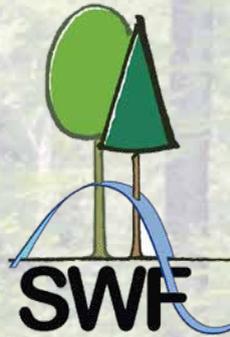


**Sektion Waldökosystemforschung
der Universität Göttingen**



**Monitoring des Zustands von Waldböden in Hessen,
Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein
von 1966-2021**

(Teil 1)

***Heike Fortmann, Nils König, Bernd Ahrends,
Henning Meeseburg, Birte Scheler und Holger Sennhenn-Reulen***

**Berichte der Sektion
Waldökosystemforschung, Reihe B, Bd. 85
2022**

**Monitoring des Zustands von Waldböden in Hessen,
Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein
von 1966 bis 2021 (Teil 1)**

von

Heike Fortmann, Nils König, Bernd Ahrends,
Henning Meesenburg, Birte Scheler
und Holger Sennhenn-Reulen

Göttingen 2022

Im Selbstverlag der Sektion Waldökosystemforschung am Zentrum für Biodiversität
und nachhaltige Landnutzung (CBL) der Universität Göttingen

Herausgeber:

Der geschäftsführende Direktor der Sektion:

Prof. Dr. Christian Ammer

Schriftleitung: Prof. Dr. Michael Bredemeier

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Bestellung über:

CBL – Sektion Waldökosystemforschung,

Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

E-Mail: mbredem@gwdg.de

ISBN 978-3-940617-12-5

ISSN2363-7323

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7077719>

Inhalt

1. Einleitung	8
2. Probennahme und Probenvorbereitung in den verschiedenen Monitoringprogrammen	12
3. Analytik der Humus- und Bodenproben	14
4. Nachweis- und Bestimmungsgrenzen	15
5. Verwendete Datenquellen	16
6. Bearbeitung des Datensatzes	16
7. Bewertung der Daten	17
7.1 Kriterien für die Beurteilung der Variabilität bodenchemischer Kenngrößen	18
7.2 Bewertung und Einstufung der Daten	19
7.3 Bewertung von zeitlichen Veränderungen	20
8. Zusammenfassende Bewertung des Säure-Base-Status und des Nährelementstatus sowie deren Dynamik	21
9. Zusammenfassende Bewertung Schwermetallgehalte und -vorräte	30
10. Bodenmonitoring als Forschungsplattform – Beispiele aus der anwendungsbezogenen Forschung	37
11. Ergebnisse der Bodeninventuren aller Monitoringflächen	39
11.1 Erstellung der Grafiken	39
11.2 Beschreibung der Tabellen und Grafiken	39
11.2.1 Allgemeine Informationen über die Versuchsfläche	39
11.2.2 Profilbeschreibungen (nach KA5):	41
11.2.3 Profildfoto	41
11.2.4 Grob- und Feinbodenanteil, sowie Trockenraumdichte des Feinbodens	42
11.2.5 Bodenanalytik mit Bewertung nach Forstlicher Standortaufnahme (2016)	42
11.2.6 Tiefenverläufe ausgewählter Parameter zum Säure-Base-Status und seiner Dynamik	43
11.2.7 Zeitliche Veränderungen der Ca- und Corg-Vorräte, sowie der pH-Werte im Humus und der Basensättigung und des austauschbaren Ca im Mineralboden	46
11.2.8 Königswasser-Extrakt-Gehalte und -Variationskoeffizienten	47
11.2.9 Tiefenverläufe ausgewählter Parameter zum Nährstoffstatus	48
11.2.10 Zeitliche Veränderungen der Corg-, Nges-, Pges- und Sges-Vorräte im Humus und im Mineralboden	49
11.2.11 Schwermetallgehalte und ihre Bewertung	50
11.2.12 Tiefenverlauf der Schwermetallvorräte verschiedener Extraktionsmittel	50
12. Ergebnisse der einzelnen Flächen	52
12.1 Augustendorf Kiefer (AUKI)	52
12.2 Ehrhorn Eiche (EHEI)	66
12.3 Ehrhorn Kiefer (EHKI)	80
12.4 Fürth Odenwald Buche (FODBU)	94
12.5 Fürth Odenwald Fichte (FODFI)	108
12.6 Fuhrberg Kiefer (FUKI)	122
12.7 Göhrde Eiche (GDEI)	136
12.8 Hils Kamm (HIKA)	150
12.9 Hils Mulde alt (HIMA)	164
12.10 Hils Mulde jung (HIMJ)	178
12.11 Klötze Douglasie (KLDG)	192
12.12 Klötze Kiefer (KLKI)	206
12.13 Königstein Fichte (KSTFI)	220

12.14 Lange Bramke Kamm (LBKA)	234
12.15 Lange Bramke Nordhang (LBNH)	248
12.16 Lange Bramke Südhang (LSBH)	262
12.17 Lüss Buche (LSBU)	276
12.18 Nedlitz Kiefer (NEKI)	290
12.19 Solling Buche (SLB1)	304
12.20 Solling Buche Düngung (SLBD)	318
12.21 Solling Buche Kalkung (SLBK)	332
12.22 Solling Buche Versauerung (SLBN)	346
12.23 Solling Fichte (SLF1)	360
12.24 Solling Fichte Düngung (SLFD)	374
Band 86 (Teil 2)	
12.25 Spessart Buche (SPEBU)	388
12.26 Spessart Buche Nullfläche (SPEBU0)	402
12.27 Westerberg Fichte (WEFI)	416
12.28 Wingst Fichte (WIFI)	430
12.29 Witzenhausen Buche (WIZBU)	444
12.30 Witzenhausen Fichte (WIZFI)	458
12.31 Ihlow Eiche (IHEI)	472
12.32 Hünfeld Buche (HUEBU)	486
12.33 Kalbach Buche (KALBU)	500
12.34 Spanbeck Fichte (SPFI)	514
12.35 Bornhöved Buche (BHBUE)	528
12.36 Herrenholz Eiche (HEEI)	542
12.37 Hess. Ried Buche (HRIBU)	556
12.38 Hess. Ried Kiefer (HRIKI)	570
12.39 Kellerwald Buche (KELBU)	584
12.40 Weilburg Buche (WEIBU)	598
12.41 Krofdorf Buche (KRFBU)	612
12.42 Harste Buche (HABU)	626
12.43 Homberg Buche (HOMBU)	640
12.44 Hess. Ried Eiche (HRIEI)	654
12.45 Kirchhain Buche (KIRBU)	668
12.46 Drömling Eiche (DREI)	682
12.47 Göttinger Wald Buche (GWBU)	696
12.48 Zierenberg Buche (ZIEBU)	710
13. Literatur	724
14. Anhang: Methodendokumentation	731

Danksagung

Diese Veröffentlichung wäre nicht möglich gewesen ohne die vielfältige Arbeit der wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der NW-FVA und des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung (jetzt Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen) der Universität Göttingen.

Für die Probenahme auf den Monitoringflächen danken wir:

Sophie Andernach, Richard Beisecker, Jörg Dehning, Hermann Dilling, Johannes Fischbach, Thomas Heinkele, Richard Hocke, Thomas Hövelmann, Carsten Jacobsen, Andreas Kappen, Stephan Melms, Peter Rademacher, Claus-Georg Schimming, Matthias Schmidt, Christian Steinicke, Rüdiger Schultz-Sternberg, Reinhard Schwender und Kai Staupendahl.

Für die Analytik der Proben danken wir folgenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern:

Britta Apelt, Keve Bitto, Elke Brettschneider, Christine Brüggemann, Maurice Brunotte, Anne-Dore Burfeind, Clarissa Cassar, Kerstin Dehning, Ingeborg Diestel, Vanessa Dietrich, Brigitte Durstewitz, Martina Gebauer, Ruth Gerold, Tobias Gierke, Sandra Gries, Martin Grönmeyer, Claudia Günther, Christa Haake, Marie Hollenbach, Daniela Jaep, Hildegard Kellner, Inge Koch, Gabi Kolle, Silke König, Heike Koopmann, Snežana Kosić, Martina Kosmalla, Anita Kriegel, Michael Krinninger, Thorben Krüger, Kerstin Langs, Edith Lelley, Karl-Ludwig Lüter, Loan Mai, Wiltrud Mollenhauer, Anke Rissler, Gabi Sambo, Silke Schneider, Andrea Schrommeck, Norbert Schweiß, Barbara Seewald, Heike Strutz, Bettina Tappe, Thierno Diallo, Elke Urlaub, Petra Voigt, Susanne Weinrich, Astrid Wendorf, Ellen Wolff, Karin Zielonka-Richter, Marlies Zingel und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Hessischen Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt (seit 2005 Landesbetrieb Hessisches Landeslabor) sowie des Labors des Ökologie-Zentrums (seit 2010 Institut für Ökosystemforschung und Institut für Natur- und Ressourcenschutz) der Universität Kiel.

