercheinungen und schließlich zu den sogenannten „neuartigen Waldschäden“. Die Basensättigung und der –vorrat ist in den „Silikatgebieten“ wie dem ostbayerischen Grenzgebirge am geringsten. Deshalb ist es besonders hier von Bedeutung, Hinweiskarten zum Zustand der Böden zu erstellen, um insbesondere potentielle Gefahren für das Grundwasser zu erkennen und ggf. frühzeitig gegensteuern zu können.

Von den Fachstellen der Forstverwaltung kann darüber hinaus gezielt die Notwendigkeit geeigneter Meliorations- und Anpassungsmaßnahmen (z. B. Baumartenwahl, Waldkalkung) beurteilt werden. Die Ergebnisse des Projektes erhöhen darüber hinaus die Sensibilität der Bevölkerung auf tschechischer und bayerischer Seite für den Zustand unserer Umwelt, im Besonderen für den Bodenschutz, aber auch für Belange des Schutzes von Grund- und Oberflächenwasser. Diese neu erhobenen Daten über den Zustand des Bodens werden Fachanwendern, Eigentümern und den Behörden zur Verfügung gestellt und dienen als Grundlage für politische oder fachliche Entscheidungen auf staatlicher und regionaler Ebene.

Gemäß der INTERREG-Publizitätsvorschriften, informiert das LfU auch im Internet über die beiden Projekte (Säureinduziertes Puffervermögen von Böden; Auswirkung der Versauerung auf Böden und Gewässer). Die gemeinsame Darstellung von Untersuchungsergebnissen in tabellarischer Form und als grenzüberschreitende Karten wurde in dem tschechischen Bericht „The consequences of acidification on soil and water resources – Critical loads and cross border maps“ umgesetzt.

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst den bayerischen Teil des INTERREG-Gebietes (Abb. 1) von den jeweils grenznah gelegenen Landkreisen Kronach und Hof im Norden bis Passau im Süden.



Abb. 1: Interreg III- und Interreg IV-Gebiet

3.1.1 Geologie und Böden

Das Untersuchungsgebiet in Ostbayern lässt sich im Wesentlichen durch drei geologische Einheiten charakterisieren. Im Osten und Norden erhebt sich das Grundgebirge als Frankenwald, Fichtelgebirge, Oberpfälzer Wald und Bayerischer Wald bis in Höhen von über 1.000 m ü. NN. Dieses Grundgebirge wird vorwiegend aus sauren Gesteinen wie Granit und Gneis im Fichtelgebirge, Oberpfälzer und Bayerischen Wald und Grauwacken und Tonschiefern im Frankenwald aufgebaut. Im Westen schließt sich die Bruchschollenzzone an, deren Grenze zum Grundgebirge die nordwest-südost gerichtete Störung der Fränkischen Linie darstellt. Das geologische Ausgangssubstrat der Bruchschollen reicht von nährstoffarmen Triassanden bis zu nährstoffreichem Muschelkalk. Weite Bereiche werden von Kreidesanden aufgebaut. Im Westen wird das Untersuchungsgebiet durch die kalkreichen Erhebungen der Fränkischen Alb begrenzt.

Die Entwicklung der Böden des Untersuchungsgebietes ist sehr stark vom Ausgangssubstrat abhängig. Darüber hinaus begünstigten die langjährigen Säureeinträge in die Wälder entlang des Grundgebirgskammes im Osten die Ausprägung typischer Bodeneigenschaften. Charakteristisch für diese Standorte ist der Prozess der Podsolierung, welcher in unterschiedlicher Stärke vorangeschritten ist. Wo das Ausgangssubstrat basenreicher war, hinterließen die Prozesse der Bodenversauerung noch keine sichtbaren Spuren und es entwickelten sich Braunerden. Auf den armen Standorten aus Kreide- oder tertiären Sanden entwickelten sich farbenprächtige Podsole. Auf den basenreichen Hängen der Fränkischen Alb hingegen sind Rendzinen, Terrae fuscae und Braunerden als die dominierenden und charakteristischen Bodentypen ausgeprägt.

3.1.2 Standorte der Probenahme

Die im Zuge des vorausgegangenen Projektes „Wissenschaftliche Grundlagen für den Vollzug der bayerischen Bodenschutzgesetze (GRABEN)“ horizontweise im 8 km x 8 km Raster entnommenen Bodenproben wurden hinsichtlich versauerungsrelevanter Parameter analysiert. Hierfür standen für 156 Waldstandorte innerhalb des Untersuchungsgebietes insgesamt 921 Bodenproben zur Verfügung.

3.2 Ermittlung von Critical Loads für das bayerische Interreg-Gebiet

In diesem F+E-Projekt soll die Säureempfindlichkeit der betrachteten Pedo-Ökosysteme ermittelt werden.

Um die Auswirkungen aktueller Schadstoffdepositionen auf die Ökosysteme abschätzen und Handlungsempfehlungen zur Verbesserung ihrer Stabilität geben zu können, wurden für das Untersuchungsgebiet flächenhaft die Critical Loads bestimmt. Unter Critical Loads versteht man flächenbezogene Schwellenwerte für den Eintrag von Schadstoffen, bei deren Einhaltung nach heutigem Kenntnisstand nicht mit langfristig schädlichen Veränderungen der betrachteten Ökosysteme zu rechnen ist. Bei der Berechnung der Critical Loads werden durch einen Massenbilanzansatz Säurebildnern puffernd wirkenden Kationen, insbesondere Ca, Mg und K, gegenübergestellt. Die kartographische Darstellung der ermittelten Critical Loads zeigt die räumliche Verteilung der maximal tragbaren Säuredeposition (Schwefel und Stickstoff) im bayerisch-tschechischen Betrachtungsraum. Die Methodik wurde mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft abgestimmt.

Die Berechnung der Critical Loads (CL) für das Interreg-Gebiet erfolgte nach UBA (1996):

$$CL(S + N) = BC_{dep} - Cl_{dep} + BC_w - Bc_u + N_i + N_u + N_{de} - ANC_{le(crit)} \quad (1)$$

mit

| | |
|------------------|--|
| BC_{dep} | Deposition basischer Kationen [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| Cl_{dep} | Chloriddeposition [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| BC_w | Freisetzungsrates basischer Kationen durch Verwitterung [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| Bc_u | Basenaufnahme durch den Waldbestand [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| N_i | Stickstoffimmobilisierungsrate [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| N_u | Stickstoffaufnahme durch den Waldbestand [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| N_{de} | Denitrifikationsrate [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| $ANC_{le(crit)}$ | kritischer Austrag an Säureneutralisationskapazität [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |

Die separate Berechnung der Critical Loads für Schwefel und für Stickstoff basiert auf:

$$CL_{max}(S) = BC_{dep} - Cl_{dep} + BC_w - Bc_u - ANC_{le(crit)} \quad (2)$$

$$CL_{max}(N) = N_i + N_u + \frac{CL_{max}(S)}{1 - f_{de}} \quad (3)$$

mit

| | |
|----------|------------------------|
| f_{de} | Denitrifikationsfaktor |
|----------|------------------------|

Zu beachten ist, dass zwischen BC und Bc der Unterschied darin besteht, dass BC neben Ca, Mg und K auch Na einbezieht, während Bc nur Ca, Mg und K berücksichtigt.

Mittels GIS wurden für das Untersuchungsgebiet Karten der Einzelparameter der Gleichung 1 erstellt (bspw. Silikatverwitterungsrate). Eine Verrechnung der Einzelparameter durch Überlagern der Karten führte schließlich zur Berechnung der Critical Loads für das Untersuchungsgebiet.

Die einzelnen Parameter der Gleichung wurden dabei auf den nachfolgend beschriebenen Wegen generiert:

3.2.1 Depositionsparameter: BC_{dep} , S_{dep} , N_{dep} und Cl_{dep}

Zur Ermittlung der Stoffdepositionen im Untersuchungsraum wurden für den bayerischen Raum die Ergebnisse des MAPESI Projektes des Umweltbundesamtes (UBA, 2011) verwendet. Für die grenzübergreifende Berechnung der Critical Loads für das gesamte Interreg-Fördergebiet wurde aus Gründen der Einheitlichkeit des Datensatzes auf die Daten des EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme, www.emep.int) zurückgegriffen.

3.2.2 Freisetzungsrates basischer Kationen aus der Silikatverwitterung, BC_w

Die Freisetzungsrates basischer Kationen aus der Silikatverwitterung wurde über die Einheiten der Übersichtsbodenkarten 1 : 25 000 erschlossen. Auf diese Weise entstand eine Karte der Nachlieferung basischer Kationen aus der Silikatverwitterung im Maßstab 1 : 25 000.

Die Einheiten der Übersichtsbodenkarten wurden in ArcGIS digital verschnitten mit den geologischen Hintergrunddaten der Bodenübersichtskarte (BÜK) 1000. Aus diesen flächenhaft vorliegenden Informationen wurde nun die Silikatverwitterungsrates abgeschätzt.

Die klassierte Verwitterungsrates kann bestimmt werden in Abhängigkeit von der Textur- und der Muttergesteinsklasse (Tab. 1).

Tab. 1: Klassierte Verwitterungsrates [$eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$] nach UBA (1996)

| Klasse der Verwitterungsrates | Texturklasse | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|----|----|----|----|----|
| | Muttergesteinsklasse | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 – Torfe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 – saure Gesteine | 1 | 3 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 2 – neutrale Gesteine | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 3 – basische Gesteine | 2 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 4 – kalkhaltige Gesteine | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |

Die Texturklasse kann bestimmt werden in Abhängigkeit vom Sandgehalt und dem Tongehalt (Tab. 2).

Tab. 2: Ableitung der Texturklasse aus den Sand- und Tongehalten (UBA, 1996)

| Texturklasse | Name | Definition |
|--------------|------------|--|
| 1 | grob | Ton < 18% und Sand > 65% |
| 2 | mittelgrob | Ton < 35% und Sand > 15%, aber Ton > 18% wenn Sand > 65% |
| 3 | mittelfein | Ton < 35% und Sand < 15% |
| 4 | fein | 35% < Ton < 60% |
| 5 | sehr fein | Ton > 60% |

$$BC_w(T) = z \cdot 500 \cdot (WR_c - 0,5) \cdot e^{\left(\left[\frac{A}{281} \right] - \left[\frac{A}{273+T} \right] \right)} \quad (4)$$

mit:

- $BC_w(T)$ temperaturkorrigierte Freisetzungsrates basischer Kationen durch Verwitterung [$eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
- z durchwurzelte Tiefe [m]
- WR_c klassierte Verwitterungsrates (siehe Tab. 1) [$eq\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
- A Quotient aus Aktivierungsenergies und idealer Gaskonstante - 3600 [K]
- T Jahresmitteltemperatur (siehe Tab. 6) [$^{\circ}C$]

Für die durchwurzelte Tiefe wurden 0,8 m gewählt, es sei denn die Profiltiefe war geringer, oder reduzierende oder sehr stark tonhaltige Horizonte behinderten eine tiefere Durchwurzelung.

3.2.3 Aufnahme von basischen Kationen und Stickstoff durch den Waldbestand: B_{cu} , N_u

Die Aufnahme basischer Kationen in den Baumbestand und der anschließende Ernteentzug stellen eine wichtige Reduktion des Vorrats an basischen Kationen in den Waldökosystemen dar. Zur Berechnung des Ernteentzugs wurde die Waldverteilung gemäß des CORINE-Landnutzungsdatensatzes und dessen Unterscheidung in Laub-, Misch- und Nadelwald als Grundlage verwendet. Zur Abschätzung der Aufnahme basischer Kationen durch die unterschiedlichen Bestandeszusammensetzungen wurde in Anlehnung an die von NAGEL et al. (2004) vorgegebenen schlechtesten und günstigsten Bedingungen für Fichte und Buche mittlere Aufnahmen basischer Kationen bzw. Stickstoff angenommen (Tab. 3).

| Waldtyp | B_{cu} [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] | N_u [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
|-----------|--|---|
| Nadelwald | 480 | 400 |
| Mischwald | 620 | 485 |
| Laubwald | 760 | 570 |

Tab. 3: Basen- (B_{cu}) und Stickstoffaufnahme (N_u) in Abhängigkeit vom Waldtyp

Die maximale Aufnahme basischer Kationen durch den Bestand wird dabei jedoch limitiert durch die Höhe der Deposition (BC_{dep}), die Höhe der Nachlieferung basischer Kationen aus der Silikatverwitterung (BC_w) und die Höhe des Basenaustrags über das Sickerwasser (NAGEL et al., 2004).

Für die Berechnung wurde die vereinfachende Annahme getroffen, dass Nadelwälder ausschließlich aus Fichte, sowie Laubwälder ausschließlich aus Buche bestehen. Die aus den Ertragstafeln entnommenen Werte für die durchschnittlichen jährlichen Zuwachsraten nach 100 Jahren sind in Tab. 4 zu finden. Die Aufnahme an Stickstoff und basischen Kationen wurde ermittelt, indem die durchschnittlichen jährlichen Zuwachsraten mit den Gehalten an basischen Kationen und Stickstoff des Derbholzes samt Rinde (Tab. 5) verrechnet wurden.

| | Beste Ertragsklasse [t TS ha ⁻¹ a ⁻¹] | Schlechteste Ertragsklasse [t TS ha ⁻¹ a ⁻¹] | |
|--------|---|--|------------------------------|
| Fichte | 6 | 3,1 | WENK, RÖMISCH, GEROLD 1984 |
| Buche | 6,8 | 3,6 | DITTMAR, KNAPP, LEMBCKE 1983 |

Tab. 4: Durchschnittliche jährliche Zuwachsraten (t) nach 100 Jahren

| | Ca | Mg [eq t ⁻¹ TS] | K | N |
|--------|------|-------------------------------|------|-------|
| Fichte | 70,4 | 14,8 | 19,7 | 87,1 |
| Buche | 89,8 | 21,4 | 35,8 | 110,0 |

Tab. 5: Gehalte an basischen Kationen und Stickstoff im Derbholz mit Rinde (JACOBSEN et al. 2002, DE VRIES et al. 1990)

3.2.4 Stickstoffimmobilisierungsrate: N_i

Bei der Berechnung der Höhe der Stickstoffimmobilisierungsrate (N_i) wurde nach UNECE/CCE (1993) die Verteilung der Jahresmitteltemperatur in Bayern herangezogen. Die Höhe von N_i ist dabei direkt von der Jahresmitteltemperatur abhängig (Tab. 6). Die Verteilung der Jahresmitteltemperatur wurde dem Klimaatlas Bayern (BAYER. KLIMAFORSCHUNGSVERBUND, 1996) entnommen, wobei der langjährige Mittelwert der Jahre 1951 bis 1980 Verwendung fand.

| Jahresmitteltemperatur [°C] | N_i [eq ha ⁻¹ a ⁻¹] |
|-----------------------------|--|
| < 5 | 357 |
| 5 | 286 |
| 6 | 214 |
| 7 | 143 |
| 8 | 107 |
| > 8 | 71 |

Tab. 6: Stickstoffimmobilisierungsrate (N_i) in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur nach UNECE/CCE (1993)

3.2.5 Denitrifikationsrate: N_{de}

Die Berechnung der Denitrifikation erfolgte auf Grundlage der vorherrschenden Tongehalte der jeweiligen Legendeneinheiten der Übersichtsbodenkarten. Je höher der Tonanteil eines Bodens ist, desto wahrscheinlicher ist eine höhere Denitrifikationsrate. Nach DE VRIES et al. (1990) wird dabei der Denitrifikationsfaktor f_{de} eingeführt, wobei gilt

$$N_{de} = f_{de} \cdot (N_{dep} - N_u - N_i) \text{ wenn } N_{dep} > N_u + N_i \quad (5)$$

sonst $N_{de} = 0$

f_{de} wird nach DE VRIES et al. (1990) in Abhängigkeit vom Tongehalt der jeweiligen Horizonte parametrisiert. Zur Ermittlung von f_{de} wurden die Modellprofile der jeweiligen Legendeneinheiten der Übersichtsbodenkarten 1:25 000 herangezogen. Dem dort für jeden Horizont ausgewiesenen Tonanteil wurde nach DE VRIES et al. (1990) ein f_{de} -Faktor zwischen 0,1 (<20 % Tonanteil) und 0,5 (>50 % Tonanteil) zugeordnet (Tab. 7). Dieser Faktor wurde über die verschiedenen Horizonte bis zu einer maximalen Bodentiefe von 0,8 m tiefenstufengewichtet gemittelt.

N_{dep} atmosphärische Gesamt-Stickstoff Deposition [eq ha⁻¹ a⁻¹]
 f_{de} Denitrifikationsfaktor

| Tongehalt [%] | f_{de} |
|---------------|----------|
| < 20 | 0,1 |
| 20-30 | 0,2 |
| 30-40 | 0,3 |
| 40-50 | 0,4 |
| > 50 | 0,5 |

Tab. 7: Ableitung des Denitrifikationsfaktors f_{de} vom Tongehalt

3.2.6 Kritischer Austrag an Säureneutralisationskapazität: $ANC_{le(crit)}$

Zur Ermittlung des kritischen Austrags an Säureneutralisationskapazität (ANC) bedarf es der Bereitstellung mehrerer Parameter.

Zur Ermittlung von $-ANC_{le(crit)}$ wurden drei verschiedene Verfahren verwendet. Zur Berechnung der Critical Loads wurde der niedrigste Wert der drei folgenden Berechnungsmethoden (Kap. 3.2.6.1 bis 3.2.6.3) verwendet.

3.2.6.1 Schutz vor Toxizität

$$-ANC_{le(crit)} = Q^{\frac{2}{3}} \cdot \left(1,5 \cdot \frac{BC_{dep} + BC_w - BC_u}{K_{gibb} \cdot (Bc / Al)_{crit}} \right)^{\frac{1}{3}} + \left(1,5 \cdot \frac{BC_{dep} + BC_w - BC_u}{(Bc / Al)_{crit}} \right) \quad (6)$$

| | |
|------------------|--|
| Q | Sickerwasserrate [$m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |
| BC_{dep} | Deposition basischer Kationen (nur Ca, K, Mg) [$\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |
| BC_w | Verwitterung basischer Kationen (nur Ca, K, Mg) [$\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |
| BC_u | Aufnahme basischer Kationen (nur Ca, K, Mg) [$\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |
| K_{gibb} | Gibbsit Gleichgewichtskonstante - 300 [$m^6 \text{ eq}^{-2}$] |
| $(Bc/Al)_{crit}$ | kritisches Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminium (verwendeter Wert = 1,2) |

Nach UBA (1996) wird für K_{gibb} ein Wert von $-300 \text{ m}^6 \text{ eq}^{-2}$ angenommen. Die Sickerwasserrate wurde nach dem Verfahren von RÖTZER (1996) berechnet und liegt für die Fläche Bayerns vor. Das kritische Kationen-Aluminium-Verhältnis $(Bc/Al)_{crit}$ wurde zu 1,2 angenommen (UBA, 1996).

Die BC_w wurde nach UBA (1996) für die verschiedenen Bodentexturen als Anteil zwischen 0,7 und 0,85 von BC_w berechnet.

$$BC_w = BC_w \cdot x_{CaMgK} \quad (7)$$

x_{CaMgK} zwischen 0,70 und 0,85 (in Abhängigkeit von der Bodentextur)

Aufgrund der - kontinentalen Lage des Untersuchungsgebietes wurde keine Seesalzkorrektur durchgeführt.

| Texturklasse | x_{CaMgK} |
|--------------|-------------|
| 1 | 0,7 |
| 2 | 0,74 |
| 3 | 0,78 |
| 4 | 0,82 |
| 5 | 0,85 |

Tab. 8: Mittlere Aufnahme basischer Kationen (BC_u) und Stickstoff (N_u) in Abhängigkeit vom Waldtyp nach UBA (1996)

3.2.6.2 Bodenstabilität

$$-ANC_{le(crit)} = Q^{\frac{2}{3}} \cdot \left(p \cdot \frac{BC_w}{K_{gibb}} \right)^{\frac{1}{3}} + p \cdot BC_w \quad (8)$$

| | |
|------------|--|
| Q | Sickerwasserrate [$m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |
| p | Verhältnis von BC_w zu AL_w (kann für Mitteleuropa als 2 angenommen werden) |
| K_{gibb} | Gibbsit Gleichgewichtskonstante - 300 [$m^6 \text{ eq}^{-2}$] |
| BC_w | Verwitterung basischer Kationen (Ca, K, Mg ohne Na) [$\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |

3.2.6.3 Typischer Boden pH-Wert

$$-ANC_{le(crit)} = Q \cdot (K_{gibb} \cdot [H]_{crit}^3 + [H]_{crit}) \quad (9)$$

| | |
|--------------|---|
| Q | Sickerwasserrate [$m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] |
| K_{gibb} | Gibbsit Gleichgewichtskonstante - 300 [$m^6 \text{ eq}^{-2}$] |
| $[H]_{crit}$ | kritische Protonenkonzentration [eq m^{-3}] |

Die kritische Protonenkonzentration wurde von den unteren tolerierbaren Grenzen des pH-Wertes (Tab. 9) der verschiedenen Bodentypen abgeleitet.

| Puffer | Niedrigster pH-Wert |
|---------------------------|---------------------|
| Karbonat | 6,2 |
| Silikat | 5 |
| Austauscher (Tonminerale) | 4,5 |
| Mn-oxide; Tonminerale | 4,2 |
| Aluminium | 4 |
| Aluminium-Eisen | < 3,8 |

Tab. 9: Untere tolerierbare Grenzen des pH-Wertes nach NAGEL et al. (2004)

3.3 Analyse von Bodenproben zur Ableitung versauerungsrelevanter Parameter

Um die aktuelle ökologische Stabilität des durch Säureimmissionen stark belasteten bayerisch-tschechischen Grenzgebietes zu bewerten, wird in diesem Projekt eine flächenhafte Erfassung der versauerungsrelevanten Parameter der Böden durchgeführt. An Proben von 156 Forststandorten des Interreg-Gebiets in Bayern wurden horizontspezifisch versauerungsrelevante Parameter, wie die Säureneutralisationskapazität (SNK) mittels pHstat-Analyse, die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}), wasserlösliche Stoffe und mobilisierbare Sulfatpools bestimmt sowie eine sequenzielle Extraktion durchgeführt.

3.3.1 Bestimmung der Säureneutralisationskapazität (pHstat-Extraktion)

Die von OBERMANN und CREMER (1993) entwickelte Methode sieht eine Absenkung des pH-Wertes über ein bestimmte Zeit auf einen festen pH-Wert vor. OBERMANN und CREMER (1993) geben einen pH-Wert von 4 vor. Dieser ist auch üblich bei Bestimmungen in der Altlastenbearbeitung (GÄBLER, 1997; HAASE und FÖRSTNER, 1995). In unserer Untersuchung war dies jedoch nicht möglich, da bereits über 50 % der Untersuchungsstandorte pH Werte aufwiesen, die zum Teil deutlich unter pH 4 lagen. Daher wurde in dieser Studie die Methodik abgeändert und die pHstat-Extraktion bei einem ungewöhnlich tiefen pH-Wert von 3 durchgeführt. Die wässrige Bodenprobe wurde über 24 Stunden konstant auf den Ziel-pH 3,0 eingestellt, um eine starke Versauerung zu simulieren. Um diesen pH-Wert konstant zu halten, wird immer wieder Säure (HNO_3) zutitriert. Die innerhalb von 24 h während der Titration durch Pufferreaktionen verbrauchte Säure entspricht der Säureneutralisationskapazität (SNK), die auf diese Weise für die 921 Proben des Untersuchungsraumes bestimmt wurde. Im Extrakt werden die Kationen Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn sowie die Schwermetalle Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Mo, Co und As bestimmt. Daneben erfolgt die Bestimmung von TOC, Sulfat und Ortho-Phosphat. Die Mobilität von Schwermetallen steigt in der Regel mit abnehmendem pH-Wert, so dass mit diesem Verfahren der potentielle Austrag von Schwermetallen unter sehr sauren Verhältnissen (pH 3) simuliert wird. So treten unter diesen Bedingungen verstärkt schon Aluminium und zu einem Teil bereits Eisen in der Bodenlösung auf. Ob und in welchem Maße räumliche Abhängigkeiten innerhalb des Untersuchungsgebietes auftreten, soll durch diese Untersuchung ermittelt werden.

Idealerweise erreichen die Titrationskurven meist nach 24 Stunden ein konstantes Maximum. Allerdings sind nicht alle auftretenden Reaktionen gleich schnell, so dass es viele Proben gab, bei denen der Kurvenverlauf daraufhin deutete, dass der maximale Werte der SNK noch nicht erreicht wurde. Daher wurde für alle Proben eine Kurvenanpassung mit einer Gleichung durchgeführt, welche ein exponentielles Wachstum bis zu einem Maximalwert widerspiegelt.

$$f(x) = a * (1 - e^{-bx}) + c * (1 - e^{-dx}) + g * (1 - e^{-hx}) \quad (10)$$

mit

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| f(x) | Titrationmenge [M] |
| x | Zeit [T] |
| a, b, c, d, g, h | Formparameter der Kurvenanpassung [-] |

Da die Geschwindigkeit der auftretenden Reaktionen sehr unterschiedlich sein kann, wurde ein 3-Komponentenmodell gewählt, welches langsame, mittlere und schnelle Reaktionsgeschwindigkeit abbildete. Über eine Kurvenanpassung wurden die Parameter aus den gemessenen Werten ermittelt. Da der Zeitraum der Messung 24 h betrug, wurde die Extrapolation der SNK mittels der angepassten Gleichung (11) auf einen Zeitraum von 7 Tagen beschränkt, da ansonsten die Unsicherheiten zu groß wären.

3.3.2 Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff})

Die effektive Kationenaustauschkapazität der Bodenproben (KAK_{eff}) ist die Summe aller austauschbar gebundenen Kationen in der Probe bei aktuellem Boden-pH-Wert. Um sie zu erhalten, wird der Boden mit einem Überschuss an Ammoniumchlorid-Lösung (1M NH_4Cl) perkoliert. Dadurch werden alle an der Bodenmatrix austauschbar gebundenen Kationen durch NH_4^+ ersetzt. Die austauschbar gebundenen Kationen gehen in Lösung und können im Eluat gemessen werden. Die Bestimmung der Kationen (Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn) im Extrakt erfolgt mittels ICP. Die Summe der Ladungsäquivalente der Kationen plus der austauschbar gebundenen H^+ -Ionen ergibt die KAK_{eff} . Die austauschbar gebundenen H^+ -Ionen werden durch Differenzbildung der pH-Werte der Perkolutionslösung vor und nach der Perkolation berechnet. Sulfat und Ortho-Phosphat werden im Extrakt photometrisch bestimmt.

Der Anteil der Kationen Ca, Mg, K und Na an der KAK_{eff} stellt die Basensättigung dar, die zusätzlich zum pH-Wert für die Beurteilung des Säurezustandes eines Bodens herangezogen werden kann. Zunehmende Bodenversauerung führt dazu, dass basisch wirkende Kationen (Ca, Mg, K, Na) durch sauer wirkende Kationen (H, Al, Fe, Mn) an den Austauscherplätzen ersetzt werden, wodurch die Basensättigung abnimmt. Je höher die Basensättigung ist, desto mehr Nährstoffkationen stehen dem Baumbestand in der Regel zur Verfügung. Nach BML (1996) kann die Basensättigung in sieben Klassen eingeteilt werden (Tab. 10).

| Elastizität | Basensättigung [%] |
|-------------|--------------------|
| sehr gering | < 5 |
| gering | 6-15 |
| mäßig | 16-30 |
| mittel | 31-50 |
| mäßig hoch | 51-70 |
| hoch | 71-85 |
| sehr hoch | > 85 |

Tab. 10: Klassifizierung der Basensättigung nach BML (1996)

Wird für jeden Horizont eines Standortes der Anteil der basischen und sauren Kationen berechnet, kann ein Tiefengradient der Austauscherbelegung erzeugt werden. Auf diese Weise lässt sich auch die Tiefe der Versauerungsfront im Boden beschreiben.

3.3.3 Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4)

Die Extraktion mit Wasser erfolgte in Anlehnung an DIN 38414 Teil 4. Allerdings wurde das Verfahren im Verhältnis 1 : 8 durchgeführt, d. h. es wurde nur ein Achtel der vorgeschriebenen Substratmenge mit einem Achtel der vorgeschriebenen Wassermenge eluiert. Im Extrakt wurden die folgenden Parameter gemessen: Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cl, TOC, elektrische Leitfähigkeit, pH, Sulfat und Ortho-Phosphat.

3.3.4 Bestimmung von Sulfatpools

Zur Abschätzung der Menge des im Boden gespeicherten Sulfats wurden weitere Analysen an den 921 Proben des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Mittels NH_4F -Extrakt wurde der total mobilisierbare Sulfatvorrat in den verschiedenen Horizonten abgeschätzt. In Anlehnung an den 1 : 5 Extrakt nach PRIETZEL und KÖLLING (1999) wurde hier in einem 1 : 10 S4-Extrakt der annähernd real mobilisierbare Sulfatpool bestimmt. Bei beiden Extrakten wurde die Bodenprobe über 18 h mit dem Extraktionsmittel geschüttelt.

3.3.5 Bestimmung von oxalat- und dithionitlöslichen Eisengehalten

Die Ermittlung von oxalat- und dithionitlöslichen Eisengehalten erfolgte an allen Proben des Mineralbodens. Dies dient als zusätzliche Information zur Beurteilung möglicher Freisetzung von Schwermetallen aus den Böden, da sie Aussagen zur Pedogenese zulässt. Durch Verwitterung freigesetztes Eisen bildet zunächst schlecht kristallisierte Oxihydroxide, die sich im Verlauf der Bodenentwicklung in stärker kristallisierte Formen umwandeln. Die schlecht kristallisierten, amorphen Formen werden durch die oxalat-extrahierbaren Fe-Gehalte (Fe_{ox}) charakterisiert, während mit zunehmendem Alter der Kristallisationsgrad der Eisenoxide in den Böden steigt und damit auch die dithionit-extrahierbaren Fe-Gehalte (Fe_{dit}).

3.3.6 Bestimmung der Element-Mobilität über sequenzielle Extraktion zur Beurteilung der säureinduzierten Freisetzung

Eine Beurteilung der säureinduzierten Freisetzung über einen direkten Vergleich zu den Werten des Eluats der pH-stat Analyse gestaltet sich schwierig, da die Absenkung des pH Wertes über die Zugabe an Säure sich zwischen den Proben extrem stark unterscheidet. Bis zur Erreichung eines Äquilibriums nach 24 h fand in manchen Fällen nur eine Absenkung um 0,1 pH Einheiten statt, bei anderen Proben wurde der pH um 3 Einheiten abgesenkt, wozu eine ungleich höhere Menge an Säure zugeführt werden musste.

Daher wurde nach einer Methodik gesucht, welche eine Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Proben und Standorten ermöglicht. Die sequenzielle Extraktion lässt sich in 5 Mobilitätsklassen einteilen, was eine Beurteilung der ggf. säurebedingten Mobilisierung von Schwermetallen und Nährstoffen ermöglicht.

Mittels dieser Daten werden die aktuelle Versauerung, die fortdauernde Sulfatfreisetzung aus den Bodenpools und das Puffervermögen der Böden gegenüber potentiellen Säureinträgen sowie die damit verbundene mögliche Mobilisierung von Schadstoffen flächendeckend abgeschätzt.

Die sequenzielle Extraktion der Bodenproben wurde nach folgendem Schema in Anlehnung an ZEILEN und BRÜMMER (1989) in fünf Schritten durchgeführt:

1. Austauschbare Kationen (1 M Ammoniumazetat, pH = 7); 20 h schütteln
2. Leicht reduzierbare amorphe Fe/Mn-Oxide
(0,1 M Hydroxylaminhydrochlorid + 0,01 M HNO₃, pH = 2); 30 Minuten schütteln
3. Leicht reduzierbare kristalline Fe/Mn-Oxide (0,2 M Ammoniumoxalat + 0,2 M Oxalsäure, pH = 3);
4 h im Dunkeln schütteln
4. Organische Fraktion, Sulfide (30 % H₂O₂ + 0,02 M HNO₃, pH = 2); 90 Minuten schütteln
5. Residualfraktion (Konzentrierte HNO₃, 120°C); 90 Minuten kochen

In den Eluaten der sequenziellen Extraktion wurden folgende Elemente analytisch erfasst:

Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn sowie P und S.

3.4 Auswertung der Analysenergebnisse

3.4.1 Aggregierung nach LABO

Die Bodenprofile wurden horizontweise beprobt und analysiert. Die Ergebnisse der Analysen wurden nach LABO (2003) zu den Bodentiefenstufen Auflage, Oberboden, Unterboden und Untergrund aggregiert, wobei für jeden Messparameter ein gewichteter Wert unter Berücksichtigung der Horizontmächtigkeit, des Skelettgehalts und der Lagerungsdichte für jede Bodentiefenstufe berechnet wurde.

3.4.2 Statistische Auswertung der Gesamtdatensätze der Laboranalysen

Die nach LABO (2003) aggregierten Datensätze je Analyseverfahren und Parameter wurden mittels SPSS, Vers. 19.0, statistisch ausgewertet. Dabei wurden die folgenden statistischen Parameter ermittelt:

- Stichprobenanzahl
- Mittelwert
- Median
- Minimum
- Maximum
- 90. Perzentil

3.4.3 Substratspezifische Auswertung

Über die im Rahmen der Berechnung der Critical Loads erstellte Karte der Silikatverwitterungsrate konnte jedem Probenahmepunkt über seine Koordinaten ein Ausgangssubstrat zugeordnet werden. Die innerhalb einer Substratgruppe gelegenen Standorte wurden statistisch ausgewertet, in dem Minimum, Maximum, Median und 90. Perzentil eines jeden Parameters für jede LABO-Bodentiefenstufe und jedes Substrat bestimmt wurden.

Die Ergebnisse der pH-stat Analyse, insbesondere der Säureneutralisationskapazität, wurden über eine multiple lineare Regression in die Fläche gebracht. Dazu wurden gebietsbezogene Daten der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) verwendet. Folgende statistisch signifikante Regression konnte berechnet werden:

$$\text{SNK} = 6,154 + 7,52 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Mg}_{\text{max}} + 0,003286 \cdot \text{C}_{\text{max}} + 1,3104 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Ca}_{\text{min}} + 0,0097 \cdot \text{fk}_{\text{min}} - 0,03315 \cdot \text{tot} + 0,0297 \cdot \text{U}_{\text{max}} - 0,02214 \cdot \text{Sk} + 0,02657 \cdot \text{T}_{\text{max}} \quad (11)$$

mit

$$r = 0,706$$

| | |
|--------------------------|---|
| Mg_{max} | max. Magnesiumvorrat [kg/ha] |
| C_{max} | max. org. Kohlenstoffvorrat [t/ha] |
| Ca_{min} | min. Calciumvorrat [kg/ha] |
| fk_{min} | min. Feldkapazität [mm] |
| tot | durchschnittlicher Totwassergehalt [mm] |
| U_{max} | max. Schluffgehalt [%] |
| Sk | durchschnittlicher Skelettgehalt [Vol.-%] |
| T_{max} | max. Tongehalt [%] |

Mittels GIS Software wurden die flächenhaft vorliegenden Daten der LWF mit der obigen Gleichung verrechnet und eine flächenhafte Karte der Säureneutralisationskapazitäten erstellt.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Maximale saure Einträge ohne nachhaltigen Einfluss auf den Boden (Critical Load)

Über den Ansatz der Critical Loads wurden grenzübergreifend die maximalen sauren Einträge für den Boden bestimmt. Die Höhe der Critical Loads entspricht der Menge an Säureäquivalenten, welche in den Boden eingetragen werden kann, ohne dass dadurch nachhaltige Veränderungen auftreten.

Es wurden zum einen Critical Loads für saure Schwefel ($CL_{\max}(S)$) - und Stickstoffeinträge ($CL_{\max}(N)$), (Abb. 2 und Abb. 3) separat und zum anderen Critical Loads für saure Einträge insgesamt ($CL_{\max}(S+N)$) berechnet (s. a. Kapitel 3.2). Dadurch lassen sich Aussagen für die einzelnen Schadstoffe sowie für die Gesamtbelastung treffen.

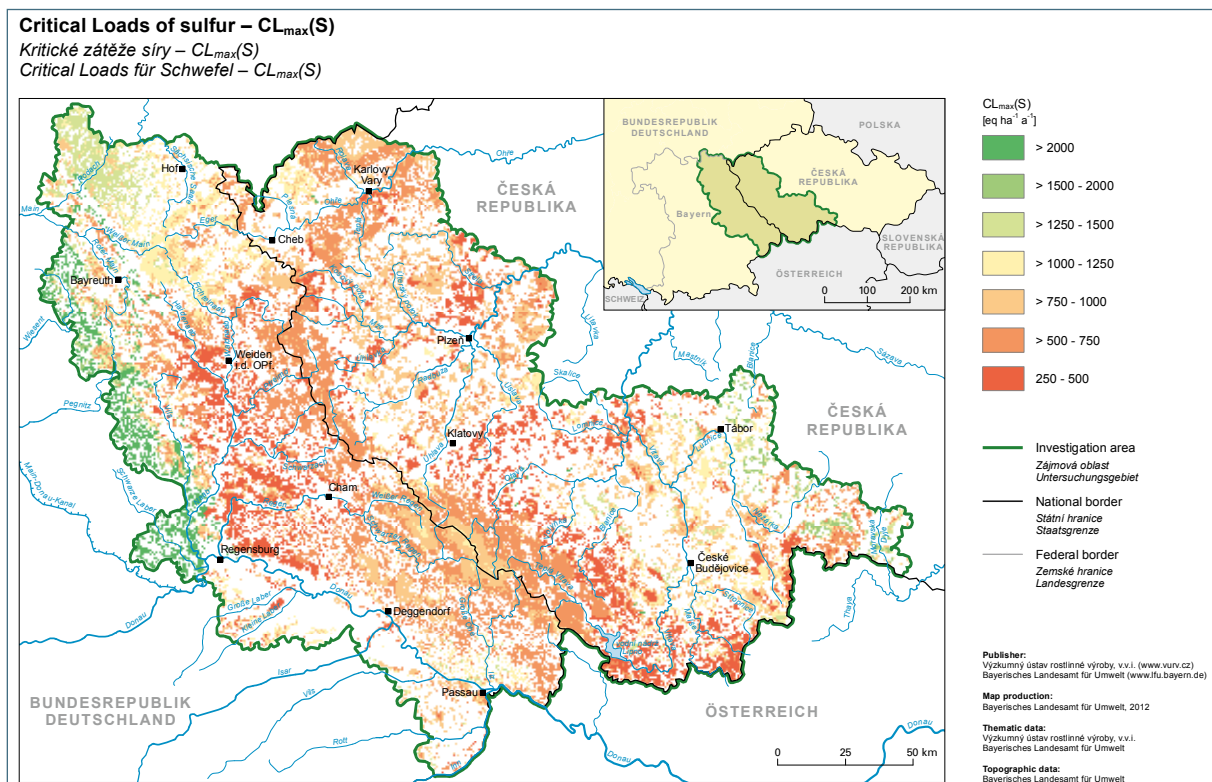


Abb. 2: Critical Loads für Deposition an Schwefel

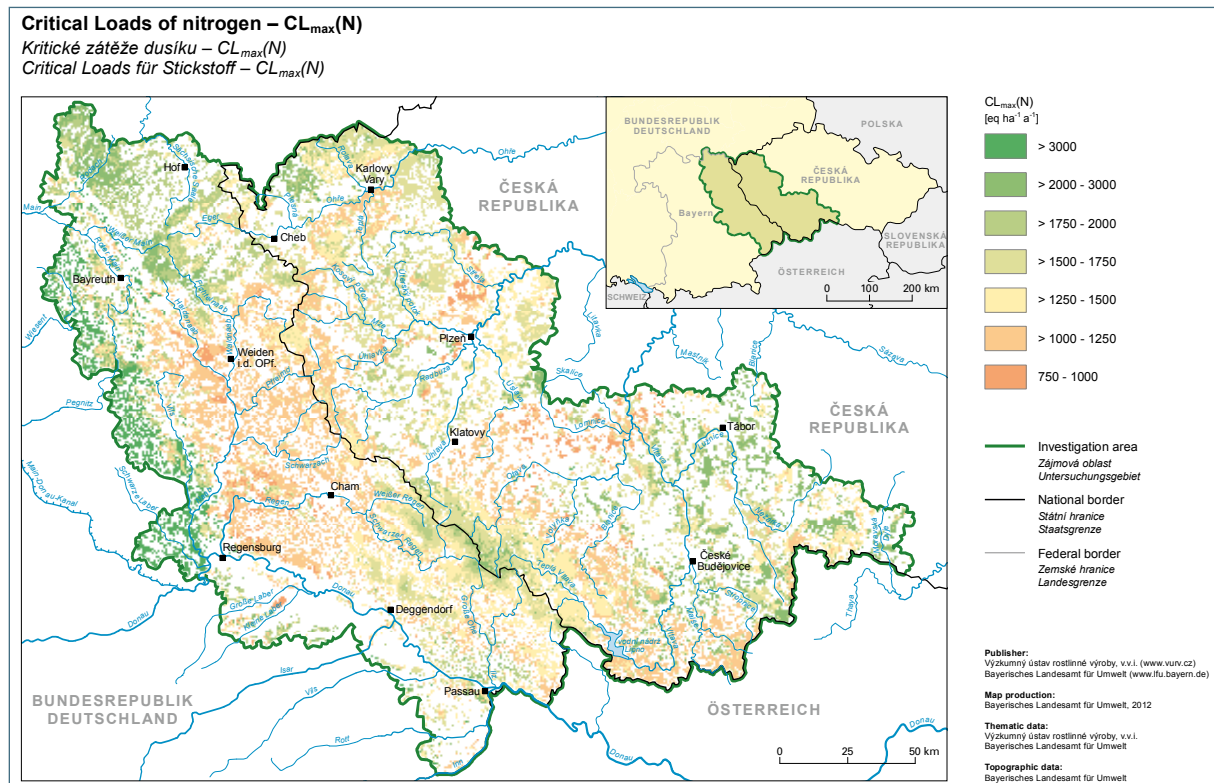


Abb. 3: Critical Loads für Deposition an Stickstoff

Die hohen Schwellenwerte für saure Schwefeleinträge bewegen sich größtenteils zwischen 500 bis 1.000 eq ha⁻¹ a⁻¹ und liegen damit deutlich niedriger als die Werte für Stickstoffeinträge (1.000 bis 2.000 eq ha⁻¹ a⁻¹). Die Böden reagieren demnach gegenüber Schwefeleinträge empfindlicher als gegenüber Einträge von Stickstoff. In den Beckenbereichen treten niedrige Schwellenwerte auf, wobei das Oberpfälzer Becken besonders auffällig ist. Dies ist auf die sehr geringe Nachlieferung basischer Kationen aus der Verwitterung und eine im Vergleich zu den Gebirgskämmen geringeren atmosphärischen Deposition basischer Kationen zurückzuführen.

Entscheidend ist somit die Eintragsmenge an S und N. Die Schwefeldepotion (Abb. 4) mit Werten zwischen 400 bis 700 eq ha⁻¹ a⁻¹ verursacht nur eine geringe lokale Überschreitung des Schwellenwertes. Die Stickstoffdepotion (Abb. 5) ist dagegen mit Werten von 1400 – 2.000 eq ha⁻¹ a⁻¹ deutlich höher als die einer Versauerung entgegen gerichteten Einflussfaktoren (basische Kationen im Boden). Die großen Unterschiede zwischen den Werten der Stickstoffdepotion im bayerischen und tschechischen Projektgebiet sind auf das stark unterschiedliche Niederschlagsregime zurückzuführen. Aufgrund der vorherrschenden westlichen Windrichtungen und der topographischen Barriere der Mittelgebirge ist der Einfluss von Frontalniederschlägen auf tschechischer Seite deutlich geringer (Regenschatten) und in der Folge auch die damit verbundene Stickstoffdepotion. Gerade die Böden des Oberpfälzer Beckens reagieren daher sehr empfindlich auf S- und N-Einträge; bei Überschreitung der jeweiligen Schwellenwerte ist hier am ehesten mit Schäden am Baumbestand bzw. Beeinträchtigung der Grundwasserqualität zu rechnen.