Für die sorgfältige Bearbeitung des Textes und für das Layout danken wir ganz besonders Etta Starick.

1. Einleitung

Waldböden liefern langfristige Produktionsgrundlagen für das Waldwachstum in Form von Nährstoffen, Wurzelraum und Wasser und puffern atmosphärische Einträge ab, indem sie Kohlenstoff, Stickstoff und Schwermetalle speichern, ehe sie mit dem Sickerwasser oder gasförmig ausgetragen werden. Die Bodeneigenschaften haben damit grundlegende Bedeutung für Ökosystemleistungen wie die Holzproduktion und die Waldgesundheit, den Klimaschutz, den Grundwasserschutz, die Nährstoffnachhaltigkeit und die Habitatfunktion für Bodenlebewesen (Eichhorn et al. 2016).

Für diese Veröffentlichung wurden Bodendaten von 47 Monitoringflächen aus den vier Bundesländern Niedersachsen (26), Hessen (17), Sachsen-Anhalt (3) und Schleswig-Holstein (1) ausgewertet, deren Ursprung vielfältig und deren Umfang für die verschiedenen Bundesländer sehr unterschiedlich ist. So wurden für Niedersachsen Datensätze aus Forschungsprojekten des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen (heute Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen) einbezogen, die teilweise bis in die 1960er Jahre zurückreichen. Seit 1966 wurden im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms (IBP) verschiedene Untersuchungsflächen im Solling angelegt, an denen Strukturen und Funktionen von Waldökosystemen untersucht wurden (Ellenberg et al. 1986). Mit dem Auftreten der neuartigen Waldschäden in Deutschland seit Ende der 1970er Jahre wurden die Erhebungen erweitert und auf weitere Untersuchungsflächen in Nordwestdeutschland ausgedehnt (Ulrich 1994). Aus diesen Erhebungen gingen Monitoringprogramme hervor, die z. T. bis heute fortgeführt werden (z. B. BDF-F, Level II, WÖSSH).

Im Rahmen der Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH) wurden in den 1980er Jahren Monitoringflächen eingerichtet, auf denen Erhebungen des Kronen- und des Bodenzustands, des Stoffhaushalts und der Gaskonzentrationen wichtiger Luftschadstoffe stattgefunden haben (Eichhorn 1992). Von 12 dieser Flächen liegen chemische Analysen des Bodens von mehreren Inventuren vor, die ausgewertet wurden. Ein Teil dieser Versuchsflächen (7) wurde in das Level II-Programm aufgenommen (siehe unten).

Das niedersächsische Bodendauerbeobachtungsprogramm (BDF) wurde 1990 begonnen und beinhaltet 20 forstlich genutzte Monitoringflächen (Höper und Meesenburg 2012, 2021). Davon werden 11 Flächen als Standard-BDF geführt. Auf diesen werden im ± 10 jährigen Abstand Bodeninventuren zur Erfassung des chemischen und physikalischen Bodenzustands durchgeführt, und in regelmäßigen Abständen die Biomasse des Waldbestandes erfasst. Auf den neun Intensiv-BDF werden neben den Standarderhebungen zusätzlich u. a. meteorologische und bodenhydrologische Messungen, sowie chemische Analysen der Bodenlösung und der Niederschlagslösung durchgeführt (s. Tabelle 1). Eine detaillierte Darstellung des Untersuchungsprogramms erfolgte durch Kleefisch und Kues (1997) sowie Höper und Meesenburg (2012). Alle neun Intensiv-BDF-F sind Teil des Level II-Programms.

Für Sachsen-Anhalt wurden die Bodeninventuren von drei Level II-Monitoringflächen berücksichtigt, die gleichzeitig Bodendauerbeobachtungsflächen sind. Aus Schleswig-Holstein sind ausschließlich Daten der Level II-Fläche Bornhöved in die Auswertung eingeflossen.

Als Auswahlkriterien für die Versuchsflächen spielten neben der Bodenrepräsentanz und dem Ausgangssubstrat die Nutzungsrepräsentanz mit den vorwiegend angebaute Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer oder neuerdings auch Douglasie, mit unterschiedlichem Bestandesalter und Waldstruktur sowie die Belastungsrepräsentanz aufgrund atmosphärischer Deposition eine wesentliche Rolle (Höper und Meesenburg 2021).

Das internationale ICP Forests Programm (Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) wurde 1985 unter dem Dach der Genfer Luftreinhaltekonvention (Air Convention), die 1983 als völkerrechtlicher Vertrag zur Luftreinhaltung in Kraft trat, begonnen (Ferretti 2021). Auf ca. 620 Monitoringflächen in 42 Ländern wird ein intensives Monitoring mit Erhebungen zu den maßgeblichen Umwelteinflüssen und Wirkungen auf ausgewählten Waldbeobachtungsflächen (Level II) durchgeführt. Es verwendet harmonisierte und qualitätsgesicherte Methodenstandards des UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (2022).

Das forstliche Umweltmonitoring (ForUm) in Deutschland baut auf dem europäischen ICP Forests Programm auf. Die rechtliche Grundlage zur Durchführung dieser Erhebungen in Deutschland stellt § 41a des Gesetzes zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz – BWaldG) dar. Gestützt auf § 41a Absatz 6 BWaldG erließ das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft mit Zustimmung des Bundesrates die „Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV)“ (ForUmV-AG 2016) vom 20. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4384). Sie trat zum 01.01.2014 in Kraft und stellt die kontinuierliche Datenerhebung und Datenlieferung im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings sicher (Eichhorn et al. 2016). Das Level II-Programm ist in Deutschland als fortlaufende und langfristige Beobachtung an 68 Beispielstandorten angelegt. In diese Untersuchung wurden die Bodendaten von 24 Level II-Flächen aus vier Bundesländern einbezogen. Ziel dieser Monitoringprogramme ist unter anderem, die meist schleichenden Veränderungen von Bodeneigenschaften zu verfolgen, zu bewerten und mögliche Ursachen dafür zu identifizieren. Diese könnten in den Veränderungen des Klimas und der Witterung, den langfristig hohen Einträgen von Stickstoff, den Spätfolgen hoher Säurebelastungen in der Vergangenheit, den aktuellen Säurebelastungen, oder einer massiven Veränderung der Bestandesstruktur durch Katastrophen wie Stürme, Trockenheit oder Schädlingsbefall liegen. Stoffeinträge können sich dabei in zunehmenden Bodengehalten widerspiegeln, oder diese durch Abbau bzw. durch Auswaschung vermindern. Von großem Interesse sind die für die Ernährung der Bäume wichtigen Elemente Ca, K, Mg, N, P und S, und die zur Beurteilung des Säure-Base-Status wichtigen Parameter Basensättigung und pH-Wert. Weiterhin sind die Schwermetallgehalte von Relevanz, da von ihnen elementspezifische Gefährdungspotenziale für Pflanzenwurzeln, Mykorrhizen und Mikroorganismen ausgehen können (Andreae und Mayer 1989, Godbold und Hüttermann 1986).