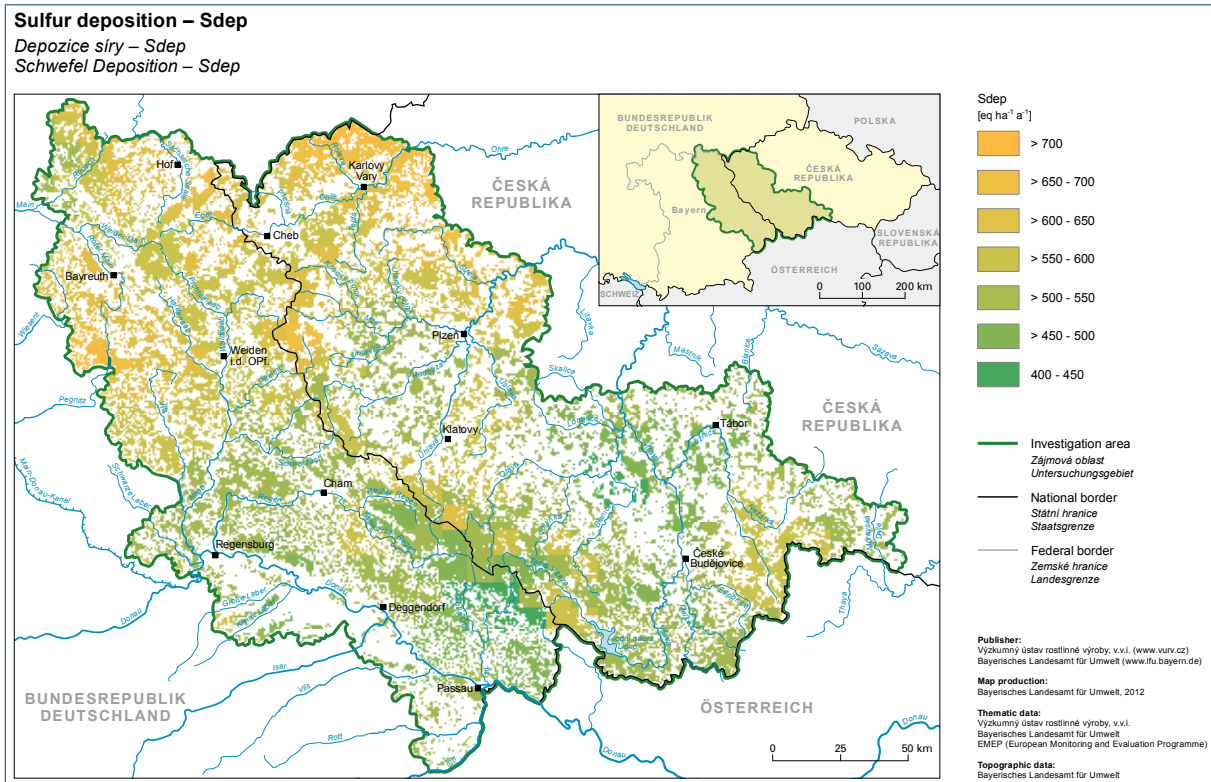


Abb. 4: Schwefeldeposition

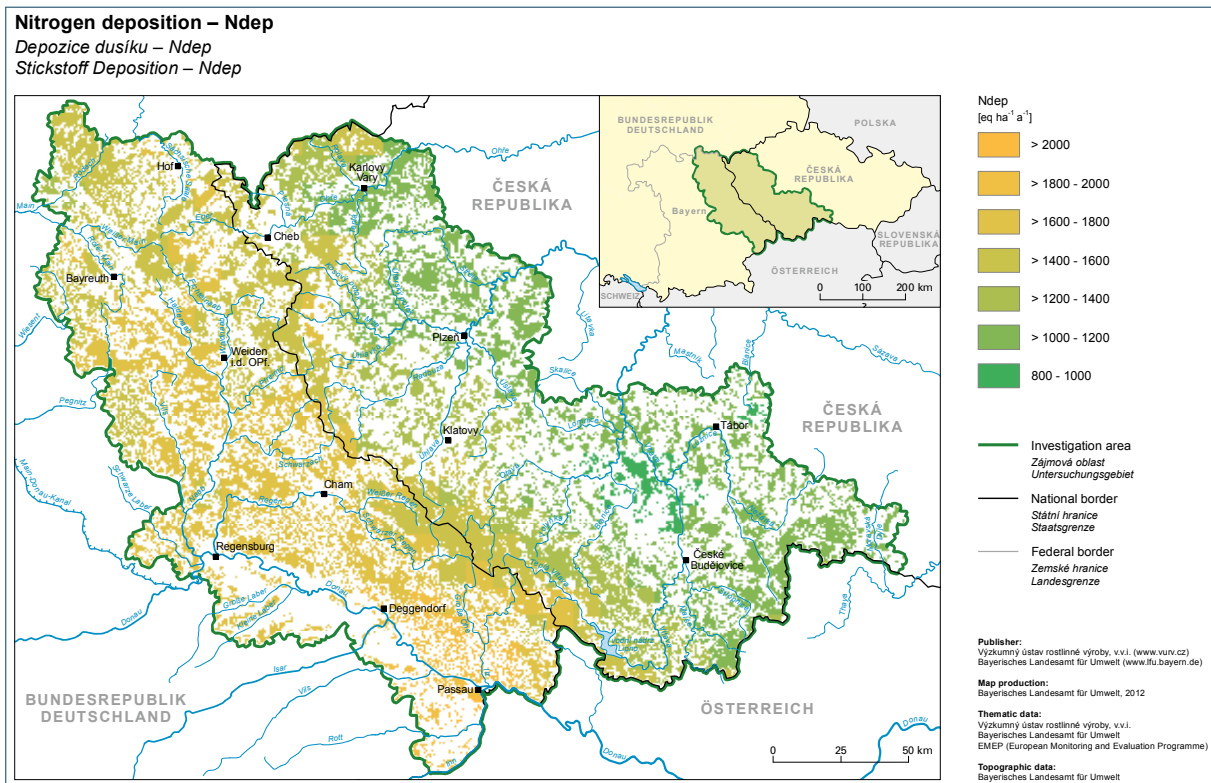


Abb. 5: Stickstoffdeposition

Der für den Boden wichtigste Parameter ist jedoch die Critical Load für saure atmosphärische Einträge insgesamt ($CL_{max}(S+N)$). Hierbei zeigt die grenzüberschreitende Karte, dass die räumlichen Verteilungsmuster der Kombination aus Schwefel und Stickstoff im Wesentlichen denen der Einzelkomponenten entsprechen (Abb. 6).

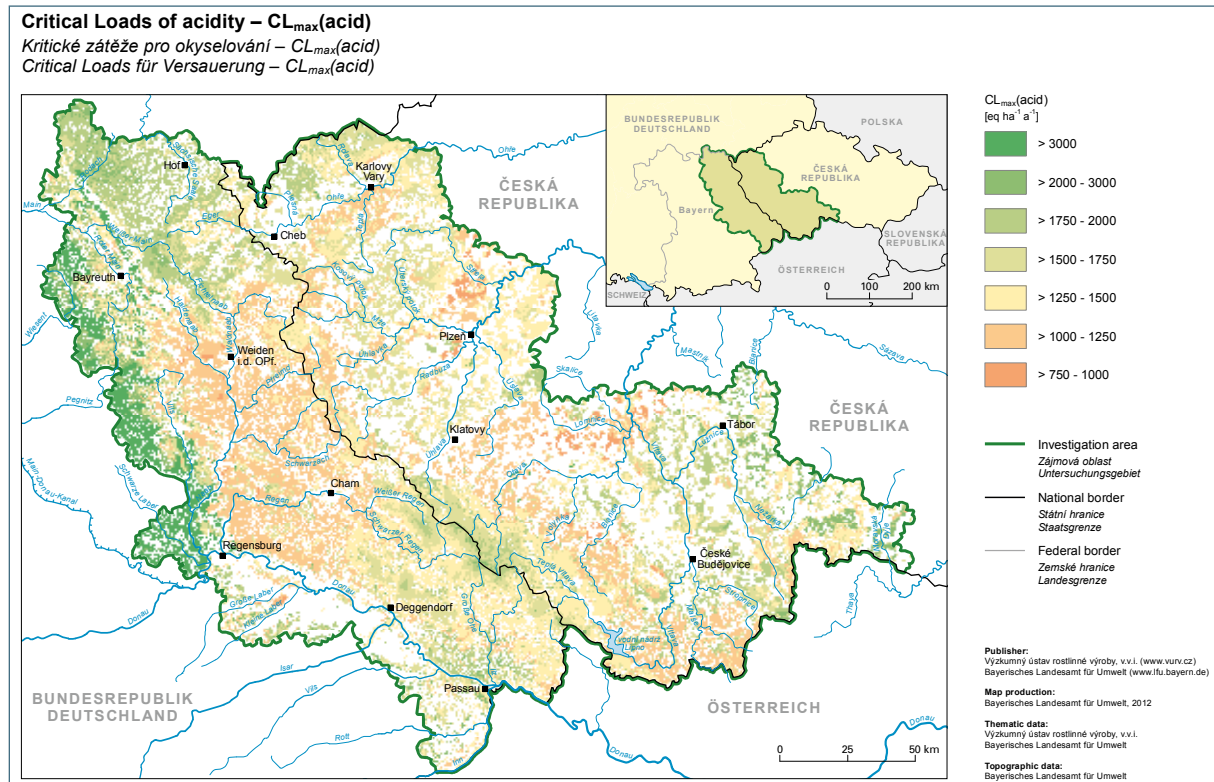


Abb. 6: Critical Loads für Versauerung durch saure Deposition

Wie für die Einzelkomponenten bereits ausgeführt, zeigen sich die jeweiligen Beckenbereiche auf bayerischer und tschechischer Seite äußerst empfindlich gegenüber sauren Einträgen (Abb. 6). Diese besitzen mit 750 bis 1.500 eq ha⁻¹ a⁻¹ sehr niedrige Critical Loads, da dort die Nachlieferung basischer Kationen aus der Verwitterung besonders niedrig ist. Hingegen sind die Böden der Hochlagen des Frankenwaldes und des Bayerischen Waldes weniger empfindlich gegenüber sauren Einträgen. Dies beruht auf dem hohen atmosphärischen Eintrag an basischen Kationen und der dort stärkeren Freisetzung basischer Kationen aus der Verwitterung des Bodenausgangsgesteins. Werte und Verteilungsmuster unserer Untersuchung im Oberpfälzer Becken werden größtenteils durch die deutschlandweiten Berechnungen des Umweltbundesamts (UBA 2011) bestätigt.

Im bayerischen Projektgebiet werden auf ca. 60 % der Forstflächen die Critical Loads durch die saure Deposition überschritten und dies zum Teil um bis zu 1.000 eq ha⁻¹ a⁻¹ (Abb. 7). Dies ist fast ausschließlich durch die Deposition von Stickstoff bedingt. Auf der tschechischen Seite ist der Anteil der Forstflächen, auf denen Überschreitungen auftreten, deutlich geringer. Dies beruht hauptsächlich auf der im Vergleich zum bayerischen Grenzgebiet deutlich geringeren Stickstoffdeposition, denn die Critical Loads zeigen ähnliche Verteilungsmuster beiderseits der Grenzen.

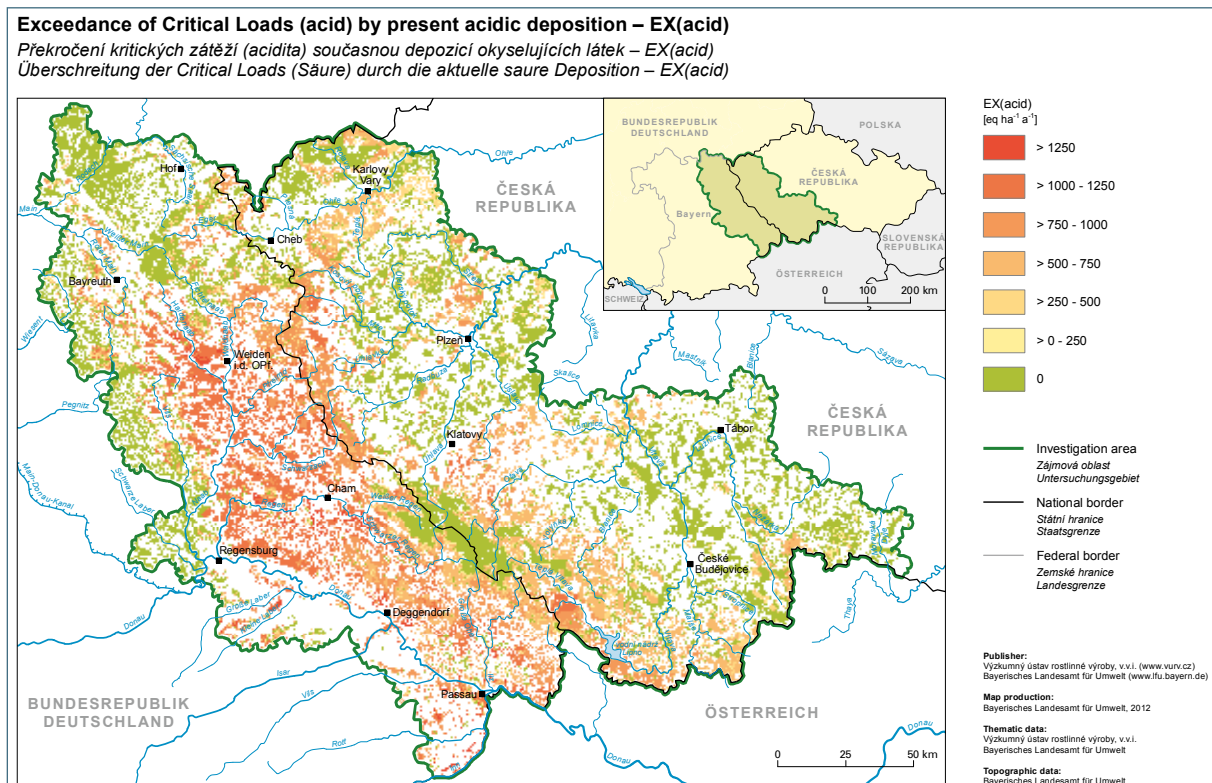


Abb. 7: Überschreitung der Critical Loads (Säure) durch die aktuelle saure Deposition

4.2 Säureneutralisationskapazität der Böden

Die ermittelten Säureneutralisationskapazitäten geben Auskunft darüber, wie stark die verbleibende Pufferkraft des Bodens gegenüber sauren Einträgen ist. Aufgrund des gewählten niedrigen Ziel-pH-Wertes von 3 sind die in Abb. 8 dargestellten Werte ein guter Anhaltspunkt für die verbleibende Neutralisationskapazität der Böden. Da ein Großteil (über 50 %) der Untersuchungsstandorte bereits pH Werte < 4 aufwies, wurde die Pufferkapazität bei pH 3 gemessen. Sie ist daher eher als theoretische Größe anzusehen und aufgrund des niedrigen pH-Wertes als „worst case“ Szenario zu interpretieren.

Die Pufferkapazitäten der einzelnen Horizonte wurden für jedes Profil bis zur maximalen Tiefe aggregiert und standortweise dargestellt. Eine Übertragung der Punktdaten in die Fläche erfolgte wie im Methodenteil beschrieben, mittels einer multiplen linearen Regression unter Verwendung von flächenhaft vorliegenden Daten der LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF).

So sind mit Werten zwischen 2.000 bis zu über 5.000 keq ha⁻¹ im Bereich der Fränkischen Alb die höchsten Säureneutralisationskapazitäten für die Gesamtprofile zu finden, da dort die Nachlieferung basischer Kationen aus der Verwitterung des basenreichen Carbonatgesteins sehr hoch ist. Regionen, in welchen besonders häufig niedrige Säureneutralisationskapazitäten von unter 500 keq ha⁻¹ auftreten, sind der Frankenwald, das Oberpfälzer Becken, das Maintal sowie Teile des Fichtelgebirges und des Bayerischen Waldes. Hier ist die Gefahr des Säureeintrags in das Grundwasser mit am höchsten.

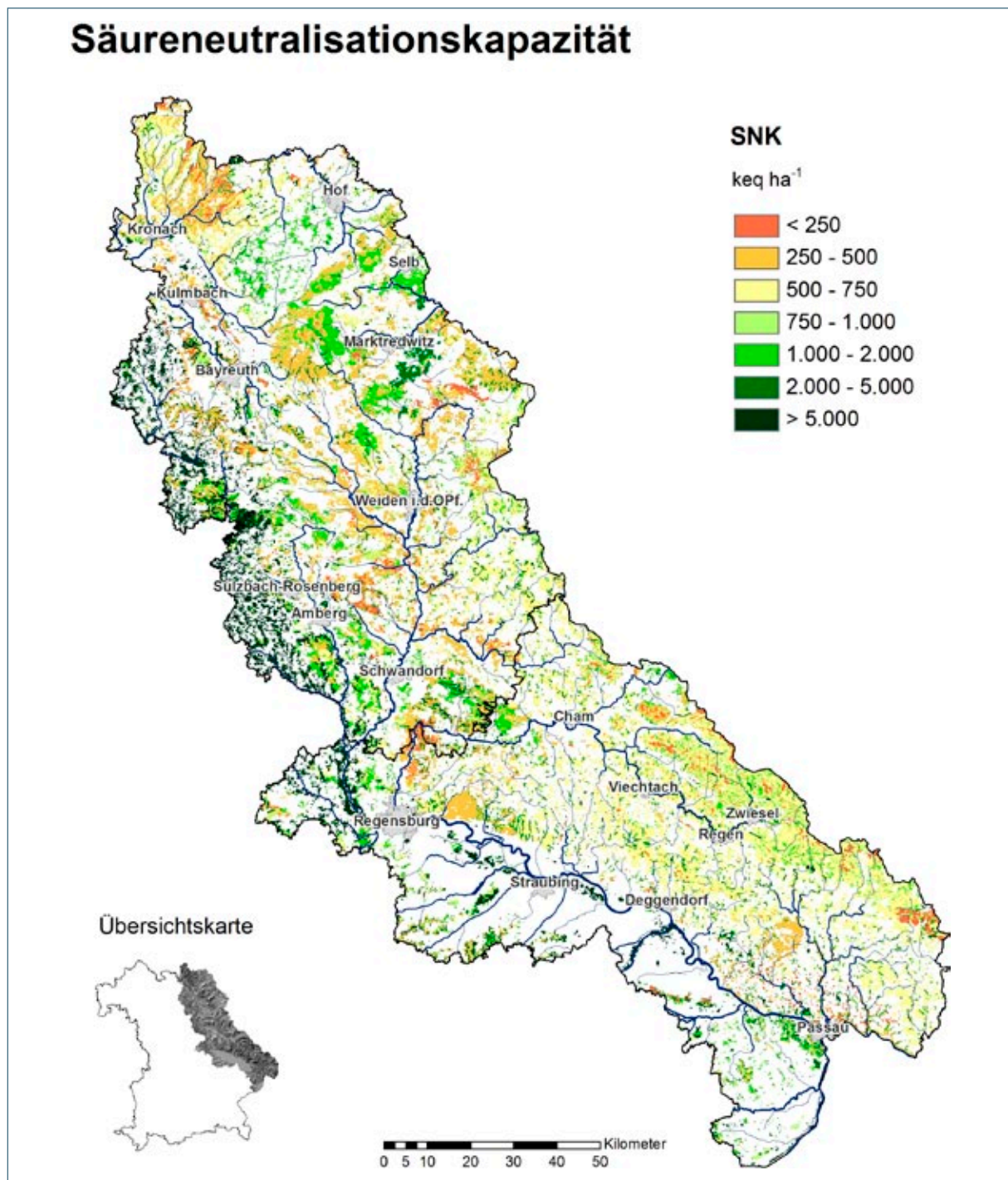


Abb. 8: Säureneutralisationskapazität der Böden im bayerischen Untersuchungsgebiet bis zur maximalen Profiltiefe.

Die gemessenen Säureneutralisationskapazitäten der Gesamtprofile belaufen sich für carbonathaltige Standorte auf über 200.000 keq ha⁻¹ bis hin zu lediglich 100 keq ha⁻¹ auf sehr sauren Standorten. Das Ausmaß der Versauerung der meisten Böden spiegelt sich im Median der Säureneutralisationskapazitäten der Auflage und des Oberbodens wider, welche nur Werte von um die 10 keq ha⁻¹ aufweisen. Die darunter liegenden Bodenhorizonte weisen im Mittel Pufferkapazitäten von ca. 250 keq ha⁻¹ auf. Dies ist ein deutliches Indiz dafür, dass die Versauerungsfront bereits bis unterhalb des Oberbodens fortgeschritten ist.

4.3 Bestimmung der säureinduzierten Schwermetall- und Nährstofffreisetzung aus dem Boden mittels sequenzieller Extraktion sowie deren Einfluss auf Grund- und Oberflächengewässer

Eine Beurteilung der säureinduzierten Freisetzung von Schwermetallen und Nährelementen über einen direkten Vergleich mittels der Eluategehalte der pH-stat Analyse war wie im Methodenteil beschrieben nicht zielführend, weshalb eine sequenzielle Extraktion durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse der sequenziellen Extraktion lagen in sehr guter Übereinstimmung mit bereits zuvor bestimmten Werten aus dem Königswasserextrakt, bzw. der NH_4F -Extraktion zur Bestimmung der Gehalte an $\text{SO}_4\text{-S}$ (Abb. 9). Die Summe aller fünf Fraktionen der sequenziellen Extraktion sollte im Idealfall summarisch den zuvor bestimmten Gesamtgehalt im Königswasserextrakt ergeben.

An drei beispielhaft herausgegriffenen Standorten sind die Ergebnisse grafisch dargestellt (Abb. 9). Deutlich zu erkennen ist u. a., dass Cadmium in tiefer liegenden Horizonten trotz höherer Gesamtgehalte niedrigere Anteile in der austauschbaren Fraktion aufweist. Bei As, Co und Pb sind ebenfalls starke Schwankungen in den mäßig reduzierbaren Anteilen zu beobachten. Diese zusätzlichen Hinweise liefern die Grundlage für die Beurteilung einer möglichen Freisetzung dieser Substanzen.

Bei vielen Schwermetallen (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) und As sind tendenziell im Oberboden bzw. oberen Profilbereichen höhere austauschbare Anteile als im Unterboden festzustellen. Ob dieser Effekt auf die höheren organischen Gehalte im Oberboden zurückzuführen ist oder durch die starke Versauerung verursacht wurde, ist nicht zweifelsfrei ableitbar. Die austauschbaren Anteile sind im Vergleich zu den vier anderen Fraktionen insgesamt jedoch als eher gering einzuordnen, lediglich Cadmium weist deutlich höhere Anteile in der austauschbaren Fraktion auf. Aufgrund der niedrigen KW-Gesamtgehalte an Cadmium im Substrat sind die höheren austauschbaren Anteile aber als unkritisch einzuordnen. Ein erhöhter Cd-Eintrag in das Grundwasser ist daher nicht zu besorgen. Den größten Anteil bei der sequenziellen Extraktion macht insgesamt i. d. R. die jeweilige Residualfraktion aus. Für Blei und Arsen konnten zudem mit 40-60 % sehr hohe Anteile in der mäßig reduzierbaren Fraktion gemessen werden (vgl. Abb. 10). Unter extremen Änderungen der Redoxbedingungen ist eine Freisetzung dieser Anteile nicht auszuschließen (LEWANDOWSKI et al., 1997).

Vereinfacht kann man sagen, dass je geringer die jeweiligen Elementgehalte in der austauschbaren und leicht reduzierbaren Fraktionen vorliegen, desto besser für die Grundwasserqualität im Hinblick auf Schwermetall- und Nährstoffeinträge durch säureinduzierte Freisetzung. Elementgehalt in den anderen Fraktionen deuten auf eine gewisse „Robustheit“ gegenüber Säureangriffen und somit Immobilität der Elemente im Bodenprofil hin.