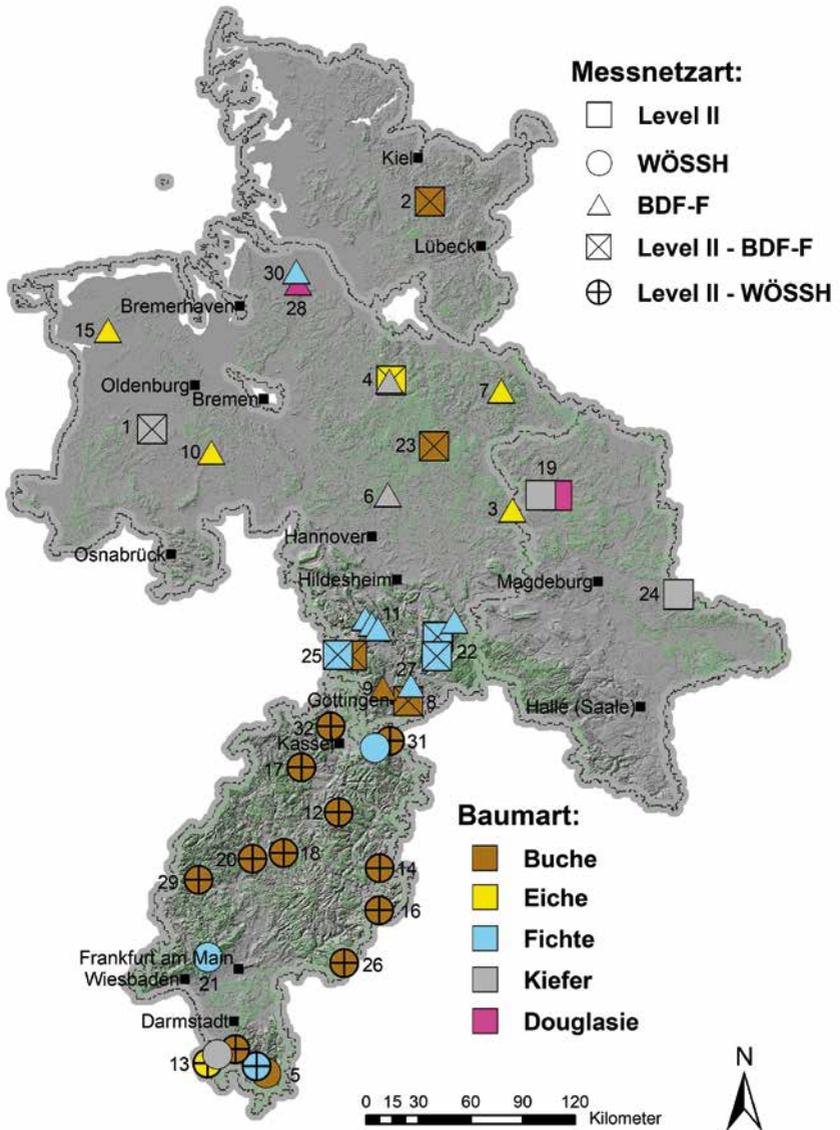
Die Beobachtungen des Bodenmonitorings können zudem für die Beurteilung der Auswirkungen etwaiger Klimaveränderungen auf Böden genutzt werden, wie auch für die Einschätzung der Rolle von Böden und Bodennutzungen auf die Veränderung des Klimas hilfreich sein. Von Relevanz ist hier die Festlegung oder Freisetzung von Kohlendioxid, die sich in den

organischen Kohlenstoff-Vorräten ausdrückt (C-Sequestrierung). Eine weitere Anwendung finden sie bei der Ableitung von Schwellen- und Hintergrundwerten für Schadstoffe (vgl. auch Höper und Meesenburg 2012).

Barth et al. (2000) erklären als zentrale Ziele der Bodendauerbeobachtung die Beschreibung des aktuellen Zustands der Böden und die langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden, um die Auswirkung von Umwelteinflüssen auf Waldböden und den Erhalt bzw. die Verbesserung des Bodens als Standortfaktor für die forstliche Nutzung bzw. weitere Ökosystemleistungen des Waldes durch geeignete Maßnahmen zu fördern (z. B. Waldbewirtschaftung, Düngung, Kalkung).

In den folgenden Betrachtungen werden Datensätze zur Versauerung, Ernährung und zu Schwermetallgehalten von 1966 bis 2021 dargestellt. Berücksichtigt wurden nur Messwerte anorganisch chemischer Analysen sowie Feinbodenvorräte. Bodenphysikalische Analysen (pF-Funktionen, Korngrößen), Analysen organischer Schadstoffe (PCB, CKW, PAK), Messungen von Radionukliden (Cs-134, Cs-137) wurden in Teilen schon publiziert (Fleck et al. 2016, Fortmann und Meesenburg 2007, Fortmann und Meesenburg 2009). Untersuchungsergebnisse zur mikrobiellen Biomasse und Kohlendioxidatmung sowie Daten zu Wurzelmengen und Wurzelchemie wurden hier nicht behandelt.

Standorte der untersuchten Flächen:



Nr. Flächenkürzel

1 AUKI	9 HABU	15 IHEI	22 LBSH	26 SPEBU
2 BHBU	10 HEEI	16 KALBU	23 LSBU	27 SPFI
3 DREI	11 HIKI	17 KELBU	24 NEKI	28 WEFI
4 EHEI	11 HIMA	18 KIRBU	25 SLB1	29 WEIBU
4 EHKI	11 HIMJ	19 KLDG	25 SLBD	30 WIFI
5 FODBU	12 HOMBU	19 KLKI	25 SLBK	31 WIZBU
5 FODFI	13 HRIBU	20 KRFBU	25 SLBN	31 WIZFI
6 FUKI	13 HRIEI	21 KSTFI	25 SLF1	32 ZIEBU
7 GDEI	13 HRIKI	22 LBKA	25 SLFD	
8 GWBU	14 HUEBU	22 LBNH		

2. Probennahme und Probenvorbereitung in den verschiedenen Monitoringprogrammen

Die Bodeninventuren wurden im Rahmen verschiedener Monitoringprogramme durchgeführt. Dies bedingt ein teilweise unterschiedliches Probennahmedesign, wie z. B. die unterschiedliche Einteilung der beprobten Tiefenstufen (s. Tab. 1), oder unterschiedliche Probennahmegeräte. Ab 1992 wurden Bodeninventuren im Rahmen des niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsprogramms durchgeführt (Höper und Meesenburg 2012). Seit der Einbindung einiger dieser niedersächsischen forstlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF-F) in das europäische intensive Waldmonitoring (ICP Forests Level II) ab 1994 wurden Bodeninventuren auch nach den Vorgaben von ICP Forests durchgeführt (Cools und de Vos 2020). Die Beprobungen wurden so angepasst, dass die Vorgaben beider Programme (BDF-F und ICP Forests Level II) erfüllt wurden (s. Tab. 1). Level II-Flächen in Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein wurden bis 2006 (Schleswig-Holstein bis 2011) nach den Vorgaben von ICP Forests, ab 2006 (Schleswig-Holstein ab 2011) nach dem kombinierten Schema (BDF-F und ICP Forests Level II) beprobt (s. Tab. 1).

Vor der Einführung der Monitoringprogramme (vor 1992) wurden die Bodeninventuren in Niedersachsen vom Institut für Bodenkunde und Waldernährung (IBW, jetzt Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen) der Universität Göttingen im Rahmen von Forschungsprojekten oder Qualifizierungsarbeiten durchgeführt. Das Probennahmeschema ist daher von den im Rahmen der Monitoringprogramme durchgeführten Beprobungen in Bezug auf die Anzahl der Wiederholungen, die beprobten Tiefenstufen oder durch die horizontweise Beprobung unterschiedlich. Die Anzahl der Wiederholungen war in diesem Zeitraum oft niedriger, da aufgrund der geringen Automatisierung in den Laboratorien weniger Analysen möglich waren. Auch fehlen oft Informationen, ob es sich um Misch- oder Einzelproben handelte.

Die Zeiträume der Datenerhebungen sind für die einzelnen Monitoringflächen sehr verschieden. Die erste Bodenprobennahme fand 1966 auf der Buchenfläche (SLB1) im Solling statt (Ulrich et al. 1971). Die am kürzesten untersuchte Fläche wurde erstmals 2012 beprobt. Auf einigen der hier behandelten Flächen wurde das Monitoringprogramm bereits eingestellt. Die Intervalle zwischen den Bodeninventuren sind nach dem Bodendauerbeobachtungsprogramm auf 10 Jahre, nach ICP Forests Level II auf 10 bis 15 Jahre festgelegt. Vor Einführung der Monitoringprogramme waren sie sehr unterschiedlich.

Die Beprobung nach den BDF-F-Vorgaben oder dem kombinierten Schema (BDF-F, ICP Forests Level II) wurde wie folgt durchgeführt. Auf einem 10 x 10 m-Raster wurden nach dem Zufallsprinzip 6 Punkte ausgewählt. Von diesen Punkten ausgehend, wurden in Nord-, Ost-, Süd- und Westrichtung in 2,50 m Entfernung jeweils nach Tiefenstufen getrennt volumengerechte Proben des Mineralbodens entnommen und tiefenstufenabhängig zu Mischproben vereinigt.

Die Humusaufgabe wurde mit einem Stechrahmen (Fläche: 599 cm²) oder einem Wurzelbohrer (Fläche: i. d. Regel 3 Einstiche a 50,24 cm²) entnommen und in die Humuslagen L, Of und Oh getrennt. Vor 1992 wurde sie teilweise mit einem Spaten, Schaufeln oder von Hand beprobt, weshalb von diesen Beprobungen keine Humusvorräte vorliegen.

Tab. 1: Beprobte Tiefenstufen der verschiedenen Monitoringprogramme (*einmalige Beprobung)

BDF-F	ICP Forests Level II	BDF-F – Level II
L	L	L
Of	Of	Of
Oh	Oh	Oh
0-5 cm	0-5 cm	0-5 cm
5-10 cm	5-10 cm	5-10 cm
10-20 cm	10-20 cm	10-20 cm
20-30 cm	20-40 cm	20-30 cm
30-50 cm		30-40 cm
	50-70 cm	40-80 cm
50-70 cm		
70-100 cm		70-80 cm
		80-100 cm
100-150 cm*		100-150 cm*
150-200 cm*		150-200 cm*

Der Mineralboden wurde in den Jahren 1992-1994 in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm Tiefe mit Stechzylindern (Höhe 5 cm, Ø 8 cm), in größerer Tiefe mit dem Wurzel- oder Pürckhauerbohrer (4 oder 6 cm Ø) entnommen. Von 1995 bis 2021 wurde er bis in 1 m Tiefe mit einem Bodensäulenzylinder der Fa. Eijkelkamp (Fläche: 67,9 cm²) und in größeren Bodentiefen mit einer Rammkernsonde (Fläche: 19,6 cm²) beprobt. Umfasste das Untersuchungsprogramm die Gewinnung der Gleichgewichtslösung (GBL), wurden in der Tiefenstufe 0 bis 10 cm zusätzliche Proben mit einem Wurzelbohrer (Fläche 54,6 cm²) entnommen.

Wurzelbohrer und Bodensäulenzylinder wurden dabei in unmittelbarer Nähe in den Boden eingeschlagen. Der Mineralboden wurde vor 1992 entweder nach Horizonten oder nach Tiefenstufen getrennt beprobt. Die horizontweise Beprobung wurde meist am Bodenprofil durchgeführt. Wurden die Proben nach Tiefenstufen getrennt gewonnen, wurden zylindrische Hohlbohrer, Wurzelbohrer (ab den 1980er Jahren) oder ähnliche Geräte eingesetzt.

Die sechs Mischproben pro Humuslage bzw. Tiefenstufe wurden bei 4 °C gekühlt, getrocknet (60 °C Humus, 40 °C Boden) und mit einem 2 mm Kunststoff-Sieb gesiebt. Bei den Humusproben wurde der Siebrückstand bis 2007 verworfen. Ab 2008 wurden Bestandteile größer als 2 cm gewogen und als organischer Restvorrat ausgewiesen. Der Siebrückstand der 2 mm Siebung, der kleiner als 2 cm war, wurde mit einer Schneidmühle vorzerkleinert, mit dem Siebdurchgang vereinigt und in Achat- oder Zirkonoxidbechern mit einer Planeten-Kugelmühle gemahlen. Von den Mineralbodenproben wurde eine Teilprobe der gesiebten Probe ebenfalls mit der Kugelmühle gemahlen.

Vor 1992 wurden die Humus- und Bodenproben ebenfalls bei 4 °C gelagert und entweder luftgetrocknet oder bei 60 °C (Humus), bzw. 40 °C (Boden) getrocknet und gesiebt (2 mm). Dabei kamen die Proben wahrscheinlich z. T. mit Metallsieben in Kontakt, weshalb eine Kontamination mit Schwermetallen nicht ausgeschlossen werden kann. Von den gesiebten Proben wurde eine Teilprobe ebenfalls in Achatbechern mit einer Planeten-Kugelmühle gemahlen.

An den Humusproben wurde ab 1992 der Wassergehalt bei 105 °C bestimmt, um die Elementgehalte auf das Trockengewicht bei dieser Temperatur beziehen zu können. Ob der Wassergehalt vor 1992 bestimmt wurde ist nicht bekannt. Wegen des geringen Restwassergehalts von Mineralbodenproben (1-3 %) wurde der Wassergehalt dieser Proben nicht bestimmt.

Hessen vor 2006: Waldbodeninformationssystem (WaBIS): Es wurden Profile gegraben und mittels Schaufel Proben je Tiefenstufe entnommen.

3. Analytik der Humus- und Bodenproben

Die chemischen Analysen wurden ab 1992 für Niedersachsen, ab 2006 für Hessen, ab 2009 für Sachsen-Anhalt und ab 2011 für Schleswig-Holstein im Labor der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) durchgeführt (s. Anhang: Methodendokumentation). Niedersachsen vor 1992: Die Analytik wurde im Labor des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung (jetzt: Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen) der Universität Göttingen durchgeführt. Die Methodendokumentation wurde nachträglich so weit möglich erstellt, s. Anhang: Methodendokumentation.

Schleswig-Holstein vor 2011: s. Methodendokumentation in der ICP Forests Datenbank.

Hessen vor 2006: Methodendokumentation s. Waldbodenzustandsbericht für Hessen (2016)

Sachsen-Anhalt: Es wurden nur Messwerte von Proben die im Labor der NW-FVA analysiert wurden verwendet, s. Anhang: Methodendokumentation.

4. Nachweis- und Bestimmungsgrenzen

Die Bestimmungsgrenze bzw. die Nachweisgrenze ist die kleinste Konzentration eines Stoffes, die quantitativ mit einer festgelegten Genauigkeit bestimmt werden kann. Erst oberhalb der Bestimmungsgrenze können quantitative Analyseergebnisse angegeben werden.

Für die hier zusammen gestellten Messwerte können für Niedersachsen drei und für Hessen, und Schleswig-Holstein zwei verschiedene Zeiträume mit unterschiedlicher Behandlung der Werte unterhalb dieser Grenzen beschrieben werden:

Niedersachsen:

1. Vor 1992 wurden Bodenproben im Institut für Bodenkunde und Waldernährung (jetzt: Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen) der Universität Göttingen analysiert. Für diesen Zeitraum liegen nur grob abgeschätzte Bestimmungsgrenzen vor. Für Messwerte unter diesen Grenzen wurde der halbe Wert der Bestimmungsgrenze bereits im Chemiearchiv des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung eingesetzt. Bei welchen Werten dies erfolgte, ist nicht bekannt.
2. Von 1992 bis 2000 wurden Bodenproben im Labor der NW-FVA analysiert. Die Bestimmungsgrenzen wurden in diesem Zeitraum gutachterlich geschätzt. Die Messwerte unter der Bestimmungsgrenze wurden auf den $\frac{1}{2}$ -Wert dieser Grenze gesetzt.
3. Ab 2000 wurden die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen in Anlehnung an die DIN 32645 bestimmt. Die Messwerte unter der Bestimmungsgrenze wurden auf den $\frac{2}{3}$, die Messwerte unter der Nachweisgrenze auf den $\frac{1}{2}$ -Wert dieser Werte gesetzt.

Hessen:

1. Vor 2006 wurden die Bodenproben i. d. Regel in der LUFA Kassel analysiert und die Werte unter der geschätzten Bestimmungsgrenze ebenfalls auf den $\frac{1}{2}$ -Wert dieser Grenze gesetzt. Bei welchen Werten dies erfolgte, ist nicht bekannt.
2. Ab 2006 wurden die Bodenproben im Labor der NW-FVA analysiert. Die Behandlung der Messwerte unter den Bestimmungs- und Nachweisgrenzen erfolgt wie unter Niedersachsen beschrieben.

Schleswig-Holstein:

1. Vor 2001 wurden Analysenwerte ebenfalls auf die $\frac{1}{2}$ geschätzte Bestimmungsgrenze gesetzt. Bei welchen Werten dies erfolgte, ist nicht bekannt.
2. Seit 2011 werden die Bodenproben im Labor der NW-FVA analysiert. Die Behandlung der Messwerte unter den Bestimmungs- und Nachweisgrenzen erfolgt wie unter Niedersachsen beschrieben.

Sachsen-Anhalt:

1. Seit 2006 werden die Bodenproben im Labor der NW-FVA analysiert. Die Behandlung der Messwerte unter den Bestimmungs- und Nachweisgrenzen erfolgt wie unter Niedersachsen beschrieben.

Einen Sonderfall stellen die austauschbaren Kationen dar. In den Extraktionslösungen gemessene Werte, die unter der Bestimmungs- und Nachweisgrenze liegen, wurden auf 0 gesetzt.

5. Verwendete Datenquellen

Hessen: Waldboden – Informationssystem WaBIS, Abteilung Waldökologie der Hessischen Forsteinrichtungsanstalt in Gießen, ab 2006 Datenbanken der NW-FVA.