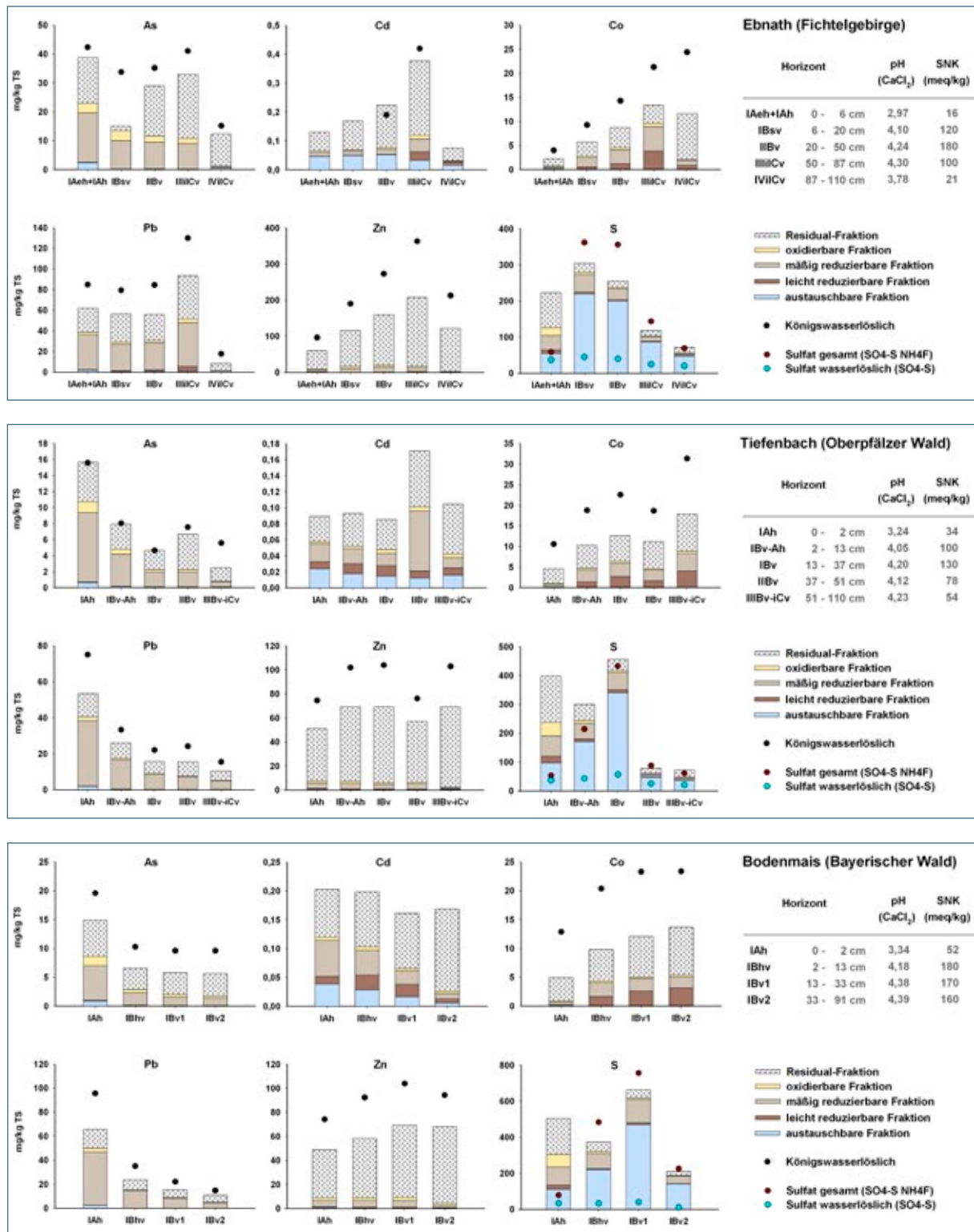


Abb. 9: Ergebnisse der sequenziellen Extraktion für die Standorte Ebnath (Fichtelgebirge), Tiefenbach (Oberpfälzer Wald) und Bodenmais (Bayerischer Wald) für alle fünf Fraktionen. Die Ergebnisse der Königswasseranalyse (schwarze Punkte) sind zum Vergleich aufgetragen. Als Vergleichsanalysen für die S –Werte wurden die wasserlöslichen (blaue Punkte) und Gesamtgehalte (braune Punkte) an SO₄-S angegeben.

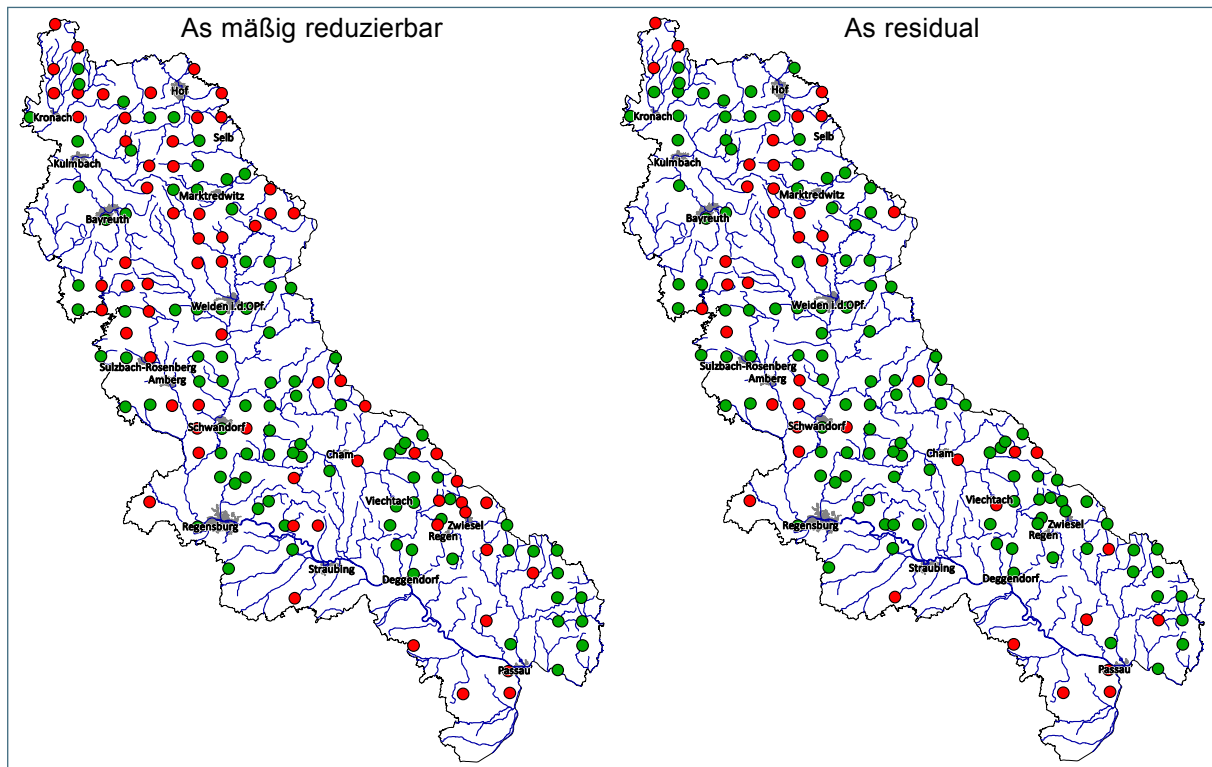


Abb. 10: Arsenkonzentrationen im gesamten Bodenprofil. Links: Mäßig reduzierbare As-Fraktion, rechts: As-Residualfraktion. Grüne Punkte zeigen As-Konzentrationen ≤ 20 mg/kg (Z0-Wert nach LAGA 1997), rote Punkte zeigen As-Konzentrationen > 20 mg/kg.

Die räumliche Verteilung der über das gesamte Bodenprofil integrierten As-Konzentrationen im Interreg-Förderraum wurde für die 5 Fraktionen der sequenziellen Extraktion (austauschbar, leicht reduzierbar, mäßig reduzierbar, oxidierbar, residual) betrachtet. Als Konzentrationskriterium wurde der Z0-Wert nach LAGA (1997) von 20 mg/kg herangezogen. As-Konzentrationen unterhalb dieses Wertes erlauben z. B. einen uneingeschränkten Einbau bei der Verwertung von Bodenmaterial, bei As-Konzentrationen oberhalb dieses Wertes sind Einschränkungen beim Einbau von Bodenmaterial zu beachten. Die As-Konzentrationen der „austauschbaren“ und „leicht reduzierbaren“ Fraktionen lagen durchweg bei < 20 mg/kg, die oxidierbare Fraktion zeigte an 3 % der 156 Standorte Überschreitungen des Richtwerts. Diese Standorte liegen vor allem im Dogger und in der Oberkreide.

Wie in Abb. 9 angedeutet weisen die residuale und die mäßig reduzierbare As-Fraktion die höchsten Konzentrationen auf. Die Überschreitungen des 20 mg/kg-Richtwerts bei der Residualfraktion treten an Standorten im Fichtelgebirge, im nördlichen Frankenwald, aber auch im Bruchschollenland zwischen Weiden und Schwandorf, im Gebiet südlich der Donau sowie vereinzelt im Bayerischen Wald (Abb. 9) auf. In diesen Regionen liegen mit geringerer Anzahl auch die Standorte der mäßig reduzierbaren As-Fraktion, die den 20 mg/kg-Richtwert übertreffen. Die Mobilisierung der As-Residualfraktion erfordert allerdings extreme Randbedingungen (siehe Kapitel 3.3.6) die unter natürlichen Verhältnissen relativ unwahrscheinlich sind. Die mäßig reduzierbare As-Fraktion dagegen kennzeichnet den As-Anteil, der an Fe- und Mn-Oxiden gebunden ist. Die pH-stat Analyse (siehe Kapitel 3.3.1) zeigt, dass diese As-Fraktion bei $\text{pH}=3$ mobilisiert wird. Dies ist auch unter natürlichen Verhältnissen nicht auszuschließen, zumal mehr als 50 % der untersuchten Waldstandorte bereits einen pH-Wert < 4 aufweisen.

Die Anteile der Nährstoffe (Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium) in der austauschbaren Fraktion variieren im Mittel zwischen 3 und 35%. Standorte, mit einer Basensättigung < 10% sind im Hinblick auf die Baumernährung als kritisch einzustufen (KÖLLING 2012, mündliche Mitteilung). Bei dieser Untersuchung sind insgesamt 46% der Standorte als kritisch zu beurteilen. Sie befinden sich vor allem am östlichen Rand des betrachteten Untersuchungsgebiets (Abb. 11). Sowohl im Frankenwald, als auch im Fichtelgebirge, Oberpfälzer und Bayerischen Wald sowie im Bruchschollenland ist daher mit einer kritischen Basenversorgung zu rechnen.

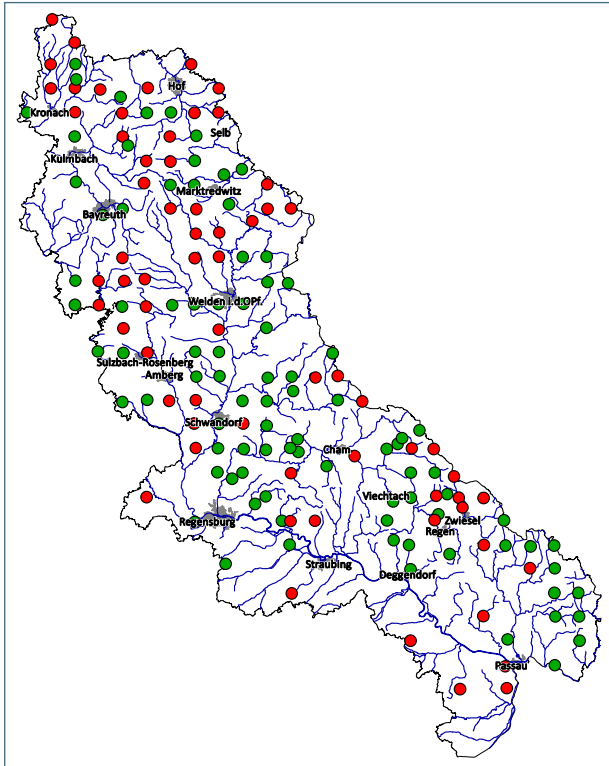


Abb. 11: Basensättigung der untersuchten Standorte im bayerischen Förderraum. Grüne Punkte zeigen Basensättigung $\geq 10\%$, rote Punkte zeigen Basensättigung < 10%.

Die Untersuchungsergebnisse machen zudem deutlich, dass im Boden noch größere Mengen an Sulfat gespeichert sind. Die Resultate der Ammoniumfluorid-Extraktion zeigen im Vergleich zur Wasserextraktion, dass besonders im Unterboden und im Ausgangssubstrat noch große Anteile des Sulfats in nicht wasserlöslicher Form gespeichert sind. Die Ergebnisse der sequenziellen Extraktion legen nahe, dass im Unterboden und Ausgangssubstrat mehr als die Hälfte des Schwefels in austauschbarer Form vorliegen muss. Daher ist nicht davon auszugehen, dass das Sulfat irreversibel im Boden gebunden ist, sondern bei sich ändernden Umweltbedingungen freigesetzt werden kann (MANDERSCHIED et al., 2000). Die Versauerung geht demnach auch nach dem Aussetzen der Deposition solange weiter, bis die Bodenlösung kein Sulfat und Nitrat mehr enthält.

4.4 Abgrenzung versauerungsempfindlicher Regionen und von Gebieten mit hohem Potenzial an Schwermetall- und Stoffausträgen

Aufgrund der vorgestellten Befunde sind der Bayerische Wald und das Oberpfälzer Becken als besonders versauerungsempfindliche Regionen einzuschätzen (Abb. 12). Dagegen reagieren nur kleinere Teilbereiche des Fichtelgebirges, des Frankenwaldes sowie des Schichtstufen- und Bruchschollenlandes sensibel auf die aktuellen sauren Einträge, da dort auch basische Kationen (EMEP) einen wesentlichen Anteil der Stoffdeposition ausmachen. Aber auch die Nachlieferung an basischen Kationen aus der Verwitterung bewirkt zum Teil sehr kleinräumige regionale Unterschiede,

wie z. B. im Fichtelgebirge mit unterschiedlichen Verwitterungsraten von Graniten, Gneisen und anderen Gesteinen des Kambrium-Ordovizium.

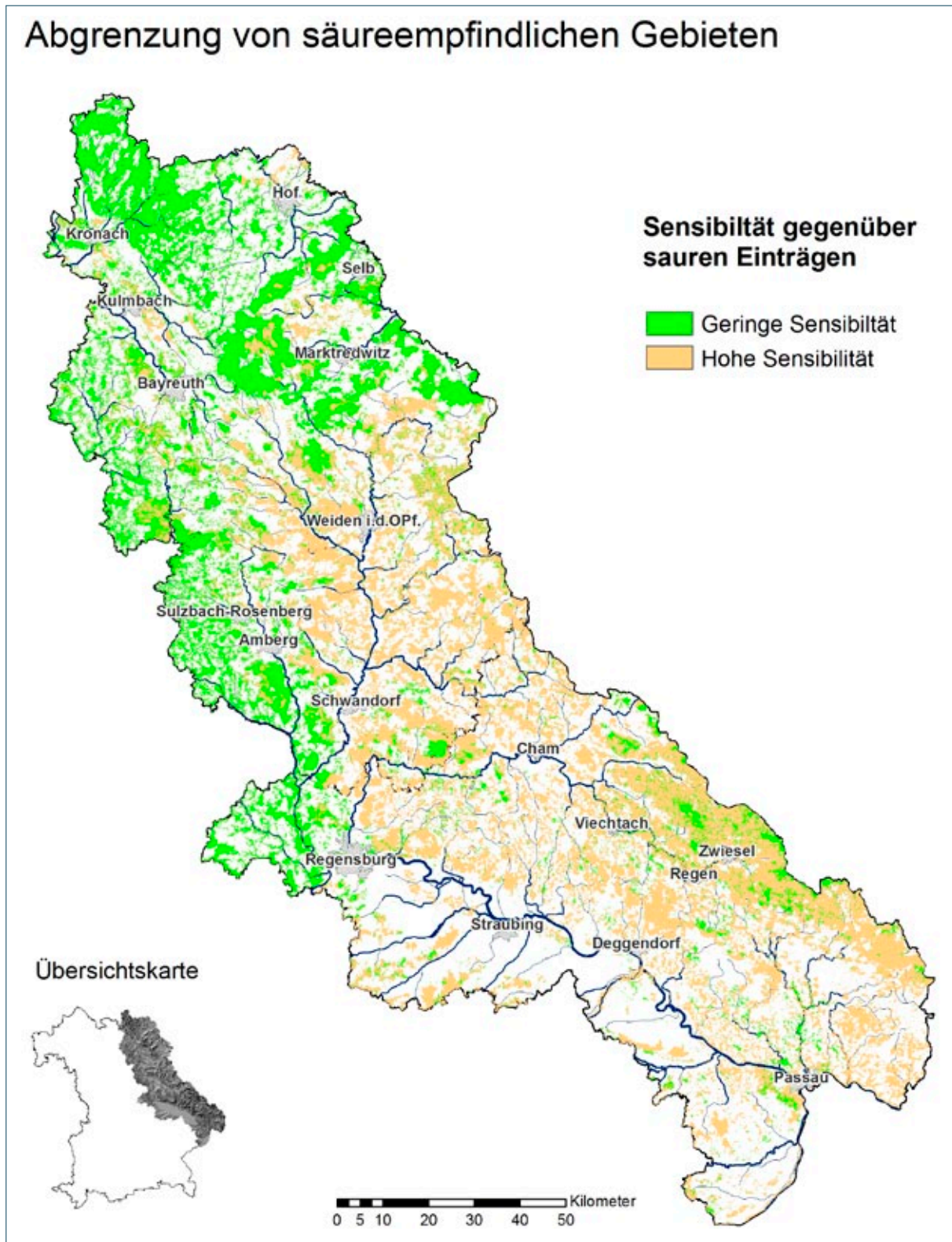


Abb. 12: Gebiete unterschiedlicher Säureempfindlichkeit im bayerischen Förderraum.

4.5 Schlussfolgerungen

In versauerungsempfindlichen Gebieten sind die Böden vor allem unter Wald von weiterer Versauerung bedroht. Der schädliche Einfluss hoher Stickstoffdepositionen ist hier besonders hoch. Der weiteren Versauerung dieser Flächen sollte vor allem durch umweltpolitische Maßnahmen zur Reduktion der Stickstoffemissionen entgegen gewirkt werden. Mit zunehmender Versauerung der Böden nimmt deren Basensättigung und damit der Gehalt an wichtigen Nährelementen ab. Der Abtransport der basisch wirksamen Kationen mit dem Sickerwasser bewirkt zugleich aber auch eine Zunahme von Säurekationen wie z. B. Aluminium. Diese Versauerungsfront wirkt sich zunächst in den oberen Profilmereichen des Bodens aus, kann aber v. a. bei Jungbäumen, die in den ersten Jahren mit ihren Wurzeln in den oberen Bodenhorizonten den Mangel an Nährstoffen überwinden müssen, zu Wachstumsbeeinträchtigungen führen. Eine zusätzliche Versauerungsgefahr der Böden ergibt sich auf diesen Standorten durch die Übernutzung von Kronenbiomasse im Rahmen einer intensiven forstlichen Bewirtschaftung. Die hier spärliche natürliche Nährstoffausstattung und die besonders hohe Versauerungsempfindlichkeit erfordern angepasste, extensivere Nutzungsstrategien. Mit einem Waldumbau hin zu aus tiefwurzelnden Baumarten aufgebauten Mischbeständen kann der Stoffhaushalt dieser Standorte zusätzlich stabilisiert werden. Bei besonders ungünstigen Ausgangssituationen kann mit einer gezielten Zufuhr von Basizität (Walddüngung), wie sie im Rahmen der Bodenschutzkalkung auf bestimmten Flächen gängige Praxis ist, Erleichterung geschaffen und die Nährstoffversorgung der Waldbäume sicher gestellt werden. Die Kalkungskulisse für Bayern weist explizit die tiefgründig sauren Böden des kristallinen Grundgebirges als kalkungswürdige Flächen aus. Hier kann durch gezielte Düngungsmaßnahmen neben einer dauerhaften Vitalisierung der geschädigten Bestände auch „...die weitere anthropogene chemische Degradation der Waldböden gestoppt, der Trinkwasserversauerung entgegengewirkt und der Magnesium-Mangel der Waldbestände behoben werden“ (LWF, 2010). Die Bodenschutzkalkung im Wald wird mit staatlichen Fördermitteln bezuschusst.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden von den Forstbehörden aufgegriffen und bei den Bewirtschaftungsempfehlungen berücksichtigt.

Die Gefahr der Tiefenverlagerung von Stoffen ist in versauerungsempfindlichen Gebieten allgemein erhöht. Die Freisetzung von Schwermetallen und deren Tiefenverlagerung hingegen zeigt nur geringe Abhängigkeit vom Säurestatus der Böden. Offenbar liegen auch unter den ungünstigsten Bedingungen die Schwermetalle vorwiegend in immobilen Fraktionen vor, so dass keine Gefahr für Grundwasser und oberirdische Gewässer zu besorgen ist.

Die regionalisierten Ergebnisse des Vorhabens stellen für die Forstverwaltung eine wichtige Grundlage für die Planung und Beurteilung von Kalkungsprojekten dar. Auch in der Beratung der Waldbesitzer für eine nachhaltige, standortangepasste Nutzung von Kronenbiomasse sind die Ergebnisse von Nutzen und sollten in das Standortinformationssystem „Karten für die Zukunft“ der Forstverwaltung einfließen.

5 Literatur

- BAYER. KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (1996): Klimaatlas von Bayern. München.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML) (1996): Deutscher Waldbodenbericht 1996, Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987 - 1993 (BZE), Band 1.
- DE VRIES, W., HOL, A., TJALMA, S., VOOGD, J.C. (1990): Amounts and turnover rates of elements in forest ecosystems: A literature study. Winand Staring Center Report, Wageningen, Niederlande.
- DITTMAR, O., KNAPP, E., LEMBCKE, G. (1983): Die DDR-Buchenertragstafel 1983 als Grundlage für zweckmäßige Durchforstungskonzeptionen der Buche. Sozial. Forstw. Berlin 35: 82-86.
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: Handbuch Bodenschutz; hrsg. von Rosenkranz, D., Einsele, G., Harreß, H.-M. und Bachmann, G.; Kennziffer 9006; Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- GÄBLER, E. (1997): Mobility of heavy metals as a function of pH of samples from an over-bank sediment profile contaminated by mining activities, Journal of Geochemical Exploration 58, 185.
- HAASE, I., FÖRSTNER, U. (1995): Untersuchung zum Schadstoffpotential von Wasserwerksschlämmen. Acta hydrochim. hydrobiol. 23, 53.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) (1997): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen. Technische Regeln Boden, 52 S.
- LEWANDOWSKI, J., LEITSCHUH, S., KOß, V. (1997): Schadstoffe im Boden – Eine Einführung in Analytik und Bewertung. Springer, ISBN 3-540-62643-3 Gb, 357 S.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2010): LWF aktuell 78 - Bodenzustandserhebung 2006 – 2009. 17. Jahrgang; Ausgabe 5-2010, ISBN 1435-4098, 59 S.
- MANDERSCHIED, B., SCHWEISSER, T., LISCHIED, G., ALEWELL, C., MATZNER, E. (2000): Sulfate Pools in the Weathered Substrata of a Forested Catchment. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1078–1082.
- NAGEL, H.-D., BECKER, R., EITNER, H., HÜBENER, P., KUNZE, F., SCHLUTOW, A., SCHÜTZE, G., WEIGELT-KIRCHNER, R. (2004): Critical loads für Säure und eutrophierenden Stickstoff. Abschlussbericht zum F/E-Vorhaben 200 85 212, UBA, 172 S.
- OBERMANN, P., CREMER, S. (1993): Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden: Entwicklung eines aussagekräftigen Elutionsverfahrens.- In: Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 6, Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

- PRIETZEL J, KÖLLING C (1999): Ein einfaches Routineverfahren zur Beurteilung des Remobilisierungspotentials von Waldböden für Sulfat-Schwefel aus atmosphärischen Einträgen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 118, 329-344.
- RÖTZER, T. (1996): Neuartige Karten der Phänologie und des Wasserhaushalts von Bayern unter Berücksichtigung möglicher künftiger Klimaverhältnisse. Dissertation TU München.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (1996): Manual on methodologies and criteria for mapping Critical Levels/Loads. Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland. Texte 71/96, UBA, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland - Zusammenfassender Abschlussbericht. TEXTE 38/2011 (www.uba.de/uba-info-medien/4137.html).
- ULRICH, B., PIROUZPANAH, D., MURACH, D. (1984): Beziehungen zwischen Bodenversauerung und Wurzelentwicklung von Fichten mit unterschiedlich starken Schadsymptomen. Forstarchiv 55, 127-134.
- UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE) / COORDINATION CENTRE FOR EFFECTS (CCE) (1993): Calculation and Mapping of Critical Loads for Europe. Coordination Center for Effects, Status Report 1993. National Institut of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, Niederlande.
- WENK, G., RÖMISCH, K., GEROLD, D. (1985): DDR-Fichtenertragstafel 1984. Technische Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft, Tharandt: 64 S.
- ZEIEN, H. & BRÜMMER, G.W. (1989): Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden. – Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellschaft 59/1, 505-510, Hohenheim.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Interreg III- und Interreg IV-Gebiet | 7 |
| Abb. 2: Critical Loads für Deposition an Schwefel | 19 |
| Abb. 3: Critical Loads für Deposition an Stickstoff | 20 |
| Abb. 4: Schwefeldeposition | 21 |
| Abb. 5: Stickstoffdeposition | 21 |
| Abb. 6: Critical Loads für Versauerung durch saure Deposition | 22 |
| Abb. 7: Überschreitung der Critical Loads (Säure) durch die aktuelle saure Deposition | 23 |
| Abb. 8: Säureneutralisationskapazität der Böden im bayerischen Untersuchungsgebiet bis zur maximalen Profiltiefe. | 24 |
| Abb. 9: Ergebnisse der sequenziellen Extraktion für die Standorte Ebnath (Fichtelgebirge), Tiefenbach (Oberpfälzer Wald) und Bodenmais (Bayerischer Wald) für alle fünf Fraktionen. Die Ergebnisse der Königswasseranalyse (schwarze Punkte) sind zum Vergleich aufgetragen. Als Vergleichsanalysen für die S –Werte wurden die wasserlöslichen (blaue Punkte) und Gesamtgehalte (braune Punkte) an SO ₄ -S angegeben. | 26 |
| Abb. 10: Arsenkonzentrationen im gesamten Bodenprofil. Links: Mäßig reduzierbare As-Fraktion, rechts: As-Residualfraktion. Grüne Punkte zeigen As-Konzentrationen ≤20 mg/kg (ZO-Wert nach LAGA 1997), rote Punkte zeigen As-Konzentrationen >20 mg/kg. | 27 |
| Abb. 11: Basensättigung der untersuchten Standorte im bayerischen Förderraum. Grüne Punkte zeigen Basensättigung ≥10 %, rote Punkte zeigen Basensättigung <10 %. | 28 |
| Abb. 12: Gebiete unterschiedlicher Säureempfindlichkeit im bayerischen Förderraum. | 29 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Klassierte Verwitterungsrate [$\text{eq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] nach UBA (1996) | 10 |
| Tab. 2: Ableitung der Texturklasse aus den Sand- und Tongehalten (UBA, 1996) | 10 |
| Tab. 3: Basen- (Bc_u) und Stickstoffaufnahme (N_u) in Abhängigkeit vom Waldtyp | 11 |
| Tab. 4: Durchschnittliche jährliche Zuwachsraten (t) nach 100 Jahren | 11 |
| Tab. 5: Gehalte an basischen Kationen und Stickstoff im Derbholz mit Rinde (JACOBSEN et al. 2002, DE VRIES et al. 1990) | 11 |
| Tab. 6: Stickstoffimmobilisierungsrate (N_i) in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur nach UNECE/CCE (1993) | 12 |
| Tab. 7: Ableitung des Denitrifikationsfaktors f_{de} vom Tongehalt | 12 |
| Tab. 8: Mittlere Aufnahme basischer Kationen (Bc_u) und Stickstoff (N_u) in Abhängigkeit vom Waldtyp nach UBA (1996) | 13 |
| Tab. 9: Untere tolerierbare Grenzen des pH-Wertes nach NAGEL et al. (2004) | 14 |
| Tab. 10: Klassifizierung der Basensättigung nach BML (1996) | 15 |

6 Anhang

Für alle im Anhang verwendete Werte gilt: $0 < \text{NWG}$, 0,0 und 0,00 mit Werten kleiner 10^{-2} bzw. 10^{-3} .

| | |
|--|----|
| 6.1 pH-stat Analyse | 36 |
| 6.2 Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) | 37 |
| 6.3 Wasserextrakt (S4) | 38 |
| 6.4 Ammoniumflourid-Extrakt | 39 |
| 6.5 Sequenzielle Extraktion | 40 |
| 6.6 Oxalat- und dithionitlösliche Metalle | 53 |
| 6.7 Elementar-Analytik | 54 |
| 6.8 Königswasser-Extrakt | 55 |
| 6.9 Ammoniumnitrat-Extrakt | 56 |
| 6.10 pH CaCl_2 | 57 |

6.1 pH-stat Analyse

| pH-stat-Analyse | kg/ha | | | | | | | | | | | Zn | | | | | | |
|----------------------------|--------------|-----------|--------|-------|------|---------|------|------|------|-------|------|---------|------|------|------|-------|-------|---|
| | SNK (7d) | SNK (24h) | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mg | | Mn | Na | Ni | Pb | | |
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | | |
| | Mittelwert | 4115 | 3468 | 3472 | 0,15 | 39535 | 0,12 | 5,7 | 0,4 | 1,7 | 156 | 20235 | 403 | 164 | 4,4 | 3,5 | 10,6 | |
| | Median | 587 | 494 | 2538 | 0,03 | 1156 | 0 | 3,4 | 0,04 | 0 | 113 | 198 | 230 | 89 | 0,8 | 0,5 | 7,3 | |
| | Minimum | 94 | 53 | 216 | 0 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 12 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 207652 | 206977 | 14891 | 2,41 | 2100555 | 6,93 | 54,8 | 4,12 | 46,4 | 1348 | 1220736 | 2626 | 1382 | 93,4 | 178,2 | 163,3 | |
| | 90.Perzentil | 1609 | 1448 | 7071 | 0,4 | 11941 | 0,18 | 11,3 | 1,25 | 3,7 | 283 | 4152 | 997 | 370 | 10 | 6,8 | 21,6 | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | | |
| | Mittelwert | 3788 | 3189 | 3719 | 0,12 | 35562 | 0,1 | 5,7 | 0,44 | 1,7 | 145 | 18265 | 376 | 129 | 4 | 3,5 | 8,8 | |
| | Median | 595 | 481 | 2762 | 0 | 834 | 0 | 3,6 | 0,09 | 0 | 104 | 142 | 226 | 75 | 0,6 | 0,5 | 5,9 | |
| | Minimum | 90 | 49 | 197 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 207635 | 206958 | 15340 | 2,38 | 2100305 | 6,93 | 54,6 | 4,12 | 46,4 | 1347 | 1220639 | 2615 | 1381 | 93,1 | 178,2 | 161,2 | |
| | 90.Perzentil | 1539 | 1393 | 8141 | 0,41 | 11379 | 0,13 | 11,5 | 1,37 | 4,1 | 244 | 3654 | 915 | 270 | 9,3 | 7,4 | 19,2 | |
| Auflage | Anzahl | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | | |
| | Mittelwert | 10 | 11 | 25 | 0,04 | 181 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 7 | 35 | 26 | 29 | 0,1 | 0 | 2 | |
| | Median | 7 | 8 | 15 | 0 | 147 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 21 | 17 | 3 | 0,1 | 0 | 1,4 | |
| | Minimum | 0 | 1 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 92 | 91 | 437 | 0,33 | 941 | 0,16 | 0,3 | 0,1 | 0,43 | 61 | 386 | 151 | 300 | 0,7 | 1,2 | 8,4 | |
| | 90.Perzentil | 18 | 20 | 33 | 0,13 | 360 | 0,01 | 0,1 | 0 | 0,02 | 15 | 64 | 60 | 116 | 0,2 | 0 | 4,2 | |
| Oberboden | Anzahl | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | 149 | | |
| | Mittelwert | 164 | 168 | 244 | 0,02 | 1711 | 0,02 | 0,4 | 0,06 | 0,05 | 51 | 827 | 48 | 12 | 0,3 | 0,3 | 2,1 | |
| | Median | 11 | 9 | 101 | 0 | 22 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 34 | 12 | 4 | 4 | 0,1 | 0,1 | 1,1 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 7461 | 7759 | 2443 | 0,28 | 86588 | 0,98 | 5,4 | 0,73 | 2,95 | 218 | 47561 | 1245 | 193 | 11,9 | 3,9 | 30,4 | |
| | 90.Perzentil | 118 | 106 | 601 | 0,09 | 212 | 0,03 | 1,1 | 0,2 | 0,09 | 123 | 50 | 111 | 27 | 0,5 | 1 | 4,3 | |
| Unterboden | Anzahl | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | | |
| | Mittelwert | 610 | 570 | 2271 | 0,06 | 4306 | 0,07 | 3,7 | 0,28 | 1,2 | 69 | 1372 | 241 | 61 | 2,7 | 1,5 | 5,6 | |
| | Median | 295 | 243 | 1609 | 0 | 152 | 0 | 2,1 | 0 | 0 | 35 | 28 | 135 | 29 | 0,2 | 0 | 3,1 | |
| | Minimum | 17 | 16 | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 17004 | 16924 | 15220 | 2,3 | 247882 | 6,87 | 54,1 | 3,73 | 46,3 | 1212 | 68057 | 2155 | 577 | 92,3 | 37,1 | 159,4 | |
| | 90.Perzentil | 979 | 900 | 5056 | 0,2 | 4963 | 0 | 8,2 | 0,98 | 2,6 | 150 | 1918 | 591 | 152 | 5,1 | 3,7 | 12,4 | |
| Ausgangssubstrat | Anzahl | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 | | |
| | Mittelwert | 3963 | 3226 | 1664 | 0,05 | 38781 | 0,02 | 2,2 | 0,14 | 0,67 | 40 | 21051 | 123 | 76 | 1,4 | 2,2 | 1,7 | |
| | Median | 228 | 174 | 1136 | 0 | 332 | 0 | 1,2 | 0 | 0 | 9 | 57 | 56 | 31 | 0 | 0 | 0 | |
| | Minimum | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 200174 | 199199 | 9224 | 1,53 | 2013717 | 1,01 | 32,2 | 2,35 | 11,44 | 978 | 1173079 | 1647 | 1325 | 27,2 | 138 | 39,7 | |
| | 90.Perzentil | 1004 | 702 | 3734 | 0,15 | 7106 | 0 | 4,3 | 0,4 | 2,05 | 76 | 1212 | 257 | 154 | 3,1 | 2,7 | 4,7 | |

6.2 Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff})

| Kationenaustausch- kapazität | Kmol/ha | | | | | | | | | | | Basen- sättigung % | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|-------|-------|------|-----|------|-------|------|-----|--------|--------|--------------------------|------|------|------|--------|-------|--------------------|--------|------|------|
| | Al | Ca | Fe | H | K | Mg | Mn | Na | Ca | Mg | K | | Na | Fe | Mn | Al | H | KAK _{eff} | S-Wert | | |
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | | |
| | Mittelwert | 3510 | 4239 | 137 | 16 | 597 | 1280 | 258 | 83 | 211,5 | 105,7 | 15,3 | 3,6 | 4,9 | 9,4 | 390,3 | 14,1 | 754,8 | 336,1 | 23,6 | |
| | Median | 3331 | 703 | 94 | 13 | 380 | 152 | 153 | 46 | 35,1 | 12,6 | 9,7 | 2 | 3,4 | 5,6 | 370,3 | 11,6 | 508,2 | 69,2 | 12,2 | |
| | Minimum | 0 | 40 | 0 | 0 | 51 | 8 | 3 | 0 | 2 | 0,7 | 1,3 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 44,2 | 12,3 | 1,4 |
| | Maximum | 13011 | 50225 | 1170 | 152 | 3587 | 14629 | 1915 | 832 | 2506,2 | 1208,8 | 91,7 | 36,2 | 41,9 | 69,7 | 1446,7 | 151,7 | 4050,2 | 3798,9 | 100 | |
| | 90.Perzentil | 5886 | 15172 | 292 | 30 | 1339 | 3910 | 547 | 208 | 757,1 | 323,1 | 34,3 | 9 | 10,5 | 19,9 | 654,5 | 29 | 1717,6 | 1159 | 68,1 | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | | |
| | Mittelwert | 3436 | 3994 | 118 | 11 | 552 | 1246 | 228 | 81 | 199,3 | 102,9 | 14,1 | 3,5 | 4,2 | 8,3 | 382,1 | 9,4 | 723,8 | 319,9 | 23,2 | |
| | Median | 3248 | 383 | 72 | 7 | 329 | 123 | 113 | 42 | 19,1 | 10,2 | 8,4 | 1,8 | 2,6 | 4,1 | 361,2 | 6 | 476 | 47,1 | 12 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38,7 | 2,6 | 1,2 |
| | Maximum | 12996 | 49899 | 1169 | 152 | 3484 | 14583 | 1819 | 821 | 2490 | 1205 | 89,1 | 35,7 | 41,9 | 66,2 | 1445 | 151,7 | 4009,9 | 3776,8 | 100 | |
| | 90.Perzentil | 5809 | 14694 | 260 | 23 | 1324 | 3865 | 523 | 205 | 733,2 | 319,4 | 33,9 | 8,9 | 9,3 | 19 | 646 | 22,2 | 1695,8 | 1142,7 | 68,1 | |
| Auflage | Anzahl | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | | |
| | Mittelwert | 78 | 252 | 21 | 6 | 45 | 35 | 30 | 2 | 12,6 | 2,9 | 1,2 | 0,1 | 0,7 | 1,1 | 8,7 | 5,6 | 32,9 | 16,8 | 54,9 | |
| | Median | 49 | 194 | 14 | 4 | 39 | 22 | 22 | 2 | 9,7 | 1,9 | 1 | 0,1 | 0,5 | 0,8 | 5,4 | 3,6 | 28,7 | 13 | 53,4 | |
| | Minimum | 0 | 20 | 0 | 0 | 7 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0,4 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,5 | 1,7 | 10,7 |
| | Maximum | 739 | 1294 | 165 | 148 | 192 | 437 | 197 | 13 | 64,6 | 36,1 | 4,9 | 0,6 | 5,9 | 7,2 | 82,2 | 147,9 | 312,6 | 94,1 | 99,5 | |
| | 90.Perzentil | 145 | 468 | 46 | 11 | 72 | 50 | 64 | 6 | 23,3 | 4,1 | 1,8 | 0,2 | 1,6 | 2,3 | 16,1 | 10,9 | 50,5 | 28,8 | 85,5 | |
| Oberboden | Anzahl | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | | |
| | Mittelwert | 469 | 385 | 66 | 5 | 46 | 111 | 20 | 5 | 19,2 | 9,2 | 1,2 | 0,2 | 2,4 | 0,7 | 52,2 | 4,1 | 89,2 | 29,8 | 15,9 | |
| | Median | 309 | 29 | 40 | 3 | 28 | 13 | 4 | 1 | 1,4 | 1,1 | 0,7 | 0 | 1,4 | 0,2 | 34,4 | 2,7 | 52,6 | 3,5 | 7,4 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,5 | 0,1 | 1,8 |
| | Maximum | 2225 | 16299 | 360 | 31 | 342 | 4001 | 271 | 83 | 813,3 | 330,6 | 8,7 | 3,6 | 12,9 | 9,9 | 247,4 | 31,1 | 1153 | 1152 | 99,9 | |
| | 90.Perzentil | 1168 | 255 | 156 | 10 | 100 | 42 | 63 | 12 | 12,7 | 3,4 | 2,5 | 0,5 | 5,6 | 2,3 | 129,9 | 9,5 | 177,2 | 21 | 35,2 | |
| Unterboden | Anzahl | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | | |
| | Mittelwert | 1985 | 2304 | 38 | 4 | 326 | 731 | 175 | 48 | 115 | 60,4 | 8,3 | 2,1 | 1,4 | 6,4 | 220,7 | 3,3 | 417,6 | 185,8 | 17,2 | |
| | Median | 1598 | 71 | 16 | 1 | 127 | 24 | 75 | 18 | 3,6 | 2 | 3,2 | 0,8 | 0,6 | 2,7 | 177,7 | 0,5 | 217,1 | 10,5 | 5,7 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,7 | 0,5 | 0,9 |
| | Maximum | 8964 | 48272 | 943 | 36 | 3355 | 14104 | 1666 | 421 | 2408,8 | 1165,4 | 85,8 | 18,3 | 33,8 | 60,7 | 996,8 | 36,3 | 3736,9 | 3648 | 100 | |
| | 90.Perzentil | 3866 | 5739 | 85 | 10 | 862 | 2945 | 441 | 144 | 286,4 | 243,4 | 22 | 6,3 | 3 | 16,1 | 429,9 | 9,1 | 1146,1 | 632,7 | 63,4 | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | | |
| | Mittelwert | 1393 | 1827 | 20 | 2 | 252 | 566 | 52 | 40 | 91,2 | 46,8 | 6,4 | 1,7 | 0,7 | 1,9 | 154,9 | 1,6 | 305,1 | 146,1 | 25,4 | |
| | Median | 900 | 110 | 0 | 0 | 142 | 41 | 23 | 16 | 5,5 | 3,4 | 3,6 | 0,7 | 0 | 0,8 | 100 | 0 | 172,6 | 16,1 | 10,2 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,8 | 0,1 | 0,8 |
| | Maximum | 12414 | 28530 | 842 | 27 | 1973 | 9364 | 723 | 468 | 1423,7 | 773,7 | 50,5 | 20,4 | 30,2 | 26,3 | 1380,4 | 27,3 | 2520,7 | 1946,7 | 100 | |
| | 90.Perzentil | 2470 | 5261 | 23 | 5 | 545 | 1576 | 147 | 106 | 262,5 | 130,3 | 13,9 | 4,6 | 0,8 | 5,3 | 274,7 | 4,3 | 638,1 | 388,8 | 79,2 | |

6.3 Wasserextrakt (S4)

| Wasserextrakt (S4) | | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Zn | Cl | PO4 | SO4 | LF | pH | | |
|-------------------------------|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|------|-----|-------|------|------|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | µS/cm | | |
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 156 | 148 | 156 | 148 | 148 | 148 | 148 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 148 | 148 | 148 | 156 | 156 | 156 | 156 | 155 | 156 | |
| | Mittelwert | 201 | 0,09 | 135 | 0,01 | 0,34 | 0,05 | 0,27 | 97 | 115 | 75 | 61 | 56 | 0,1 | 0,21 | 1,25 | 44 | 26 | 436 | 44 | 4,68 | 4,68 | |
| | Median | 125 | 0,05 | 62 | 0 | 0,16 | 0 | 0,07 | 51 | 91 | 38 | 39 | 33 | 0 | 0,13 | 0,67 | 33 | 21 | 379 | 40 | 4,58 | 4,58 | |
| | Minimum | 20 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 23 | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 8 | 14 | 3,84 | 3,84 |
| | Maximum | 1786 | 1,73 | 1886 | 0,27 | 3,7 | 1,69 | 2,35 | 914 | 485 | 859 | 385 | 577 | 2,95 | 4,57 | 6,45 | 268 | 124 | 1712 | 144 | 8,23 | 8,23 | |
| | 90.Perzentil | 348 | 0,16 | 298 | 0,02 | 1 | 0,09 | 0,85 | 209 | 219 | 147 | 140 | 112 | 0,24 | 0,35 | 3,39 | 89 | 45 | 849 | 72 | 5,02 | 5,02 | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 156 | 148 | 156 | 148 | 148 | 148 | 148 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 148 | 148 | 148 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | |
| | Mittelwert | 194 | 0,06 | 121 | 0,01 | 0,34 | 0,04 | 0,25 | 95 | 96 | 70 | 57 | 53 | 0,09 | 0,17 | 1,14 | 34 | 3 | 417 | 40 | 4,74 | 4,74 | |
| | Median | 116 | 0,02 | 54 | 0 | 0,16 | 0 | 0,05 | 50 | 73 | 32 | 35 | 31 | 0 | 0,09 | 0,58 | 22 | 0 | 357 | 35 | 4,62 | 4,62 | |
| | Minimum | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 13 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 3,9 | 3,9 |
| | Maximum | 1780 | 1,73 | 1865 | 0,27 | 3,7 | 1,68 | 2,35 | 913 | 445 | 850 | 373 | 570 | 2,93 | 4,55 | 6,17 | 267 | 120 | 1688 | 142 | 8,23 | 8,23 | |
| | 90.Perzentil | 346 | 0,12 | 272 | 0,01 | 1 | 0,07 | 0,82 | 209 | 179 | 139 | 135 | 108 | 0,18 | 0,32 | 3,24 | 75 | 4 | 830 | 63 | 5,07 | 5,07 | |
| Auflage | Anzahl | 156 | 148 | 156 | 148 | 148 | 148 | 148 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 148 | 148 | 148 | 156 | 156 | 156 | 155 | 155 | 156 | |
| | Mittelwert | 8 | 0,04 | 15 | 0 | 0 | 0,01 | 0,02 | 2 | 20 | 5 | 3 | 3 | 0,01 | 0,04 | 0,12 | 10 | 24 | 21 | 382 | 3,84 | 3,84 | |
| | Median | 5 | 0,02 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 1 | 17 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0,03 | 0,09 | 9 | 21 | 17 | 346 | 3,7 | 3,7 |
| | Minimum | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 68 | 2,6 | 2,6 |
| | Maximum | 104 | 1,62 | 65 | 0 | 0,02 | 0,05 | 0,1 | 19 | 64 | 52 | 29 | 19 | 0,09 | 0,12 | 0,64 | 55 | 120 | 266 | 831 | 7,1 | 7,1 | |
| | 90.Perzentil | 16 | 0,07 | 30 | 0 | 0 | 0,02 | 0,04 | 4 | 34 | 9 | 7 | 5 | 0,03 | 0,08 | 0,27 | 18 | 43 | 33 | 584 | 4,35 | 4,35 | |
| Oberboden | Anzahl | 153 | 145 | 153 | 145 | 145 | 145 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 145 | 145 | 145 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | |
| | Mittelwert | 38 | 0,03 | 24 | 0 | 0,03 | 0,02 | 0,06 | 23 | 12 | 15 | 4 | 5 | 0,01 | 0,06 | 0,26 | 14 | 1 | 29 | 102 | 4,18 | 4,18 | |
| | Median | 27 | 0,01 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 15 | 9 | 4 | 1 | 3 | 0 | 0,04 | 0,13 | 6 | 0 | 16 | 89 | 4 | 4 | |
| | Minimum | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 3,4 | 3,4 |
| | Maximum | 250 | 0,33 | 770 | 0,03 | 0,42 | 0,3 | 0,96 | 147 | 77 | 370 | 56 | 34 | 0,51 | 0,39 | 2,79 | 217 | 69 | 282 | 396 | 7,9 | 7,9 | |
| | 90.Perzentil | 86 | 0,06 | 29 | 0 | 0,08 | 0,06 | 0,12 | 52 | 24 | 16 | 13 | 10 | 0,01 | 0,15 | 0,6 | 30 | 1 | 70 | 172 | 4,51 | 4,51 | |
| Unterboden | Anzahl | 150 | 142 | 150 | 142 | 142 | 142 | 142 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 142 | 142 | 142 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | |
| | Mittelwert | 121 | 0,02 | 55 | 0 | 0,25 | 0,02 | 0,14 | 54 | 50 | 35 | 46 | 31 | 0,06 | 0,07 | 0,58 | 13 | 0 | 272 | 40 | 4,67 | 4,67 | |
| | Median | 60 | 0 | 21 | 0 | 0,12 | 0 | 0 | 14 | 30 | 15 | 24 | 13 | 0 | 0,03 | 0 | 10 | 0 | 187 | 37 | 4,59 | 4,59 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 3,96 | 3,96 |
| | Maximum | 1772 | 0,47 | 569 | 0,27 | 2,13 | 1,23 | 2,35 | 907 | 355 | 307 | 333 | 294 | 2,89 | 1,22 | 5,46 | 121 | 12 | 1340 | 121 | 7,9 | 7,9 | |
| | 90.Perzentil | 217 | 0,06 | 115 | 0,01 | 0,67 | 0 | 0,34 | 117 | 137 | 87 | 121 | 93 | 0,11 | 0,18 | 1,69 | 26 | 0 | 699 | 64 | 5,2 | 5,2 | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 119 | 111 | 119 | 111 | 111 | 111 | 111 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 111 | 111 | 111 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | 119 | |
| | Mittelwert | 51 | 0,01 | 57 | 0 | 0,09 | 0,01 | 0,08 | 26 | 46 | 28 | 11 | 25 | 0,02 | 0,05 | 0,43 | 10 | 1 | 163 | 28 | 5,09 | 5,09 | |
| | Median | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 25 | 9 | 4 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 128 | 23 | 4,9 | 4,9 | |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4,3 | 4,3 |
| | Maximum | 731 | 0,13 | 1094 | 0,03 | 2,56 | 1,22 | 1,35 | 580 | 404 | 479 | 133 | 293 | 0,91 | 3,16 | 5 | 209 | 23 | 891 | 100 | 8,36 | 8,36 | |
| | 90.Perzentil | 118 | 0 | 127 | 0 | 0,2 | 0 | 0,3 | 59 | 99 | 58 | 30 | 63 | 0 | 0,07 | 1,64 | 21 | 1 | 369 | 49 | 5,63 | 5,63 | |