Niedersachsen: 1966-1992 Chemiearchiv des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung, ab 1992 Datenbanken der NW-FVA.

Sachsen-Anhalt: ab 2006 Datenbanken der NW-FVA.

Schleswig-Holstein: Datenbank ICP Forests, ab 2011 Datenbanken der NW-FVA.

6. Bearbeitung des Datensatzes

Nicht plausible Datensätze wurden nach der Sichtung der Daten eliminiert:

- Einzelausreißer wurden gutachterlich entfernt oder korrigiert.
- Inventuren ohne räumliche Wiederholung wurden als kritisch bis ungeeignet eingestuft, was in Abhängigkeit von der Streuung vorangegangener oder nachfolgender Inventuren beurteilt wurde. Ein bis zwei Wiederholungen wurden grundsätzlich gestrichelt dargestellt.
- Altinventuren wurden im Einzelfall gutachterlich bewertet. Es wurde geprüft, ob die Analysenmethoden mit den nach 1992 angewendeten Methoden vergleichbare Ergebnisse liefern. Weiterhin wurde geprüft, ob die Messwerte einen Zusammenhang mit den Messwerten der Inventuren nach 1992 erkennen lassen, da bei den Inventuren vor diesem Zeitraum die Probennahmepunkte auf der Monitoringfläche oft nicht bekannt sind.
- Bei Summenbildungen über Profilabschnitte wurde geprüft, ob die Probennahme die gesamte Tiefenstufe abgedeckt hat.
- Bei gleichzeitigem Vorliegen von Beprobungen an mehreren Punkten und der Beprobung eines Leitprofils wurden die Messwerte des Profils nicht einbezogen.

Bei den verbleibenden Datensätzen wurde die Vergleichbarkeit geprüft:

- Es wurde geprüft, welche Methoden vergleichbare Ergebnisse liefern und nur diese Datensätze verwendet. (z. B. OAKWEG-OAKW (B: für Cr nicht vergleichbar), DAN-OAKWEG-OAKW (P und S Boden und Humus vergleichbar) (OAKW = Königswasser-Extrakt an der gemahlene Probe, OAKWEG = Königswasser-Extrakt an der 2 mm gesiebten Probe, DAN = Druckaufschluss mit Salpetersäure an der gemahlene Probe, s. Handbuch Forstliche Analytik 2021 (HFA)) .
- Für die pH-Werte in CaCl_2 und H_2O wurden Messwerte, die nicht nach der DIN-ISO-Methode gemessen wurden, umgerechnet. Die Umrechnungsfaktoren sind im Handbuch Forstliche Analytik 2021 (HFA) zu finden.

7. Bewertung der Daten

Da es sich um z. T. sehr lange Zeitreihen handelt, wurde untersucht, ob zeitliche Veränderungen zu erkennen sind. Es wurden statistische Verfahren auf ihre Eignung zur Erkennung zeitlicher Veränderungen geprüft. Bei Beprobungen mit nur einer Wiederholung oder Erhebungen, die keine Trends erkennen lassen, wurde der Nährstoffstatus nach der Forstlichen Standortsaufnahme 2016 eingestuft und die Gehalte den Quartilen des gesamten Datensatzes zugeordnet. Der Säure-Base-Status wurde nach den Pufferbereichen nach Ulrich (1981) und den Tiefenprofiltypen der Basensättigung nach Kölling et al. 1996 eingestuft. Für die Bewertung der Schwermetall-Gehalte wurden Grenzwerte verschiedener Quellen zu Grunde gelegt (s. u.).

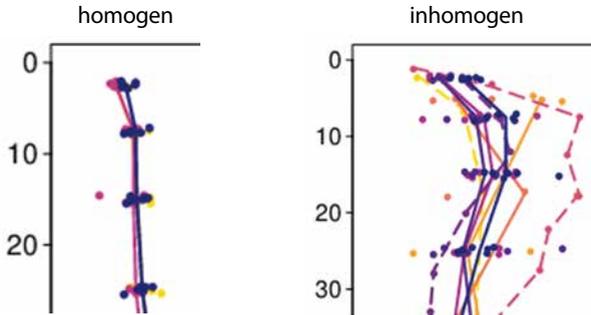
Zudem wurde anhand des AK/Corg-Verhältnisses (AK=Austauschkapazität) und der Variationskoeffizienten der Elementkonzentrationen im Königswasser-Extrakt die Variabilität der bodenchemischen Verhältnisse beurteilt. Das AK/Corg-Verhältnis sollte im Oberboden (0-30 cm Tiefe) bei mehreren Inventuren nicht stark voneinander abweichen, wenn das Substrat homogen ist und bei den Probenahmen die Tiefenstufen exakt beprobt wurden. In größerer Tiefe ist das AK/Corg-Verhältnis aufgrund geringer Corg-Gehalte nicht mehr aussagekräftig.

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der Homogenität eines Bodens ist die Streuung der Elementgehalte im Königswasser-Extrakt. Da von den Inventuren nach 1992 i. d. Regel sechs Wiederholungen vorliegen, konnten die Variationskoeffizienten berechnet, in Klassen eingeteilt und farblich markiert werden.

Als drittes Kriterium für die Einschätzung der Variabilität der Bodenverhältnisse wurden der Median und die Einzelwerte der Daten in Tiefenverläufen dargestellt, und eine gutachterliche Bewertung der Streuung gemacht. Für die Schwermetall-Vorräte wurden Boxplots erstellt (nicht dargestellt). In einem Box-Plot entspricht die Box dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Sie wird durch das obere und das untere Quartil begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand, der ein Maß für die Streuung der Daten ist. Des Weiteren wird der Median als durchgehender Strich in der Box dargestellt (s. Beispiel 1 und 2).

7.1 Kriterien für die Beurteilung der Variabilität bodenchemischer Kenngrößen

AK/Corg: Homogen, wenn Streuung gering, nur bis 30 cm bewertet.

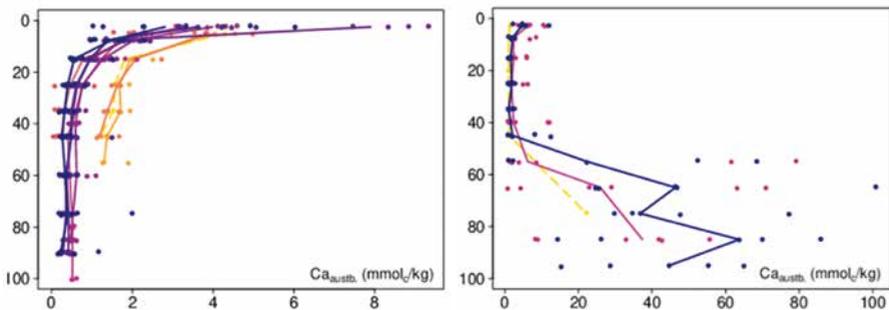


Königswasser-Extrakt: Es wurden die Variationskoeffizienten für die Wiederholungsmessungen (i. d. Regel 6) berechnet und in die Stufen 0-20 %, 20-50 %, >50 % eingeteilt.

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	17	19	24	12	20	27	11	16	31	27	16	22	24	25	78
5	10	15	17	23	13	21	17	7	9	28	26	16	18	20	21	87
10	20	10	13	19	11	17	13	15	10	22	22	15	14	16	10	70
20	30	28	20	27	40	37	20	18	15	15	30	29	29	33	13	66
30	40	70	70	52	100	82	78	19	26	20	67	53	92	70	30	107
40	50	42	206	23	53	55	45	22	77	21	20	22	37	33	12	21
50	60	37	191	29	45	36	57	24	110	40	30	31	52	38	22	36
60	70	21	133	12	23	34	48	29	91	53	10	14	21	10	15	15
70	80	46	119	29	49	42	105	28	75	36	30	25	29	29	30	28
80	90	56	106	31	62	38	77	20	56	27	17	32	39	36	31	36
90	100	52	148	52	63	44	74	32	85	50	23	34	43	42	30	33

0-20 %
 20-50 %
 >50 %

Große Streuung Einzelwerte: Die Streuung der Messwerte wurde gutachterlich anhand der Tiefenprofile der Messwerte beurteilt.