6.4 Ammoniumflourid-Extrakt

| Ammoniumflourid-Extrakt | | SO4 kg/ha |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 156 |
| | Mittelwert | 1847 |
| | Median | 1333 |
| | Minimum | 8 |
| | Maximum | 10841 |
| | 90.Perzentil | 3842 |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 156 |
| | Mittelwert | 1827 |
| | Median | 1289 |
| | Minimum | 0 |
| | Maximum | 10821 |
| | 90.Perzentil | 3813 |
| Auflage | Anzahl | 156 |
| | Mittelwert | 22 |
| | Median | 18 |
| | Minimum | 1 |
| | Maximum | 242 |
| | 90.Perzentil | 36 |
| Oberboden | Anzahl | 153 |
| | Mittelwert | 73 |
| | Median | 33 |
| | Minimum | 0 |
| | Maximum | 1641 |
| | 90.Perzentil | 140 |
| Unterboden | Anzahl | 150 |
| | Mittelwert | 1314 |
| | Median | 753 |
| | Minimum | 0 |
| | Maximum | 10785 |
| | 90.Perzentil | 3109 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 119 |
| | Mittelwert | 643 |
| | Median | 435 |
| | Minimum | 0 |
| | Maximum | 4697 |
| | 90.Perzentil | 1322 |

6.5 Sequenzielle Extraktion

| Sequenzielle Extraktion (austauschbare Fraktion) | | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Zn | S | P | |
|---|------------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 166 | 0,9 | 5971 | 0,15 | 2 | 1,9 | 3,6 | 57 | 701 | 1222 | 281 | 248 | 3,4 | 2,1 | 3,5 | 463 | 95 | |
| | Median | 115 | 0,8 | 1275 | 0,07 | 1 | 1,9 | 2,9 | 48 | 430 | 234 | 92 | 141 | 1 | 1,3 | 2,8 | 345 | 92 | |
| | Minimum | 9 | 0,2 | 102 | 0,01 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 5 | 98 | 26 | 2 | 19 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 38 | 20 | |
| | Maximum | 1275 | 4,8 | 89313 | 4,67 | 24,8 | 6,5 | 20,5 | 269 | 4594 | 16576 | 2572 | 2096 | 47,7 | 73,3 | 30 | 1842 | 325 | |
| 90.Perzentil | 327 | 1,4 | 13508 | 0,17 | 3,9 | 2,9 | 5,9 | 116 | 1568 | 3031 | 741 | 577 | 8,1 | 2,2 | 5,1 | 888 | 146 | | |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 35 | 0,2 | 159 | 0,01 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 26 | 47 | 37 | 15 | 15 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 31 | 10 | |
| | Median | 20 | 0,2 | 58 | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 18 | 31 | 21 | 3 | 8 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 17 | 7 | |
| | Minimum | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 255 | 0,9 | 2227 | 0,12 | 1,5 | 0,9 | 2,9 | 154 | 264 | 497 | 201 | 156 | 1,8 | 2,8 | 2,3 | 366 | 47 | |
| 90.Perzentil | 77 | 0,5 | 330 | 0,03 | 0,2 | 0,4 | 1 | 53 | 106 | 66 | 34 | 34 | 0,2 | 0,9 | 0,7 | 71 | 20 | | |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 97 | 0,5 | 3399 | 0,11 | 1,4 | 1,1 | 2,1 | 26 | 367 | 750 | 213 | 134 | 2,4 | 0,8 | 2,2 | 328 | 52 | |
| | Median | 63 | 0,3 | 409 | 0,03 | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 19 | 179 | 77 | 46 | 74 | 0,4 | 0,6 | 1,3 | 213 | 42 | |
| | Minimum | 2 | 0 | 7 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 1 | 25 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,2 | 17 | 5 | |
| | Maximum | 584 | 4,6 | 78555 | 4,66 | 19,8 | 3,5 | 20 | 194 | 3477 | 16079 | 2529 | 2038 | 45,9 | 18,6 | 29,7 | 1827 | 146 | |
| 90.Perzentil | 207 | 0,8 | 5771 | 0,11 | 3,2 | 2,3 | 4 | 44 | 827 | 1948 | 628 | 224 | 5,8 | 1,3 | 3,7 | 773 | 113 | | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 49 | 0,3 | 3365 | 0,04 | 0,8 | 0,9 | 1,5 | 9 | 400 | 610 | 77 | 140 | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 150 | 47 | |
| | Median | 28 | 0,2 | 605 | 0,02 | 0,4 | 0,8 | 1,1 | 6 | 201 | 95 | 31 | 57 | 0,5 | 0,4 | 1,2 | 107 | 39 | |
| | Minimum | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | |
| | Maximum | 478 | 1,5 | 49204 | 0,42 | 11,5 | 5,8 | 9,3 | 65 | 3868 | 10749 | 863 | 1283 | 28 | 52 | 8,7 | 1166 | 290 | |
| 90.Perzentil | 80 | 0,5 | 8173 | 0,08 | 1,2 | 1,8 | 3,5 | 21 | 983 | 1313 | 192 | 365 | 2,8 | 1,1 | 2,6 | 273 | 88 | | |

| Sequenzielle Extraktion (leicht reduzierbare Fraktion) | | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Zn | S | P | |
|---|---------------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|------|------|-----|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-----|--|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | |
| | Mittelwert | 301 | 0,5 | 526 | 0,21 | 16,3 | 1,8 | 2,1 | 435 | 34 | 83 | 1032 | 36 | 5,6 | 1,5 | 8,4 | 29 | 92 | |
| | Median | 260 | 0,5 | 250 | 0,04 | 6,3 | 1,8 | 1,6 | 337 | 22 | 44 | 408 | 27 | 1 | 1 | 3,3 | 27 | 90 | |
| | Minimum | 56 | 0,1 | 44 | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 97 | 3 | 10 | 6 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 4 | 19 | |
| | Maximum | 1306 | 1,6 | 10222 | 19,46 | 381 | 6,5 | 11,8 | 2334 | 220 | 1271 | 38439 | 216 | 499,2 | 25,6 | 511,2 | 84 | 325 | |
| | 90. Perzentil | 481 | 0,7 | 1097 | 0,11 | 36 | 2,9 | 4 | 815 | 74 | 175 | 1985 | 65 | 3,4 | 2,3 | 6,7 | 51 | 144 | |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| | Mittelwert | 29 | 0 | 31 | 0,01 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 86 | 3 | 5 | 22 | 3 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 5 | 7 | |
| | Median | 19 | 0 | 14 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 73 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0,1 | 0,3 | 3 | 4 | |
| | Minimum | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Maximum | 233 | 0,2 | 377 | 0,06 | 4,7 | 0,9 | 0,9 | 370 | 22 | 49 | 342 | 19 | 1,3 | 0,6 | 2 | 32 | 47 | |
| | 90. Perzentil | 59 | 0,1 | 67 | 0,02 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 182 | 7 | 11 | 56 | 6 | 0,2 | 0,2 | 0,9 | 11 | 14 | |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| | Mittelwert | 178 | 0,3 | 354 | 0,19 | 11,7 | 1 | 1,1 | 275 | 19 | 52 | 823 | 19 | 5,1 | 0,8 | 6,4 | 16 | 51 | |
| | Median | 136 | 0,2 | 112 | 0,02 | 2,8 | 0,8 | 0,7 | 189 | 9 | 19 | 232 | 12 | 0,4 | 0,4 | 1,6 | 13 | 42 | |
| | Minimum | 19 | 0 | 15 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 13 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,2 | 2 | 5 | |
| | Maximum | 732 | 0,9 | 9845 | 19,46 | 380,9 | 2,9 | 7,2 | 2285 | 218 | 1226 | 38423 | 91 | 499,2 | 8,8 | 510,8 | 70 | 146 | |
| | 90. Perzentil | 406 | 0,6 | 675 | 0,07 | 22,5 | 2,3 | 2,5 | 527 | 49 | 120 | 1453 | 42 | 2 | 1,5 | 4,5 | 34 | 113 | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | |
| | Mittelwert | 133 | 0,2 | 201 | 0,02 | 6,1 | 0,9 | 1,1 | 109 | 16 | 36 | 273 | 21 | 0,7 | 0,9 | 2,3 | 11 | 47 | |
| | Median | 110 | 0,2 | 96 | 0,01 | 2,3 | 0,8 | 0,7 | 60 | 10 | 17 | 125 | 9 | 0,5 | 0,4 | 1,4 | 9 | 39 | |
| | Minimum | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | Maximum | 793 | 1,5 | 1419 | 0,28 | 100,2 | 5,8 | 11 | 1028 | 189 | 333 | 3319 | 190 | 3,9 | 16,4 | 59,4 | 58 | 290 | |
| | 90. Perzentil | 234 | 0,4 | 473 | 0,05 | 13,3 | 1,8 | 2,4 | 201 | 35 | 72 | 550 | 57 | 1,4 | 1,2 | 3,4 | 19 | 88 | |

| Sequenzielle Extraktion (mäßig reduzierbare Fraktion) | | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Zn | S | P | |
|--|--------------|-------|------|-----|------|-------|-------|------|-------|-----|------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|-------|-----|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 14324 | 23,2 | 224 | 0,17 | 22,8 | 22,2 | 15,1 | 28163 | 50 | 132 | 1444 | 45 | 10,9 | 59,9 | 17,7 | 140 | 1720 | |
| | Median | 12825 | 14,1 | 173 | 0,08 | 12,6 | 13,7 | 11,2 | 24145 | 39 | 99 | 922 | 34 | 4,1 | 49,5 | 9,1 | 116 | 1095 | |
| | Minimum | 2134 | 3,5 | 40 | 0,01 | 0,4 | 1,3 | 1,6 | 4355 | 2 | 13 | 1 | 3 | 0,2 | 13,9 | 1 | 24 | 190 | |
| | Maximum | 52099 | 186 | 906 | 8,47 | 346 | 496,6 | 93,4 | 83097 | 303 | 1377 | 21460 | 271 | 461,8 | 232 | 573,3 | 450 | 12702 | |
| | 90.Perzentil | 25633 | 54,7 | 419 | 0,22 | 39,9 | 40,5 | 26,1 | 50430 | 104 | 244 | 3258 | 100 | 13,2 | 106,6 | 30,7 | 270 | 3817 | |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| | Mittelwert | 1161 | 3 | 17 | 0,02 | 0,7 | 2,3 | 1,5 | 3165 | 4 | 17 | 67 | 3 | 0,7 | 11,4 | 1,5 | 24 | 148 | |
| | Median | 594 | 1,9 | 12 | 0,01 | 0,2 | 0,9 | 0,8 | 1782 | 2 | 7 | 23 | 1 | 0,2 | 8,2 | 0,9 | 13 | 68 | |
| | Minimum | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | Maximum | 9567 | 19 | 94 | 0,18 | 10,3 | 27,5 | 16,4 | 17673 | 50 | 192 | 1029 | 24 | 17,9 | 41,6 | 9,8 | 214 | 1460 | |
| | 90.Perzentil | 2640 | 7,3 | 43 | 0,04 | 1,4 | 6,1 | 2,9 | 8281 | 8 | 42 | 178 | 7 | 0,9 | 27,4 | 4 | 59 | 386 | |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| | Mittelwert | 9433 | 16,4 | 124 | 0,13 | 15,6 | 16,7 | 9,5 | 20999 | 29 | 80 | 1054 | 24 | 8,4 | 36,5 | 13,1 | 96 | 1030 | |
| | Median | 7370 | 7,4 | 84 | 0,04 | 6,6 | 8,3 | 5 | 16039 | 17 | 44 | 555 | 12 | 1,8 | 25,1 | 4,8 | 74 | 629 | |
| | Minimum | 779 | 0,3 | 10 | 0 | 0,1 | 0,7 | 1 | 1290 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1,7 | 0,4 | 8 | 28 | |
| | Maximum | 44419 | 184 | 679 | 8,46 | 345,2 | 469,1 | 87,3 | 81868 | 161 | 1189 | 21386 | 220 | 461,1 | 192,4 | 572 | 439 | 7179 | |
| | 90.Perzentil | 16695 | 43,8 | 261 | 0,14 | 30,9 | 34 | 17,9 | 41980 | 71 | 176 | 2200 | 56 | 9,4 | 78 | 22,1 | 209 | 2041 | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | |
| | Mittelwert | 5314 | 5,7 | 115 | 0,04 | 9,1 | 4,8 | 6 | 7185 | 24 | 50 | 464 | 24 | 2,6 | 17,5 | 4,4 | 30 | 764 | |
| | Median | 3703 | 3,5 | 80 | 0,02 | 4,5 | 2,8 | 4,3 | 4701 | 16 | 26 | 280 | 12 | 1,4 | 10,6 | 2,8 | 23 | 291 | |
| | Minimum | 29 | 0 | 1 | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 | 20 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,1 | 0,1 | 1 | 3 | |
| | Maximum | 33152 | 38,5 | 806 | 0,31 | 136 | 46,5 | 51,2 | 45198 | 272 | 370 | 4448 | 175 | 20,9 | 163,8 | 42,7 | 249 | 5984 | |
| | 90.Perzentil | 9499 | 12,5 | 215 | 0,07 | 20,1 | 9,5 | 11,5 | 16993 | 48 | 109 | 1086 | 71 | 6,2 | 31,3 | 7,7 | 50 | 2040 | |

| Sequenzielle Extraktion (oxidierbare Fraktion) | | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Zn | S | P | |
|---|---------------|-------|------|-----|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-----|------|--|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | |
| | Mittelwert | 6199 | 4,6 | 141 | 0,05 | 3,6 | 11,3 | 9,3 | 8827 | 826 | 586 | 155 | 75 | 6,4 | 4,1 | 20,8 | 40 | 201 | |
| | Median | 3544 | 2,3 | 119 | 0,01 | 1,8 | 4,8 | 6,9 | 5118 | 342 | 276 | 76 | 40 | 2,6 | 2,3 | 11 | 37 | 150 | |
| | Minimum | 541 | 0,3 | 3 | 0 | 0,2 | 0,5 | 1,3 | 405 | 28 | 34 | 2 | 2 | 0,2 | 0,4 | 1,1 | 7 | 23 | |
| | Maximum | 67091 | 52,1 | 682 | 1,91 | 47,2 | 148 | 63,3 | 64064 | 19787 | 10944 | 2356 | 1388 | 196,6 | 47,2 | 628,8 | 136 | 1316 | |
| | 90. Perzentil | 12245 | 11,2 | 257 | 0,05 | 7,1 | 24,6 | 17 | 20761 | 1928 | 1091 | 370 | 117 | 9,8 | 7,8 | 36,1 | 67 | 348 | |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| | Mittelwert | 265 | 0,4 | 8 | 0 | 0,1 | 0,8 | 0,5 | 483 | 20 | 21 | 8 | 3 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 11 | 17 | |
| | Median | 145 | 0,2 | 5 | 0 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 231 | 9 | 12 | 3 | 1 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 7 | 10 | |
| | Minimum | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Maximum | 1869 | 2,8 | 38 | 0,01 | 1,4 | 15,2 | 4,7 | 4042 | 132 | 109 | 149 | 29 | 1,9 | 2,9 | 3,6 | 89 | 111 | |
| | 90. Perzentil | 640 | 1 | 16 | 0,01 | 0,2 | 1,8 | 1,1 | 1263 | 49 | 57 | 19 | 7 | 0,4 | 1,1 | 1,7 | 24 | 45 | |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | |
| | Mittelwert | 3918 | 3,4 | 83 | 0,04 | 2,3 | 7,8 | 5,5 | 6250 | 546 | 383 | 117 | 41 | 4,7 | 2,4 | 14,4 | 21 | 127 | |
| | Median | 1920 | 1,1 | 52 | 0,01 | 0,8 | 3 | 3 | 2814 | 159 | 144 | 52 | 18 | 1,2 | 1,1 | 5,5 | 18 | 85 | |
| | Minimum | 290 | 0,1 | 2 | 0 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 62 | 4 | 8 | 0 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 3 | 5 | |
| | Maximum | 56206 | 51,8 | 679 | 1,91 | 47,1 | 137,9 | 56,2 | 63886 | 19780 | 10938 | 2349 | 726 | 196,5 | 31,8 | 628,2 | 78 | 1311 | |
| | 90. Perzentil | 8867 | 9,1 | 187 | 0,03 | 5,6 | 17 | 12,9 | 15647 | 1119 | 651 | 271 | 94 | 6,6 | 5,8 | 17,6 | 37 | 280 | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | |
| | Mittelwert | 2839 | 1,2 | 70 | 0,02 | 1,6 | 3,8 | 4,6 | 2998 | 368 | 255 | 43 | 42 | 2,2 | 1,7 | 8 | 11 | 80 | |
| | Median | 1028 | 0,5 | 48 | 0,01 | 0,7 | 1,4 | 2,6 | 1144 | 98 | 80 | 20 | 15 | 1 | 0,7 | 3,9 | 9 | 50 | |
| | Minimum | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | Maximum | 51168 | 12,1 | 445 | 0,37 | 22,9 | 51,8 | 48 | 39348 | 5925 | 3953 | 526 | 1202 | 27,2 | 44,9 | 58,7 | 58 | 569 | |
| | 90. Perzentil | 5733 | 3,2 | 150 | 0,02 | 3,4 | 8,4 | 8,2 | 6588 | 1148 | 586 | 108 | 70 | 3,9 | 2,9 | 17,7 | 21 | 143 | |

| Sequenzielle Extraktion (Residualfraktion) | | Al | As | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Zn | S | P |
|---|--------------|--------|-------|--------|------|-------|--------|-------|---------|--------|--------|------|------|--------|--------|--------|------|-------|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 139958 | 38 | 5445 | 0,4 | 43,2 | 226,9 | 94,8 | 166766 | 21817 | 31480 | 1136 | 748 | 162,3 | 115,6 | 446,8 | 213 | 1626 |
| | Median | 115742 | 21,5 | 1949 | 0,22 | 32,4 | 132,2 | 59 | 132861 | 14386 | 24112 | 946 | 650 | 100,4 | 53 | 364 | 177 | 1171 |
| | Minimum | 16201 | 2,1 | 250 | 0,01 | 1,6 | 9,6 | 4,1 | 9858 | 1053 | 850 | 75 | 54 | 6 | 7,7 | 36,5 | 31 | 149 |
| | Maximum | 725115 | 272,8 | 118946 | 6,02 | 267,9 | 2041,3 | 457,4 | 1079477 | 169850 | 183858 | 5767 | 5135 | 1722,7 | 6381,5 | 2386,1 | 1345 | 14024 |
| | 90.Perzentil | 267685 | 83,4 | 12690 | 0,63 | 85 | 450,3 | 205,3 | 293801 | 42413 | 68519 | 2075 | 1253 | 308,9 | 108,4 | 763,5 | 381 | 3292 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 7687 | 2,5 | 256 | 0,02 | 2 | 14,1 | 6,4 | 8546 | 936 | 1568 | 59 | 47 | 8,2 | 6,2 | 23,5 | 48 | 93 |
| | Median | 3991 | 1,5 | 79 | 0,01 | 0,8 | 4,5 | 2,2 | 3878 | 423 | 588 | 23 | 30 | 2,6 | 3,7 | 12,7 | 27 | 51 |
| | Minimum | 75 | 0,1 | 6 | 0 | 0 | 0,2 | 0,1 | 83 | 13 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0,2 | 0,3 | 0 | 2 |
| | Maximum | 111321 | 17,2 | 10279 | 0,28 | 18,9 | 251,1 | 231,2 | 170827 | 9934 | 20311 | 616 | 628 | 111,4 | 68,6 | 230,7 | 478 | 1064 |
| | 90.Perzentil | 20178 | 6,2 | 494 | 0,05 | 5 | 24,2 | 13,1 | 21066 | 2266 | 3971 | 143 | 96 | 21,2 | 12,2 | 62,7 | 114 | 185 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 80397 | 25,1 | 3083 | 0,27 | 25,4 | 136,1 | 54 | 93404 | 10750 | 17679 | 662 | 386 | 103,5 | 40,2 | 262,8 | 121 | 906 |
| | Median | 54970 | 9,8 | 1020 | 0,11 | 14,8 | 66,3 | 32,5 | 59320 | 6398 | 9933 | 451 | 270 | 46,8 | 23,8 | 180,7 | 92 | 524 |
| | Minimum | 3479 | 0,7 | 74 | 0 | 0,5 | 2,1 | 1,7 | 920 | 349 | 199 | 7 | 30 | 1,4 | 3 | 11 | 8 | 42 |
| | Maximum | 368063 | 271,6 | 108667 | 5,99 | 189 | 1904,3 | 424,1 | 496674 | 52316 | 171009 | 3631 | 1648 | 1611,3 | 475,1 | 2054,4 | 867 | 9427 |
| | 90.Perzentil | 188487 | 57,7 | 5370 | 0,37 | 58,5 | 314,7 | 123,8 | 216833 | 30197 | 45604 | 1492 | 790 | 210 | 71,1 | 522,8 | 235 | 1519 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 72556 | 14,6 | 2944 | 0,16 | 22,1 | 107,8 | 48,2 | 90369 | 14058 | 17086 | 580 | 438 | 71,3 | 95,2 | 224,6 | 63 | 875 |
| | Median | 43040 | 8,2 | 661 | 0,11 | 13,7 | 55,5 | 32,4 | 61800 | 6694 | 9742 | 366 | 324 | 43,8 | 22,6 | 160,7 | 38 | 530 |
| | Minimum | 464 | 0,4 | 4 | 0 | 0,3 | 1,4 | 0,3 | 870 | 162 | 64 | 1 | 1 | 0,7 | 0,6 | 1,9 | 1 | 8 |
| | Maximum | 651064 | 79,5 | 28707 | 1,38 | 235,9 | 1111,6 | 319,5 | 966996 | 153081 | 109584 | 4642 | 4674 | 905,6 | 5841,6 | 2133,9 | 578 | 6150 |
| | 90.Perzentil | 171171 | 39,2 | 9024 | 0,29 | 43,2 | 231,7 | 111,1 | 203280 | 34084 | 45131 | 1217 | 821 | 123,4 | 52,5 | 487 | 106 | 1911 |