7.2 Bewertung und Einstufung der Daten

- Forstliche Standortaufnahme 2016 zur Beurteilung des Nährelementstatus
- Typen des Tiefenverlaufs der Basensättigung nach Kölling et al. (1996)
- Pufferbereiche nach Ulrich (1981)
- Gehaltsstufen der Messwerte im Königswasserextrakt: Es wurden das 25 %-Quartil, der Median und das 75 %-Quartil aller Messwerte berechnet, und die Messwerte entsprechend dieser Bereiche bewertet.
- Hintergrundwerte für Schwermetalle Bommarez et al. (2021), s. Tabelle 2
- Vorsorge- und Maßnahmenwerte BBodSchV (Schwermetalle), s. Tabelle 2
- Kritische Level (CL) für Schwermetalle Bommarez et al. (2021), s. Tabelle 2
- Geo-accumulation Index I_{geo} (Muller 1969), s. Tabelle 3

Tabelle 2: Hintergrundwerte (RL) und Kritische Level (CL) (Bommarez et al. 2021), Vorsorgewerte (VW) (BBodSchV 1999)

	Cd [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
Hintergrundwerte Humusaufgabe	0,38	11,7	13,9	9,98	28,7	57,1
Hintergrundwerte 0-10 cm	0,11	5,61	13,3	7,1	24,5	32,6
Vorsorgewerte Sand	0,4	30	20	15	40	60
Vorsorgewerte Schluff	1,0	60	40	50	70	150
Vorsorgewerte Ton	1,5	100	60	70	100	200
Kritische Level (CL)	2,5	100	96,5	150	120	300

- Hintergrundwerte: mittlerer Referenzlevel für die kontinentale Zone (Bommarez et al. 2021), (Hintergrundwert = Summe des geogenen Inventars des Bodens und des diffusen Eintrags).
- Vorsorgewerte (VW) nach Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999): Vorsorgewerte sind nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998) Werte, bei deren Überschreitung davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung gemäß §9 BBodSchV (1999) besteht. Es sollten dann Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung weiterer Schadstoffeinträge getroffen werden. Diese Werte gelten seit der Novelle der BBodSchV 2015 für alle Böden.
- Kritische Level (CL) für die kontinentale Zone (Bommarez et al. 2021), bei Überschreitung dieser Werte ist von einem nicht akzeptablen ökologischem Risiko für viele Arten auszugehen.

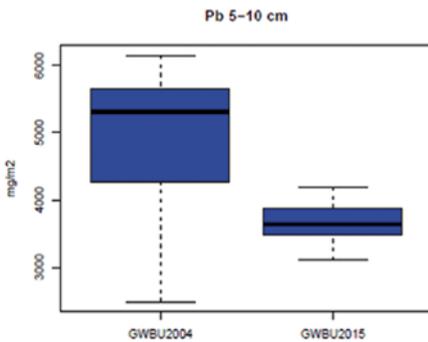
Tabelle 3: Bewertungskriterien für den Geo-accumulation Index I_{geo} :

$$I_{geo} = \log_2 \frac{\text{(Konzentration SM Oberboden)}}{\text{(1,5 * Konzentration SM Unterboden)}}$$

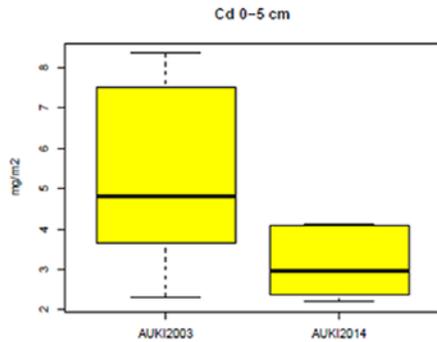
I_{geo}	Bewertung
<0	nicht kontaminiert
$\geq 0, <1$	nicht kontaminiert bis leicht kontaminiert
$\geq 1, <2$	leicht kontaminiert
$\geq 2, <3$	leicht kontaminiert bis stark kontaminiert
$\geq 3, <4$	stark kontaminiert
$\geq 4, <5$	stark kontaminiert bis sehr stark kontaminiert
≥ 5	sehr stark kontaminiert

7.3 Bewertung von zeitlichen Veränderungen

Zeitliche Veränderungen wurden festgestellt, wenn die Mediane stark unterschiedlich sind und sich die Einzelpunkte der Tiefenverläufe nicht überlappen, oder sich die Boxen in den Box-Plots aufeinander folgender Inventurtermine nicht überlappen (s. Beispiel 1). Von Tendenzen oder Trends wurde gesprochen, wenn die Mediane stark unterschiedlich sind, aber geringfügige Überlappungen der Einzelpunkte auftraten, oder sich die Boxen zwar überlappten, die Medianmarkierung einer Box jedoch außerhalb der Box folgender oder vorangegangener Inventuren lagen (s. Beispiel 2).



Beispiel 1



Beispiel 2

8. Zusammenfassende Bewertung des Säure-Base-Status und des Nährlementstatus sowie deren Dynamik

Die Versauerung von Böden ist ein Prozess, bei dem sich die Puffersysteme der Böden zunehmend und z. T. irreversibel erschöpfen. Versauerungsprozesse können dabei u. a. durch die Bildung und die Dissoziation von Kohlensäure sowie organischen Säuren, beim Streuabbau, durch organischen Säureeintrag an Standorten mit stark gehemmtem Humusabbau, durch Nährstoffentzug nach Biomassenutzung oder durch die Deposition anthropogener Säurebildner hervorgerufen werden. Den gesetzlichen Rahmen zur Vermeidung beziehungsweise zur Kompensation von Versauerungsprozessen bildet das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2000) ab, wo Kriterien bezüglich anzustrebender Zustände von Boden und Gewässern definiert werden.

Anthropogen bedingte atmosphärische Stoffeinträge entstammen vor allem Quellen wie dem Verkehr (NO_x), Industrieanlagen, Verbrennungsprozessen (SO_x , NO_x) sowie der intensiven Landwirtschaft (NH_x). Sie werden vorwiegend in Form starker Mineralsäuren wie Schwefelsäure (H_2SO_4) und Salpetersäure (HNO_3) in die Böden eingebracht, bzw. im Boden generiert, wenn NH_4^+ durch Wurzeln aufgenommen und eine äquivalente Menge Protonen abgegeben wird, oder durch Nitrifikation zu HNO_3 umgewandelt wird (Wellbrock et al. 2016). Im Gegensatz zu den „natürlichen“ Komponenten der Bodenversauerung wie Kohlensäure oder organische Säuren (z. B. Huminsäuren und Fulvosäuren), die als schwache Säuren durch Pufferreaktionen protoniert werden, sind damit auch tiefere Bodenhorizonte von einer Versauerung betroffen. Da im Boden für die Anionen NO_3^- keine und für Sulfat (SO_4^{2-}) nur wenige Sorptionsplätze zur Verfügung stehen, werden sie zudem leicht in tiefere Bodenhorizonte verfrachtet. Nach dem Elektroneutralitätsprinzip müssen die Anionen dabei von einer äquivalenten Menge Kationen begleitet werden, die durch die Zusammensetzung der austauschbar gebundenen Kationen bestimmt wird (Reuss und Johnson 1985).

Folgen der Bodenversauerung sind der Verlust von „basischen“ Kationen (z. B. K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) als Begleitkationen der mobilen Anionen, sowie die Freisetzung von Protonen (H^+), Al, (Al^{3+}) und Schwermetallionen in die Bodenlösung (Reuss und Johnson 1985, Ulrich 1986a, 1995). Hieraus können u. a. Wurzelschädigungen, Magnesiummangel und Nährstoffungleichgewichte durch eutrophierende Stickstoffeinträge (Nihlgard 1985) resultieren. Erhöhte Al-Konzentrationen, insbesondere in Form von freiem Al, können zudem die Nährstoffaufnahme durch Baumwurzeln oder deren Mykorrhiza behindern (de Wit et al. 2010) und toxisch für Mikroorganismen sein (Pina und Cervantes 1996). Aluminium bildet außerdem unter sauren Bedingungen mit Phosphor (P) stabile Komplexe, wodurch die P-Verfügbarkeit im Boden reduziert sein kann. Durch die Ausfällung von gelöster organischer Substanz durch Al kann deren Abbau verlangsamt werden (Scheel et al. 2007). Jedoch wird organisch komplexiertes Al in der Bodenlösung als weniger toxisch beurteilt (Hansen et al. 2007).

Der Versauerung entgegen wirken Quellen basischer Kationen, die aufgewehte Bodenpartikel oder atmosphärische Stäube sein können, die insbesondere in Ostdeutschland als

basenreiche Flugaschen auftreten. Meeresnahe Gebiete können ebenfalls durch hohe Einträge an basischen Kationen wie Magnesium, aber auch Sulfat und Natrium gekennzeichnet sein (Wellbrock et al. 2016).

Mit fortschreitender Bodenversauerung verändert sich die Belegung des Austauscherkomplexes, da die basischen Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+) zunehmend verloren gehen und durch sauer wirkende Kationen (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}) und Protonen (H^+) ersetzt werden (Wellbrock et al. 2016). Bei niedrigen pH-Werten und einer niedrigen Austauschkapazität wird die mikrobielle Umsetzung der organischen Substanz des Bodens gehemmt (Ladegaard-Pedersen et al. 2005, Leuschner et al. 2013), und reduziert sich die Bodenfauna, da nur wenige Arten an hohe Säuregrade angepasst sind (Lavelle et al. 1995). Bei säureempfindlicheren Baumarten ziehen sich zudem die Wurzeln aus dem versauerten Mineralboden in den Auflagehumus zurück, da aufgrund der Kronenraumpufferung dem Mineralboden verstärkt Nährelemente entzogen werden (Wellbrock et al. 2016). Schreitet die Versauerungsfront in die Tiefe fort, werden in den Zwischenschichten von Dreischicht-Tonmineralen Nährelemente, wie Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) durch Al-(hydroxo)-Kationen ersetzt, so dass die Dreischicht-Tonminerale ihre Funktion als Nährelementtauscher verlieren können (Veerhoff und Brummer 1993). Die damit verbundene starke Aufweitung der Zwischenschichten verursacht eine Destabilisierung, die bei anhaltender Säurebelastung zu einer irreversiblen Auflösung der Kristallgitter führt und in einer Zerstörung der Tonminerale mündet (Veerhoff und Brummer 1992).

Als Indikatoren für den Säure-Base-Status von Waldböden werden der Boden-pH-Wert (als $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ und $\text{pH}(\text{KCl})$), die Basensättigung sowie die Anteile austauschbarer Kationensäuren (H^+ , Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+}) herangezogen (Meiwes et al. 1986).

Durch die Einteilung der pH-Werte (in H_2O gemessen) in Pufferbereiche (Ulrich 1987) können Veränderungen des Säure-Base-Zustands der Waldböden beobachtet werden, da in Abhängigkeit von Ausgangssubstrat und Versauerungszustand verschiedene Puffersysteme im Boden wirksam werden, die sich hinsichtlich ihrer Pufferreaktionen und -kapazitäten unterscheiden. Diese werden bei Zufuhr von Säuren in Abhängigkeit von der Säurebelastung und der jeweiligen Pufferkapazität bzw. Säureneutralisierungskapazität durchlaufen.

Tabelle 4: Prozentsatz der Flächen in den verschiedenen Pufferbereichen

Pufferbereiche	0-30 cm % der Flächen	30-100 cm % der Flächen
Eisen (pH <3)	0	0
Eisen-Aluminium (pH 3-3,8)	21	0
Aluminium (pH 3,8-4,2)	33	4
Austauscher (pH 4,2-5)	40	71
Silikat (pH 5-6,2)	4	17
Carbonat (pH >6,2)	2	8

Tabelle 5:

Basensättigungsverläufe nach Kölling 1996	
Typ	% der Flächen
1	6
2	8
2-3	2
3	8
3-4	4
4	6
4-5	4
5	50
5K	10

Die Zusammensetzung der Kationen in der Bodenlösung ändert sich beim Übergang von einem Pufferbereich in einen anderen jeweils in charakteristischer Weise. Wenn der Aluminium (Al)-Pufferbereich erreicht wird, kann die Konzentration an Al-Ionen in der Bodenlösung so hoch werden, dass neben einem sehr niedrigen pH-Wert das Risiko toxisch wirksamer Al-Konzentrationen besteht (Reuss und Johnson 2012). Aus Tab. 4 wird ersichtlich, dass die pH-Werte im Oberboden des überwiegenden Teils der hier untersuchten Monitoringflächen in ungünstigen pH-Bereichen liegen (Eisen-Aluminium- bis Austauscher-Pufferbereich). Im Unterboden ist die Situation etwas besser, da die pH-Werte hier häufiger in günstigeren Pufferbereichen liegen (Austauscher, Silikat) (s. auch Tab. 6-9).

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung des Bodenzustands sind die Tiefenverläufe der Basensättigung (Typ 1 bis 5) nach (Kölling et al. 1996). Dabei kennzeichnet den Typ 1 eine durchgehend sehr hohe Basensättigung, während den Typ 2 eine nur mäßig hohe Basensättigung im Oberboden, jedoch eine sehr hohe Basensättigung im Unterboden charakterisiert. Der Typ 3 wird durch mäßige bis geringe Basensättigungen bis in 30 cm geprägt, die durch verstärkte Versauerung bis in 30 cm Tiefe hervorgerufen wurde. Unterhalb von 30 cm ist die Entkalkung weniger stark fortgeschritten, so dass mäßig hohe bis sehr hohe Basensättigungen eine ausreichende Basenversorgung gewährleisten. Eine zunehmende Basenverarmung bis in eine Tiefe von 60 cm charakterisiert Typ 4, wenn der darunterliegende Bereich noch basenreich ist. Typ 5 kennzeichnet eine starke Basenverarmung über das gesamte Profil des Mineralbodens, wobei Typ 5K eine Kalkung anzeigt. Wie aus Tab. 5 zu ersehen ist, sind 60 % der hier untersuchten Flächen sehr basenarm (Typ 5 und Typ 5K). Die 10 % der Flächen, die dem Typ 5K zuzuordnen sind, zeigen, dass auch die Kalkungsmaßnahmen, die auf diesen Flächen stattgefunden haben, kaum Auswirkungen auf die Basensättigung in größerer Tiefe hatten. Nur 14 % der Flächen weisen eine hohe Basensättigung auf (Typ 1-2).

Die Ergebnisse der ersten Bodenzustandserhebung (BZE I) zeigten in den 90er Jahren ebenfalls eine „flächendeckende, weitgehend substratunabhängige Versauerung und Basenverarmung der Oberböden sowie eine Tendenz zur Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes auf niedrigem Niveau“ (Wolff und Riek 1996), die zum Zeitpunkt der BZE II (2006-2008) nur abgeschwächt zu beobachten war (Wellbrock et al. 2016). So waren die Basensättigung und die pH-Werte in den oberen Bodenschichten angestiegen und die S-Vorräte im Auflagehumus deutlich zurückgegangen. Der Median der Basensättigung lag in den oberen 0-5 cm des Mineralbodens bei 28 % und in 10-30 cm bei 12 % (Wellbrock et al. 2016). In 10-30 cm Bodentiefe war sie am geringsten und nahm mit zunehmender Bodentiefe wieder zu. In allen Tiefenstufen zeigte sich eine große Spannweite der Basensättigung von <4-100 %, wobei die Mediane und die 25. bzw. 75. Perzentile deutlich in Richtung minimaler Werte verschoben waren (Wellbrock et al. 2016). Eine erhöhte Basensättigung im Oberboden (0-5 cm) und eine verringerte Basensättigung im Unterboden (10-90 cm) wurde entweder als Kalkungswirkung im Oberboden gedeutet, oder bei reduzierten direkten Säureinträgen weiterhin auf eine hohe Säurebelastung durch Nitrifikation von Stickstoffverbindungen und die Remobilisierung von zwischengespeichertem Schwefel im Unterboden zurückgeführt.

Im Auflagehumus betrug der pH(H₂O)-Wert im Mittel 4,6 und der pH(KCl)-Wert 3,9. In der ersten Mineralbodenschicht waren sie im Mittel etwas niedriger als im Auflagehumus und nahmen dann mit zunehmender Bodentiefe zu. In 30-60 cm hatten die Waldböden einen mittleren pH(H₂O)-Wert von 5,2 und einen mittleren pH(KCl)-Wert von 4,5 (Wellbrock et al. 2016).