| Aluminium | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 0,2 | 0,3 | 11,1 | 4,1 | 84,4 |
| | Median | 0,1 | 0,2 | 9,9 | 2,7 | 85,7 |
| | Minimum | 0 | 0 | 3,4 | 0,9 | 53,5 |
| | Maximum | 1,2 | 2,1 | 41,2 | 31,3 | 95 |
| | 90.Perzentil | 0,4 | 0,5 | 19,5 | 8,4 | 93,3 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 0,7 | 0,5 | 13,8 | 3,4 | 81,6 |
| | Median | 0,4 | 0,4 | 12,3 | 3,1 | 83,3 |
| | Minimum | 0 | 0 | 3,9 | 0,9 | 48,7 |
| | Maximum | 20 | 4 | 44,9 | 12,4 | 94,9 |
| | 90.Perzentil | 1,2 | 0,8 | 19,3 | 5 | 88,6 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 0,2 | 0,3 | 13,6 | 4,2 | 81,7 |
| | Median | 0,1 | 0,2 | 11,2 | 3,1 | 84,4 |
| | Minimum | 0 | 0 | 2,9 | 1,1 | 39,9 |
| | Maximum | 1,6 | 3,1 | 54 | 31,6 | 95,7 |
| | 90.Perzentil | 0,5 | 0,6 | 24,2 | 8,1 | 92,1 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 0,1 | 0,3 | 9,3 | 3,4 | 87 |
| | Median | 0,1 | 0,2 | 7 | 2,2 | 88,5 |
| | Minimum | 0 | 0 | 2,4 | 0,3 | 41,7 |
| | Maximum | 1,6 | 1,4 | 53,6 | 20,2 | 97 |
| | 90.Perzentil | 0,3 | 0,5 | 18,7 | 8 | 94,8 |

| Arsen | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 2 | 1,2 | 37,2 | 6,3 | 53,2 |
| | Median | 1,7 | 1 | 37,2 | 5,8 | 52,3 |
| | Minimum | 0,2 | 0,1 | 8,1 | 1,9 | 24,4 |
| | Maximum | 5,5 | 5,1 | 69,8 | 22,9 | 88,1 |
| | 90.Perzentil | 3,7 | 2,3 | 50,9 | 9,4 | 71 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 5,4 | 1,1 | 46,8 | 6,8 | 39,9 |
| | Median | 4,5 | 0,8 | 47,7 | 6,7 | 38,7 |
| | Minimum | 0,7 | 0,1 | 3,6 | 0,7 | 16,8 |
| | Maximum | 35,9 | 7,4 | 72,8 | 12,2 | 86 |
| | 90.Perzentil | 9,3 | 2,4 | 62,1 | 9,6 | 55,1 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 1,7 | 1,1 | 39,5 | 6,5 | 51,2 |
| | Median | 1,5 | 1,1 | 40,2 | 5,9 | 51,5 |
| | Minimum | 0,1 | 0,1 | 6,1 | 2 | 17,6 |
| | Maximum | 5,2 | 3,3 | 70,4 | 43,9 | 90,5 |
| | 90.Perzentil | 3,1 | 2,3 | 53,6 | 9,8 | 68,9 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 1,8 | 1,7 | 26,7 | 4,9 | 64,9 |
| | Median | 1,5 | 1,4 | 25,4 | 3,8 | 65,8 |
| | Minimum | 0,1 | 0,1 | 8,2 | 1,1 | 26,6 |
| | Maximum | 7,8 | 7,8 | 68,8 | 26,7 | 89,1 |
| | 90.Perzentil | 3,4 | 3 | 41,4 | 7,7 | 81,4 |

| Calcium (Sequenzielle Extraktion) | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|--------------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 36,2 | 6,7 | 4,4 | 2,9 | 49,8 |
| | Median | 31 | 6,3 | 3,7 | 2,2 | 52,2 |
| | Minimum | 3,4 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 3,2 |
| | Maximum | 92,3 | 22,8 | 24,1 | 12,8 | 93,1 |
| | 90.Perzentil | 73,2 | 12,5 | 8 | 6,6 | 79,3 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 35,6 | 8,6 | 6 | 2,8 | 46,9 |
| | Median | 33,2 | 8,1 | 5,9 | 2,7 | 49,2 |
| | Minimum | 4,9 | 1 | 0,7 | 0 | 3,5 |
| | Maximum | 89,5 | 23,3 | 22,2 | 8,2 | 91,2 |
| | 90.Perzentil | 61 | 14,4 | 9,2 | 5,3 | 75,7 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 30,9 | 7,2 | 4,8 | 3,4 | 53,7 |
| | Median | 25,7 | 6,4 | 4,1 | 2,6 | 55,7 |
| | Minimum | 3,1 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3,7 |
| | Maximum | 91 | 22,7 | 24,9 | 31,1 | 93,4 |
| | 90.Perzentil | 61,8 | 14,3 | 8,2 | 6,8 | 81 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 34,7 | 6,1 | 4,2 | 2,9 | 52 |
| | Median | 29,8 | 5,1 | 3,9 | 2,1 | 55,1 |
| | Minimum | 2,3 | 0,5 | 0,2 | 0 | 1,8 |
| | Maximum | 95,7 | 25 | 24,1 | 11,1 | 93,4 |
| | 90.Perzentil | 77,6 | 12,1 | 8 | 7,1 | 86,8 |

| Cadmium (Sequenzielle Extraktion) | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|--------------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 17,4 | 9,5 | 19 | 5,2 | 48,9 |
| | Median | 15,5 | 8,5 | 16,5 | 3,2 | 52,7 |
| | Minimum | 4,7 | 1,7 | 4,3 | 1,1 | 4,7 |
| | Maximum | 49,5 | 48,2 | 54 | 63,6 | 85 |
| | 90.Perzentil | 30,6 | 14,3 | 31,1 | 7 | 66,6 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 26,6 | 11,6 | 26,4 | 3,6 | 31,8 |
| | Median | 25,3 | 11,3 | 25,2 | 2,6 | 32 |
| | Minimum | 5,4 | 0,8 | 7,1 | 0,8 | 2 |
| | Maximum | 60,9 | 23 | 56,7 | 67,3 | 68,5 |
| | 90.Perzentil | 41,5 | 17 | 39,1 | 5 | 51,7 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 17,6 | 10 | 19,8 | 5 | 47,5 |
| | Median | 14,7 | 9,1 | 17,4 | 3,4 | 50 |
| | Minimum | 3,2 | 0,5 | 3,1 | 0,8 | 4 |
| | Maximum | 54,6 | 48,2 | 61,6 | 64,7 | 85,1 |
| | 90.Perzentil | 30,7 | 16,8 | 32,2 | 7 | 68 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 13,8 | 8,3 | 15,1 | 5,8 | 57 |
| | Median | 10,9 | 7 | 14,3 | 3,3 | 61,5 |
| | Minimum | 2,5 | 1,9 | 3,1 | 0,8 | 6,1 |
| | Maximum | 47,1 | 25 | 60,3 | 61,8 | 84,8 |
| | 90.Perzentil | 27,3 | 14,5 | 23,5 | 10 | 74,8 |

| Kobalt | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 3 | 13,6 | 22,2 | 4,2 | 57,1 |
| | Median | 1,7 | 12,3 | 21,8 | 3,8 | 55,8 |
| | Minimum | 0,4 | 1,7 | 4,2 | 1,1 | 14,4 |
| | Maximum | 16,3 | 41,9 | 42,4 | 16 | 89,9 |
| | 90.Perzentil | 6,8 | 24,3 | 35,7 | 7,1 | 78,9 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 5,8 | 6,2 | 18,9 | 6,3 | 62,8 |
| | Median | 4 | 4,1 | 18 | 5 | 66,5 |
| | Minimum | 0,9 | 1,1 | 2,6 | 0,9 | 20 |
| | Maximum | 20 | 22,3 | 41,5 | 20 | 89,7 |
| | 90.Perzentil | 14,3 | 14,9 | 31,9 | 14,3 | 80,1 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 3 | 13 | 22,8 | 4,3 | 56,9 |
| | Median | 1,7 | 11,9 | 22,1 | 3,6 | 55,1 |
| | Minimum | 0,4 | 1,7 | 3,8 | 1,2 | 14,3 |
| | Maximum | 16,3 | 42 | 43,2 | 26,7 | 90 |
| | 90.Perzentil | 6,7 | 24,3 | 35,4 | 7,1 | 78,2 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 2,9 | 13,6 | 21,5 | 4,1 | 57,9 |
| | Median | 1,5 | 10,8 | 21,5 | 3,4 | 57,8 |
| | Minimum | 0,4 | 0,8 | 2 | 0,7 | 16,8 |
| | Maximum | 20 | 40,5 | 42,9 | 17,6 | 91,7 |
| | 90.Perzentil | 6,7 | 26,7 | 36,5 | 7,2 | 79,9 |

| Chrom | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 1,4 | 1,3 | 8,9 | 4,4 | 84 |
| | Median | 0,9 | 0,8 | 8,4 | 3,6 | 85,1 |
| | Minimum | 0,1 | 0,1 | 1,3 | 0,9 | 58,1 |
| | Maximum | 7,4 | 7,4 | 24,1 | 26,3 | 96,1 |
| | 90.Perzentil | 3,1 | 3,1 | 14,9 | 7,4 | 91,9 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 2,7 | 2,4 | 13,8 | 5,8 | 75,2 |
| | Median | 1,7 | 1,3 | 13,1 | 5,5 | 76,6 |
| | Minimum | 0,3 | 0,2 | 3,4 | 1,6 | 46,7 |
| | Maximum | 13,3 | 13,3 | 28,9 | 13,3 | 93,7 |
| | 90.Perzentil | 5,7 | 5,7 | 20,4 | 9,1 | 85,3 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 1,3 | 1,3 | 11,4 | 4,6 | 81,3 |
| | Median | 0,9 | 0,8 | 9,7 | 3,8 | 83,6 |
| | Minimum | 0,1 | 0,1 | 1,4 | 0,7 | 46,6 |
| | Maximum | 6,7 | 6,7 | 35,5 | 32,8 | 97,5 |
| | 90.Perzentil | 3,2 | 3,2 | 20,4 | 7,8 | 90,9 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 1,6 | 1,6 | 5,8 | 3,4 | 87,7 |
| | Median | 1,1 | 1,1 | 4,4 | 2,4 | 89,3 |
| | Minimum | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,3 | 58,1 |
| | Maximum | 10,5 | 10,5 | 20,7 | 19,3 | 98 |
| | 90.Perzentil | 3,6 | 3,6 | 10,5 | 7,1 | 95,3 |

| Kupfer | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 4,2 | 2,3 | 13,5 | 9 | 70,9 |
| | Median | 3,1 | 1,6 | 11,6 | 6,9 | 74,3 |
| | Minimum | 0,5 | 0,3 | 4,5 | 1,3 | 22,4 |
| | Maximum | 17,8 | 9,5 | 45,3 | 53 | 92,9 |
| | 90.Perzentil | 8,9 | 4,9 | 22,7 | 16,9 | 87,6 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 8,3 | 2,9 | 22,3 | 9,3 | 57,3 |
| | Median | 7,1 | 2,4 | 21,2 | 8,1 | 58,2 |
| | Minimum | 0,9 | 0,3 | 5,6 | 1,8 | 7,1 |
| | Maximum | 29,6 | 11,7 | 53,8 | 29 | 90,6 |
| | 90.Perzentil | 14,9 | 5,2 | 34,8 | 17,9 | 78,6 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 4,8 | 2,4 | 13,7 | 9,4 | 69,6 |
| | Median | 3,6 | 1,5 | 11,9 | 7,4 | 73,8 |
| | Minimum | 0,4 | 0,2 | 2 | 1,2 | 4,1 |
| | Maximum | 19,9 | 10,8 | 45,8 | 91,5 | 92 |
| | 90.Perzentil | 10,3 | 5,2 | 22,9 | 17,5 | 87,1 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 3,6 | 2,5 | 11,5 | 8,8 | 73,6 |
| | Median | 2,5 | 1,9 | 10,3 | 7,4 | 76,3 |
| | Minimum | 0,4 | 0,2 | 1,7 | 0,6 | 18 |
| | Maximum | 15,6 | 9,4 | 28,9 | 31 | 95,4 |
| | 90.Perzentil | 7,5 | 5,2 | 20,8 | 17,3 | 90,3 |

| Eisen | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 0,1 | 0,3 | 16,7 | 4,2 | 78,8 |
| | Median | 0 | 0,2 | 15,4 | 3,2 | 80,3 |
| | Minimum | 0 | 0,1 | 2,9 | 0,9 | 51,9 |
| | Maximum | 0,3 | 1,7 | 40,7 | 15,4 | 95,5 |
| | 90.Perzentil | 0,1 | 0,6 | 28,4 | 7,5 | 89,5 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 0,4 | 1,3 | 29 | 3,9 | 65,3 |
| | Median | 0,3 | 1,1 | 27,7 | 3,7 | 66,8 |
| | Minimum | 0 | 0,1 | 4,8 | 0,6 | 35,1 |
| | Maximum | 5,2 | 4,5 | 55,5 | 8,4 | 93,3 |
| | 90.Perzentil | 0,8 | 2,3 | 42,4 | 6,2 | 78,2 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 0,1 | 0,4 | 20,9 | 4,7 | 74 |
| | Median | 0 | 0,2 | 18,9 | 3,8 | 75,9 |
| | Minimum | 0 | 0 | 3,8 | 0,1 | 34 |
| | Maximum | 1,2 | 3,2 | 58,2 | 27,6 | 95,1 |
| | 90.Perzentil | 0,2 | 0,8 | 35,5 | 8,8 | 86,5 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 0 | 0,1 | 9,2 | 2,9 | 87,7 |
| | Median | 0 | 0,1 | 7,3 | 2,2 | 89,5 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0,9 | 0,2 | 55 |
| | Maximum | 0,5 | 0,8 | 42,5 | 16,7 | 98,9 |
| | 90.Perzentil | 0,1 | 0,3 | 16,5 | 6,3 | 96,1 |

| Kalium | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 3,9 | 0,2 | 0,4 | 4 | 91,5 |
| | Median | 3,3 | 0,2 | 0,2 | 2,2 | 93,3 |
| | Minimum | 0,5 | 0 | 0 | 0,2 | 57,5 |
| | Maximum | 16,5 | 2,3 | 4,6 | 37,9 | 98,9 |
| | 90.Perzentil | 7,3 | 0,4 | 0,6 | 9,9 | 97,8 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 9,4 | 0,6 | 0,6 | 2,7 | 86,7 |
| | Median | 6,4 | 0,4 | 0,4 | 1,9 | 89,9 |
| | Minimum | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 45 |
| | Maximum | 47,2 | 5 | 5,5 | 13,7 | 98,6 |
| | 90.Perzentil | 20,2 | 1,2 | 1 | 6,1 | 95,7 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 3,9 | 0,2 | 0,4 | 4,2 | 91,2 |
| | Median | 3,5 | 0,1 | 0,2 | 2,8 | 92,6 |
| | Minimum | 0,8 | 0 | 0 | 0,1 | 57,4 |
| | Maximum | 16,5 | 2,4 | 3,9 | 38,1 | 98,7 |
| | 90.Perzentil | 7,7 | 0,4 | 0,9 | 10,1 | 97,7 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 3,8 | 0,2 | 0,3 | 3,4 | 92,3 |
| | Median | 2,7 | 0,1 | 0,2 | 1,6 | 94,4 |
| | Minimum | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 70,1 |
| | Maximum | 20,5 | 0,6 | 6,1 | 23,7 | 99,2 |
| | 90.Perzentil | 7,3 | 0,4 | 0,7 | 9,6 | 98,5 |

| Magnesium | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 3,6 | 0,4 | 0,6 | 2,6 | 92,9 |
| | Median | 1,5 | 0,2 | 0,4 | 1,2 | 96,6 |
| | Minimum | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,2 | 47,4 |
| | Maximum | 26,9 | 6,5 | 8,1 | 29,4 | 99,4 |
| | 90.Perzentil | 8,8 | 0,8 | 0,9 | 6,7 | 98,5 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 6,5 | 1 | 1,7 | 2,3 | 88,5 |
| | Median | 3,1 | 0,5 | 1,1 | 1,6 | 93,4 |
| | Minimum | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 16,6 |
| | Maximum | 56,4 | 8,1 | 10,5 | 9,8 | 98,7 |
| | 90.Perzentil | 16,1 | 2,7 | 3,4 | 5 | 96,2 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 2,7 | 0,4 | 0,6 | 2,7 | 93,6 |
| | Median | 1 | 0,2 | 0,4 | 1,5 | 96,7 |
| | Minimum | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 | 63,9 |
| | Maximum | 22,2 | 4,6 | 4,7 | 29,6 | 99,4 |
| | 90.Perzentil | 7,1 | 0,9 | 1,1 | 6,4 | 98,5 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 3,6 | 0,4 | 0,5 | 2,1 | 93,3 |
| | Median | 1,1 | 0,1 | 0,2 | 0,8 | 97,5 |
| | Minimum | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 | 31,3 |
| | Maximum | 38,5 | 8,3 | 11,5 | 18,1 | 99,6 |
| | 90.Perzentil | 9,7 | 0,8 | 0,9 | 6,5 | 99,1 |

| Mangan | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 6,2 | 16,7 | 34,2 | 3,7 | 39,1 |
| | Median | 4,4 | 16,8 | 36 | 3,4 | 34,9 |
| | Minimum | 0,3 | 1,2 | 0,1 | 0,7 | 4,9 |
| | Maximum | 24,6 | 57,4 | 59,3 | 14,7 | 88,9 |
| | 90.Perzentil | 14,2 | 26,7 | 46,7 | 6,5 | 64,7 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 9,8 | 6,3 | 35 | 4,8 | 44,2 |
| | Median | 6,8 | 3,8 | 37,3 | 3,9 | 41,5 |
| | Minimum | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 7,8 |
| | Maximum | 60,1 | 33,6 | 76,2 | 17,1 | 98,1 |
| | 90.Perzentil | 18,6 | 18,1 | 54,7 | 8,4 | 70,5 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 6,2 | 16,3 | 35,9 | 4,1 | 37,5 |
| | Median | 4,3 | 15,6 | 37,8 | 3,5 | 33 |
| | Minimum | 0,3 | 1 | 0 | 0,6 | 4,8 |
| | Maximum | 24,8 | 57,5 | 62,9 | 16,1 | 89,4 |
| | 90.Perzentil | 14,3 | 28,8 | 49,6 | 7,3 | 70,1 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 5,6 | 16,3 | 30,1 | 3 | 45 |
| | Median | 3,5 | 15,8 | 30,4 | 2,4 | 44,1 |
| | Minimum | 0,2 | 0,3 | 1 | 0,2 | 9,8 |
| | Maximum | 32,3 | 49,7 | 59,3 | 15,8 | 92,7 |
| | 90.Perzentil | 13,4 | 28,6 | 44,2 | 5,5 | 71,5 |

| Natrium | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 19,1 | 3,5 | 4,1 | 6,4 | 66,9 |
| | Median | 16,6 | 3,1 | 3,2 | 4,8 | 68,9 |
| | Minimum | 5,2 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 25,1 |
| | Maximum | 51,7 | 13,7 | 28,5 | 41,3 | 84,9 |
| | 90.Perzentil | 31,1 | 6,2 | 7 | 13 | 80,5 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 22,4 | 4,3 | 4,5 | 5 | 63,8 |
| | Median | 21,9 | 4 | 3,7 | 4,1 | 65,5 |
| | Minimum | 1,1 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 3,2 |
| | Maximum | 55,7 | 19,5 | 22,5 | 20 | 95,6 |
| | 90.Perzentil | 38 | 7,6 | 9 | 9,8 | 81,2 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 18,6 | 3,3 | 4,2 | 6,7 | 67,2 |
| | Median | 15,3 | 2,9 | 3 | 5 | 69,1 |
| | Minimum | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 25,5 |
| | Maximum | 52,3 | 13,7 | 41,1 | 47,1 | 96,2 |
| | 90.Perzentil | 32,8 | 5,7 | 7,7 | 13,1 | 82,6 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 17,8 | 3,5 | 3,9 | 6,3 | 68,5 |
| | Median | 15,4 | 2,6 | 2,9 | 4,5 | 69,2 |
| | Minimum | 0,5 | 0,4 | 0,9 | 0,4 | 15,4 |
| | Maximum | 50,3 | 15,4 | 14,7 | 44,3 | 95,2 |
| | 90.Perzentil | 30,9 | 6,8 | 7,3 | 14,4 | 85,5 |

| Nickel | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 2,2 | 1,5 | 4,7 | 3,3 | 88,2 |
| | Median | 1,2 | 1 | 3,8 | 2,4 | 90,3 |
| | Minimum | 0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,8 | 37,2 |
| | Maximum | 17,7 | 26,5 | 24,5 | 17,3 | 97,3 |
| | 90.Perzentil | 5,3 | 2,9 | 7,8 | 6,1 | 95,1 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 3,3 | 2,5 | 9,9 | 3,6 | 80,7 |
| | Median | 1,6 | 1,3 | 7,1 | 2,6 | 86,1 |
| | Minimum | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 0,7 | 16,7 |
| | Maximum | 38,5 | 16,7 | 44,6 | 16,7 | 96,9 |
| | 90.Perzentil | 7,7 | 6,7 | 19,9 | 7,1 | 92,8 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 2,3 | 1,5 | 4,5 | 3,6 | 88,2 |
| | Median | 1,2 | 0,9 | 3,5 | 2,6 | 90,8 |
| | Minimum | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 37,1 |
| | Maximum | 28,2 | 26,6 | 24,5 | 54,5 | 99 |
| | 90.Perzentil | 3,9 | 2,8 | 7,9 | 6 | 95,4 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 2,2 | 1,5 | 4,4 | 3,2 | 88,7 |
| | Median | 1,1 | 1,1 | 3,6 | 2,3 | 91,3 |
| | Minimum | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 50 |
| | Maximum | 12,5 | 12,5 | 27 | 17,6 | 97,6 |
| | 90.Perzentil | 6,9 | 3,3 | 8,1 | 6,7 | 95,7 |

| Blei | | austauschbare Fraktion | leicht reduzierbare Fraktion | mäßig reduzierbare Fraktion | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | % | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 1,4 | 1,1 | 46,4 | 2,6 | 48,5 |
| | Median | 1,1 | 0,8 | 46,7 | 2,2 | 46,8 |
| | Minimum | 0,2 | 0 | 1,4 | 0,7 | 25,7 |
| | Maximum | 8,9 | 3,7 | 70,6 | 9,6 | 97,6 |
| | 90.Perzentil | 2,6 | 2,1 | 61,4 | 4,1 | 64,5 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 3 | 0,6 | 63,2 | 2,3 | 30,9 |
| | Median | 2,7 | 0,4 | 65,8 | 1,9 | 29,1 |
| | Minimum | 0,2 | 0,1 | 2,7 | 0,3 | 10,6 |
| | Maximum | 19 | 3,8 | 82,3 | 9,6 | 90 |
| | 90.Perzentil | 5,2 | 1 | 73 | 3,9 | 42 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 1,2 | 1 | 48 | 2,6 | 47,2 |
| | Median | 0,9 | 0,8 | 48,7 | 2,3 | 46,4 |
| | Minimum | 0,2 | 0,2 | 7,9 | 0,4 | 18,2 |
| | Maximum | 7,4 | 4,3 | 79,4 | 14,2 | 90,4 |
| | 90.Perzentil | 2,2 | 1,8 | 62,5 | 4,1 | 63,2 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 1,4 | 1,5 | 33 | 2,4 | 61,6 |
| | Median | 1 | 1,1 | 33 | 2 | 60,9 |
| | Minimum | 0,2 | 0 | 0,7 | 0,5 | 34,9 |
| | Maximum | 10,3 | 5,3 | 61,5 | 8,7 | 98,4 |
| | 90.Perzentil | 2,8 | 3 | 48,4 | 4,4 | 79,3 |

| Zink | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 1 | 1,3 | 3,5 | 4,2 | 90 |
| | Median | 0,6 | 0,8 | 2,6 | 2,6 | 92 |
| | Minimum | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 54,3 |
| | Maximum | 6,7 | 13,4 | 17,9 | 25,5 | 97,7 |
| | 90.Perzentil | 2,2 | 2,3 | 6,8 | 8 | 96,1 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 2,4 | 2,3 | 8,1 | 4,5 | 82,7 |
| | Median | 1,5 | 1,6 | 7 | 3,4 | 85,6 |
| | Minimum | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 42,3 |
| | Maximum | 16,1 | 12 | 30,9 | 15,9 | 98,6 |
| | 90.Perzentil | 4,8 | 4,9 | 14,1 | 10,1 | 92,7 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 1,2 | 1,2 | 3,8 | 4,4 | 89,4 |
| | Median | 0,6 | 0,7 | 2,9 | 3 | 91,6 |
| | Minimum | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 38,6 |
| | Maximum | 27,2 | 13,5 | 18,1 | 55,6 | 97,7 |
| | 90.Perzentil | 2 | 2,6 | 8 | 8,5 | 96,4 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 1 | 1,4 | 2,8 | 4,1 | 90,8 |
| | Median | 0,5 | 0,6 | 1,8 | 2,3 | 93,4 |
| | Minimum | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 55,4 |
| | Maximum | 7,7 | 22,6 | 24,3 | 28,1 | 98,4 |
| | 90.Perzentil | 2,2 | 2,7 | 6,1 | 8 | 97,6 |

| Schwefel | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| (Sequenzielle Extraktion) | | | | | | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 49,4 | 4 | 16,5 | 5,5 | 24,6 |
| | Median | 51 | 3,4 | 15 | 5,3 | 23,2 |
| | Minimum | 9,2 | 1 | 6,1 | 1,6 | 6,1 |
| | Maximum | 79,3 | 10,4 | 42,7 | 11,4 | 60,8 |
| | 90.Perzentil | 68,3 | 6,6 | 24,4 | 9 | 36,8 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 25,1 | 5,3 | 18,4 | 11,1 | 40,1 |
| | Median | 23,1 | 4,8 | 18,9 | 11 | 39,4 |
| | Minimum | 1 | 2 | 5,5 | 3,5 | 20 |
| | Maximum | 54,2 | 20 | 38,9 | 22,7 | 64,1 |
| | 90.Perzentil | 36,5 | 7,4 | 25,2 | 15,3 | 52,8 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 50,7 | 3,4 | 18,2 | 4,7 | 22,9 |
| | Median | 51,2 | 3 | 16,4 | 4,2 | 22,5 |
| | Minimum | 7,9 | 0,7 | 6,7 | 0,8 | 4,3 |
| | Maximum | 83,3 | 10,7 | 60,8 | 10,7 | 60,2 |
| | 90.Perzentil | 72,2 | 6,1 | 27,4 | 8,4 | 35,6 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 53,6 | 4,9 | 13,6 | 5,2 | 22,6 |
| | Median | 54,2 | 4 | 10 | 4,5 | 18,9 |
| | Minimum | 18,3 | 0,9 | 2,7 | 0,8 | 6,3 |
| | Maximum | 82,5 | 14,3 | 57,6 | 14,3 | 75,6 |
| | 90.Perzentil | 72 | 9,5 | 23,1 | 9,6 | 38,9 |

| Phosphor (Sequenzielle Extraktion) | | austauschbare Fraktion | leicht reduzier- bare Fraktion | mäßig reduzier- bare Fraktion % | oxidierbare Fraktion | Residualfraktion |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 3,7 | 3,6 | 44,6 | 6,1 | 42 |
| | Median | 3 | 2,9 | 46 | 5,5 | 38,8 |
| | Minimum | 0,5 | 0,5 | 5,4 | 2,1 | 10,6 |
| | Maximum | 15,6 | 15,6 | 74,9 | 15,6 | 88 |
| | 90.Perzentil | 7,6 | 7,6 | 67,4 | 9,4 | 64,7 |
| Oberboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 5,3 | 4,3 | 47,1 | 7,3 | 35,9 |
| | Median | 4,3 | 2,8 | 46,9 | 6,8 | 34,1 |
| | Minimum | 0,9 | 0,6 | 13,9 | 2,9 | 9,3 |
| | Maximum | 19,9 | 19,9 | 83,2 | 19,9 | 76 |
| | 90.Perzentil | 8,8 | 8,4 | 66,3 | 9,4 | 52,5 |
| Unterboden | Anzahl | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Mittelwert | 3,5 | 3,4 | 48 | 6,2 | 38,9 |
| | Median | 2,9 | 2,9 | 48,9 | 5,8 | 36,6 |
| | Minimum | 0,5 | 0,5 | 5 | 2,4 | 12,5 |
| | Maximum | 14,1 | 14,1 | 78,9 | 14,5 | 88,1 |
| | 90.Perzentil | 6,1 | 6,1 | 71,6 | 9,5 | 59,2 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| | Mittelwert | 4,4 | 4,4 | 36,6 | 5,5 | 49 |
| | Median | 2,7 | 2,7 | 32,8 | 4,1 | 47,1 |
| | Minimum | 0,3 | 0,3 | 4,8 | 1,2 | 9,7 |
| | Maximum | 18 | 18 | 83,2 | 18 | 87,7 |
| | 90.Perzentil | 11,3 | 11,3 | 67,4 | 11,7 | 74,9 |

6.6 Oxalat- und dithionitlösliche Metalle

| Oxalat- und dithionit- lösliche Metalle | | Aldit | Fedit | Mndit kg/ha | Alox | Feox | Mnox |
|--|--------------|-------|--------|----------------|-------|-------|---------|
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 | 154 |
| | Mittelwert | 18257 | 93678 | 2480 | 15479 | 18709 | 1485 |
| | Median | 15111 | 72406 | 1534 | 13190 | 14331 | 743 |
| | Minimum | 949 | 6615 | 0 | 1426 | 858 | 0 |
| | Maximum | 66526 | 634029 | 44346 | 62248 | 57702 | 37505 |
| | 90.Perzentil | 33501 | 181763 | 6069 | 26601 | 36960 | 3441 |
| Oberboden | Anzahl | 152 | 152 | 151 | 152 | 152 | 152 |
| | Mittelwert | 1509 | 6841 | 134 | 1232 | 2133 | 69,8 |
| | Median | 744 | 3621 | 35,9 | 607 | 1392 | 13,9 |
| | Minimum | 0 | 112 | 0 | 17 | 26 | 0 |
| | Maximum | 18789 | 113932 | 2153,3 | 7767 | 14909 | 1228,6 |
| | 90.Perzentil | 3789 | 16010 | 362,3 | 3073 | 4991 | 236,7 |
| Unterboden | Anzahl | 149 | 149 | 148 | 149 | 149 | 149 |
| | Mittelwert | 11449 | 56534 | 1732 | 9598 | 13019 | 1095,3 |
| | Median | 8436 | 36712 | 874 | 7576 | 8953 | 382,4 |
| | Minimum | 495 | 2239 | 0 | 618 | 290 | 0 |
| | Maximum | 62023 | 438311 | 44191 | 32100 | 52265 | 37443,9 |
| | 90.Perzentil | 24771 | 139724 | 4750 | 18993 | 29174 | 1908,3 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 117 | 118 | 118 | 118 | 118 | 118 |
| | Mittelwert | 7519 | 42082 | 893 | 6522 | 5242 | 465 |
| | Median | 4296 | 26038 | 406 | 3959 | 3406 | 221 |
| | Minimum | 0 | 522 | 0 | 49 | 32 | 0 |
| | Maximum | 53677 | 560004 | 14157 | 36169 | 35304 | 4456 |
| | 90.Perzentil | 16919 | 95291 | 1892 | 14855 | 11467 | 1041 |

6.7 Elementar-Analytik

| Elementar-Analytik | | C | C _{org} | N | S |
|-------------------------------|--------------|------|------------------|------|-------|
| | | [%] | | | |
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 156 | 129 | 156 | 150 |
| | Mittelwert | 2,1 | 2 | 0,07 | 0,004 |
| | Median | 1,2 | 1,2 | 0,03 | 0,002 |
| | Minimum | 0,2 | 0,3 | 0 | 0 |
| | Maximum | 24,8 | 24,8 | 0,74 | 0,092 |
| | 90.Perzentil | 4,2 | 4 | 0,19 | 0,008 |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 156 | 129 | 156 | 150 |
| | Mittelwert | 1,5 | 1,4 | 0,05 | 0,002 |
| | Median | 0,8 | 0,8 | 0,01 | 0 |
| | Minimum | 0,1 | 0,1 | 0 | 0 |
| | Maximum | 24,8 | 24,8 | 0,74 | 0,092 |
| | 90.Perzentil | 3,3 | 3 | 0,15 | 0 |
| Auflage | Anzahl | 156 | 129 | 156 | 150 |
| | Mittelwert | 41,9 | 42,8 | 1,68 | 0,186 |
| | Median | 43 | 44,5 | 1,69 | 0,2 |
| | Minimum | 18,3 | 18,3 | 0,69 | 0 |
| | Maximum | 60,2 | 60,2 | 2,4 | 0,43 |
| | 90.Perzentil | 49,2 | 49,7 | 2 | 0,26 |
| Oberboden | Anzahl | 153 | 126 | 153 | 146 |
| | Mittelwert | 5,2 | 5,2 | 0,23 | 0,002 |
| | Median | 4,3 | 4,4 | 0,21 | 0 |
| | Minimum | 0,5 | 0,5 | 0 | 0 |
| | Maximum | 18,3 | 18,3 | 0,98 | 0,12 |
| | 90.Perzentil | 10,6 | 10,3 | 0,54 | 0 |
| Unterboden | Anzahl | 150 | 124 | 147 | 144 |
| | Mittelwert | 1,3 | 1,2 | 0,04 | 0,001 |
| | Median | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 5,8 | 5,3 | 0,34 | 0,105 |
| | 90.Perzentil | 3 | 2,6 | 0,14 | 0 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 118 | 92 | 119 | 113 |
| | Mittelwert | 0,8 | 0,5 | 0,02 | 0,001 |
| | Median | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 11,6 | 5,9 | 0,31 | 0,104 |
| | 90.Perzentil | 1,3 | 1,2 | 0,05 | 0 |

6.8 Königswasser-Extrakt

| Königswasser-Extrakt | | As | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mo | Ni | Pb | Sb | Se | Sn | Tl | V | Zn |
|-------------------------------|------------|-------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | | kg/ha | | | | | | | | | | | | | | |
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 |
| | Mittelwert | 80 | 0,8 | 135 | 351 | 129 | 0,5 | 2 | 253 | 263 | 3,2 | 1,2 | 9,3 | 2,6 | 462 | 694 |
| | Median | 52 | 0 | 101 | 228 | 95 | 0,4 | 0,2 | 165 | 161 | 1,4 | 0,5 | 1,7 | 1,5 | 363 | 570 |
| | Minimum | 3 | 0 | 2 | 14 | 0 | 0 | 0 | 7 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 3 |
| | Maximum | 679 | 50,3 | 1099 | 3050 | 884 | 9,3 | 28,1 | 2833 | 9800 | 62,6 | 6,7 | 104,6 | 78,1 | 1943 | 6640 |
| 90.Perzentil | 171 | 1,1 | 240 | 683 | 308 | 0,9 | 5,9 | 469 | 337 | 7,8 | 3,2 | 30,7 | 5,6 | 892 | 1225 | |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 133 |
| | Mittelwert | 79 | 0,7 | 135 | 350 | 127 | 0,5 | 1,9 | 252 | 249 | 3 | 1 | 8,8 | 2,6 | 460 | 687 |
| | Median | 52 | 0 | 101 | 227 | 94 | 0,3 | 0 | 163 | 148 | 1,2 | 0,4 | 1,1 | 1,5 | 357 | 564 |
| | Minimum | 2 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0 |
| | Maximum | 678 | 50,2 | 1098 | 3043 | 879 | 9,2 | 28 | 2830 | 9783 | 62,3 | 6,5 | 102,9 | 77,9 | 1940 | 6628 |
| 90.Perzentil | 168 | 1 | 240 | 682 | 306 | 0,8 | 5,8 | 468 | 327 | 7,5 | 3 | 29,7 | 5,5 | 891 | 1219 | |
| Auflage | Anzahl | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 134 | 133 |
| | Mittelwert | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0,1 | 0,1 | 1 | 14 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 0 | 2 | 7 |
| | Median | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0,1 | 1 | 12 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0 | 2 | 6 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 12 | 0,4 | 5 | 12 | 28 | 0,3 | 1,1 | 11 | 66 | 3,7 | 3,7 | 2,4 | 0,2 | 15 | 39 |
| 90.Perzentil | 2 | 0,1 | 1 | 3 | 3 | 0,1 | 0,2 | 2 | 27 | 0,3 | 0,3 | 1,1 | 0 | 5 | 12 | |
| Oberboden | Anzahl | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 131 | 130 |
| | Mittelwert | 7 | 0,1 | 6 | 24 | 8 | 0,1 | 0,3 | 13 | 27 | 0,4 | 0,2 | 1,2 | 0,1 | 32 | 39 |
| | Median | 4 | 0 | 3 | 9 | 0 | 0 | 0 | 5 | 18 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 16 | 22 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Maximum | 39 | 1,8 | 54 | 312 | 282 | 0,3 | 14,9 | 145 | 194 | 3,5 | 2,6 | 13,4 | 1 | 442 | 301 |
| 90.Perzentil | 17 | 0,1 | 15 | 46 | 18 | 0,2 | 0,5 | 38 | 61 | 1,1 | 0,6 | 3,8 | 0,4 | 71 | 111 | |
| Unterboden | Anzahl | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 |
| | Mittelwert | 55 | 0,6 | 88 | 221 | 79 | 0,3 | 1,2 | 170 | 112 | 1,7 | 0,6 | 4,9 | 1,7 | 281 | 429 |
| | Median | 26 | 0 | 55 | 127 | 41 | 0,2 | 0 | 75 | 70 | 0,6 | 0 | 0 | 0,6 | 187 | 277 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 |
| | Maximum | 673 | 50,2 | 1093 | 2847 | 878 | 2,5 | 23,9 | 2819 | 944 | 19,4 | 4,1 | 89,5 | 77,2 | 1517 | 6596 |
| 90.Perzentil | 134 | 0,6 | 198 | 527 | 197 | 0,6 | 3,9 | 337 | 227 | 4,7 | 1,5 | 15,6 | 2,6 | 670 | 832 | |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 96 | 97 | 97 | 97 | 96 |
| | Mittelwert | 27 | 0,2 | 60 | 157 | 60 | 0,2 | 0,7 | 103 | 158 | 1,3 | 0,3 | 4 | 1,2 | 218 | 325 |
| | Median | 19 | 0 | 39 | 88 | 37 | 0 | 0 | 63 | 45 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 116 | 255 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| | Maximum | 144 | 3,5 | 511 | 1084 | 340 | 8,6 | 11,9 | 888 | 8645 | 49,2 | 5,2 | 30,4 | 14,1 | 1625 | 2720 |
| 90.Perzentil | 58 | 0,4 | 131 | 368 | 164 | 0,3 | 2,1 | 215 | 140 | 3 | 1,1 | 15,2 | 2,8 | 501 | 700 | |

6.9 Ammoniumnitrat-Extrakt

| Ammoniumnitrat-Extrakt | | As | Cd | Co | Cr | Cu g/ha | Mo | Ni | Pb | Zn |
|-------------------------------|--------------|-----|------|-------|------|------------|-----|-------|--------|-------|
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | Mittelwert | 58 | 142 | 1673 | 69 | 1092 | 4 | 3186 | 7329 | 6761 |
| | Median | 27 | 85 | 718 | 0 | 0 | 0 | 317 | 3861 | 4602 |
| | Minimum | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 791 | 3031 | 16483 | 2146 | 55670 | 428 | 72372 | 244451 | 58139 |
| | 90.Perzentil | 117 | 192 | 4827 | 173 | 1809 | 0 | 8586 | 11611 | 12349 |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | Mittelwert | 39 | 128 | 1646 | 69 | 1085 | 4 | 3111 | 7024 | 5416 |
| | Median | 13 | 68 | 671 | 0 | 0 | 0 | 245 | 3604 | 3259 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 791 | 2998 | 16395 | 2146 | 55670 | 428 | 72322 | 244354 | 55589 |
| | 90.Perzentil | 76 | 175 | 4795 | 173 | 1809 | 0 | 8531 | 11238 | 11550 |
| Auflage | Anzahl | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | Mittelwert | 25 | 16 | 33 | 0 | 7 | 0 | 78 | 319 | 1464 |
| | Median | 12 | 12 | 16 | 0 | 0 | 0 | 64 | 194 | 1250 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 731 | 240 | 754 | 13 | 597 | 0 | 702 | 1824 | 15470 |
| | 90.Perzentil | 55 | 25 | 45 | 0 | 0 | 0 | 169 | 777 | 2526 |
| Oberboden | Anzahl | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 |
| | Mittelwert | 18 | 18 | 146 | 15 | 13 | 0 | 217 | 1312 | 1202 |
| | Median | 10 | 10 | 43 | 0 | 0 | 0 | 83 | 872 | 734 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 117 | 144 | 2570 | 360 | 444 | 0 | 8957 | 6094 | 10477 |
| | 90.Perzentil | 53 | 40 | 338 | 38 | 25 | 0 | 267 | 3402 | 2373 |
| Unterboden | Anzahl | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 | 124 |
| | Mittelwert | 11 | 93 | 1286 | 47 | 954 | 4 | 2494 | 3222 | 3757 |
| | Median | 0 | 38 | 436 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1474 | 1707 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 340 | 2985 | 16123 | 1867 | 55670 | 428 | 63366 | 40515 | 54489 |
| | 90.Perzentil | 29 | 127 | 3435 | 108 | 1477 | 0 | 5667 | 8148 | 9489 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 |
| | Mittelwert | 7 | 27 | 368 | 13 | 218 | 1 | 699 | 3690 | 717 |
| | Median | 0 | 15 | 77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 648 | 0 |
| | Minimum | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum | 290 | 280 | 5521 | 1074 | 4786 | 75 | 25734 | 200751 | 11458 |
| | 90.Perzentil | 0 | 67 | 760 | 0 | 487 | 0 | 1086 | 3959 | 2081 |

6.10 pH CaCl₂

| pH CaCl ₂ | | pH |
|-------------------------------|--------------|------|
| Bodenprofil (Gesamt) | Anzahl | 156 |
| | Mittelwert | 4,01 |
| | Median | 3,92 |
| | Minimum | 3,16 |
| | Maximum | 7,45 |
| | 90.Perzentil | 4,24 |
| Bodenprofil (ohne Auflage) | Anzahl | 156 |
| | Mittelwert | 4,05 |
| | Median | 3,97 |
| | Minimum | 3,19 |
| | Maximum | 7,49 |
| | 90.Perzentil | 4,29 |
| Auflage | Anzahl | 156 |
| | Mittelwert | 3,3 |
| | Median | 3,15 |
| | Minimum | 2,61 |
| | Maximum | 6,24 |
| | 90.Perzentil | 3,9 |
| Oberboden | Anzahl | 153 |
| | Mittelwert | 3,49 |
| | Median | 3,34 |
| | Minimum | 2,86 |
| | Maximum | 7,23 |
| | 90.Perzentil | 3,92 |
| Unterboden | Anzahl | 150 |
| | Mittelwert | 4,05 |
| | Median | 4,04 |
| | Minimum | 3,17 |
| | Maximum | 7,3 |
| | 90.Perzentil | 4,37 |
| Ausgangs- substrat | Anzahl | 119 |
| | Mittelwert | 4,34 |
| | Median | 4,15 |
| | Minimum | 3,51 |
| | Maximum | 7,57 |
| | 90.Perzentil | 4,64 |