Zum Zeitpunkt der jeweils letzten Erhebung der hier untersuchten Monitoringflächen (2008-2021) lag der Median der Basensättigung in den oberen 0-10 cm des Mineralbodens bei 13 %, in 10-30 cm Tiefe bei 8 % und in 30-100 cm Tiefe bei 10 %. Er ist damit vor allem in der obersten Tiefenstufe und im Unterboden sehr viel niedriger als die bei der BZE II gefundenen Werte, während die Spannweite mit 2-100 % vergleichbar ist. Bei den pH-Werten zeigt sich ein ähnliches Bild, da auch sie insbesondere in der Humusaufgabe und in 0-10 cm Tiefe niedriger sind (s. Tab. 6-9). Der Grund hierfür könnte an dem höheren Anteil basenarmer Böden in Nordwestdeutschland im Vergleich zu Gesamtdeutschland liegen. Zwischen der ersten (1992-2007) und der letzten Inventur konnte auf je einem Viertel der Versuchsflächen sowohl in 0-30 cm Tiefe als auch in 30-100 cm Tiefe ein Anstieg bzw. ein Abfall der Basensättigung beobachtet werden. Auf 50 % der Flächen veränderte sich die Basensättigung kaum. Auch bei den pH-Werten konnte nur auf 15 % der Flächen eine Tendenz zu steigenden Werten beobachtet werden. Von Ahrends et al. (2022a) konnte bei einer Auswertung von 21 Flächen dieser Untersuchung mittels generalisierter additiver gemischter Modelle (GAMM) bei den jüngsten Inventuren (ab 2005) ein rückläufiger Trend oder eine Stagnation des Säure-Base-Status (Basensättigung, pH-Wert) bei stark versauerten Böden festgestellt werden, wobei die Effekte bei Böden mit Laubbäumen stärker ausgeprägt waren als bei Böden mit Nadelbäumen.

Zwischen Laub- und Nadelwäldern zeigten sich auch bei der BZE, vor allem in den oberen 10 cm des Mineralbodens, sowohl bei den pH-Werten, als auch bei der Basensättigung deutliche Unterschiede, mit einer signifikant höheren Basensättigung in den Böden unter Laub- als unter Nadelbaumbeständen (Wellbrock et al. 2016). Auch in dieser Untersuchung wurden höhere pH-Werte und eine höhere Basensättigung bei Laubbaumbestockung gefunden (s. Tab. 11).

Ein gutes Beispiel für die Auswirkung einer Kalkung ist die Fläche SLBK auf der 1982 30 t/ha Dolomit (CaMg(CO₃)₂) ausgebracht wurden, was der 10-fachen Menge der üblicherweise bei einer Kompensationskalkung ausgebrachten Menge entspricht. Hier zeigt sich die Auswirkung einer Kalkung im Vergleich mit den Flächen SLBD und SLFD, die lediglich mit 4,4 t Hüttenkalk und 4 t/ha Dolomit beaufschlagt wurden, sehr viel deutlicher. Im Boden der Fläche SLBK kam es vor allem im Oberboden zu einem starken Anstieg der Basensättigung durch die Zunahme des austauschbar gebundenen Ca und Mg bei einem gleichzeitigem Verlust an sauren Kationen wie z. B. Al. Auch stiegen die pH-Werte stark an und es kam zu Verlusten von C und N in der Humusaufgabe, die sich auch in der Humusform ausdrückten. Ab 2010 waren diese Effekte aufgrund der nachlassenden Wirkung der Kalkung wieder rückläufig.

Der Säure-Base-Zustand des Bodens bestimmt maßgeblich auch die Verfügbarkeit von Calcium (Ca), Kalium (K), Magnesium (Mg), Phosphor (P), Schwefel (S) und Stickstoff (N) im

Boden, welche wichtige Nährelemente von Pflanzen sind. Die Vorräte dieser Elemente sind deshalb ein wichtiger Indikator für die Beurteilung des langfristigen Nährstoffpotenzials von Waldböden. Zudem sind die S-Vorräte im Boden eine wichtige Größe, da sie Rückschlüsse auf die sauren S-Einträge aus der Atmosphäre zulassen.

N ist vor P und K der quantitativ wichtigste wachstumsbegrenzende Nährstoff terrestrischer Ökosysteme (Ellenberg et al. 1986). Der N-Vorrat im Boden wird zu mindestens 95 % durch den organischen N-Anteil in Form von abgestorbenem, organischem Bodenmaterial (= Humus) bestimmt (Rohmann und Sontheimer 1985). In der Regel decken Wälder ihren Bedarf an verfügbarem, mineralischem N nur über die Fixierung von Luft-N oder über den im Niederschlagswasser vorhandenen N.

Die N-Vorräte des Auflagehumus betragen bei der Inventur der BZE II im Mittel 0,84 t/ha und nahmen damit einen Anteil von 14 % des Vorrats im Auflagehumus und im Mineralboden bis in 60 cm Bodentiefe ein. In den oberen 30 cm des Mineralbodens waren mit durchschnittlich 3,84 t/ha mehr als die Hälfte (64 %) des N-Vorrats gespeichert. Im gesamten Profil bis in 60 cm Tiefe betrug der N-Vorrat rund 6 t/ha. Nach Bewertung des AK Standortkartierung (2018) liegt dieser Vorrat im mittleren Bereich. Zwischen der BZE I und II ergab sich ein jährlicher Verlust von im Median 8,9 kg/ha/a, was aus einer signifikanten Zunahme in der Tiefenstufe 0-5 cm, sowie signifikanten Abnahmen in den Tiefenstufen 30-60 cm und 60-90 cm ermittelt wurde. In den Auflagen waren keine Veränderungen erkennbar (Andreae et al. 2016). Auf gekalkten Flächen waren die Verluste höher als auf nicht gekalkten Flächen, und es fand an gekalkten Standorten eine signifikante Umverteilung von der Auflage in den Mineralboden statt. Für N waren die Critical Loads 2007 zudem auf 29 % der Flächen in Deutschland überschritten. (Unter Critical Loads sind naturwissenschaftlich begründete Grenzwerte zu verstehen, die sich aus den Wirkungen von Luftschadstoffen ableiten lassen, bei deren Einhaltung oder Unterschreitung nach heutigem Wissen ein ausgewähltes Schutzgut, weder akut noch langfristig in seinen Funktionen geschädigt wird.)

In dieser Untersuchung wurden mit 1,2 t/ha höhere N-Vorräte im Auflagehumus und mit 3 t/ha bis in 30 cm Tiefe des Mineralbodens geringere N-Vorräte als bei der BZE II gefunden (s. Tab. 10). Der N-Vorrat bis in 100 cm Tiefe liegt mit 6,4 ebenfalls im mittleren Bereich (Forstliche Standortkartierung 2016) und ist mit dem der BZE II vergleichbar. Zwischen der ersten und der letzten Inventur konnten im Auflagehumus und im Oberboden der Hälfte der Flächen kaum Veränderungen festgestellt werden. Auf je einem Viertel der Flächen waren Tendenzen zu zunehmenden bzw. abnehmenden Vorräten zu erkennen. Im Unterboden nahmen die N-Vorräte nur vereinzelt ab. Auf gekalkten Flächen konnten größere N-Verluste beobachtet werden (s. SLBK).

Für Kohlenstoff (C) sind Böden das größte Reservoir im C-Kreislauf terrestrischer Ökosysteme. Waldböden allein speichern ein Drittel des organischen C weltweit und sind somit ein größeres Reservoir für C als Pflanzen und Atmosphäre zusammen (Schlesinger 1997).

Die Vorräte des Gesamtprofils (Auflagehumus und Mineralboden bis 90 cm Tiefe) beliefen sich zum Zeitpunkt der BZE II im Mittel auf 117 t/ha (18 % im Auflagehumus und 59 % im Oberboden bis 30 cm). Im Auflagehumus von Nadelbaumbeständen war die C-Speicherung

höher als im Humus von Laubbaumbeständen. Die Ergebnisse der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung (BZE II) zeigten zudem für den Zeitraum zwischen 1990 und 2006 eine marginale jährliche Vorratsabnahme von -0,02 t/ha im Auflagehumus, und eine Zunahme in den oberen 30 cm des Mineralbodens von jährlich 0,41 t/ha (Grüneberg et al. 2014). Auf Profilebene (Auflagehumus und Mineralboden bis in eine maximale Tiefe von 90 cm) ergab sich im bundesweiten Mittel eine jährliche signifikante Zunahme der C-Vorräte um 0,75 t/ha/a. Mit einer Kalkung erhöhte sich der im Mineralboden gespeicherte C-Vorrat, während der Auflagehumus C verlor. Bezogen auf das Gesamtprofil führte die Kalkung jedoch zu einer stärkeren C-Zunahme als auf nicht gekalkten Standorten. Infolge der C-Zunahme und N-Abnahme weitete sich das C/N-Verhältnis zudem signifikant.

Der Median des C-Vorrats der letzten Inventuren dieser Untersuchung liegt für das ganze Profil bis in 100 cm Tiefe bei 120 t/ha (25 % im Auflagehumus, 53 % im Oberboden bis in 30 cm Tiefe, s. Tab. 10) und damit in gleicher Größenordnung wie bei der BZE II. Im Auflagehumus und im Oberboden von 60 % der Flächen veränderten sich die C-Vorräte kaum. Auf den verbleibenden Flächen nahmen sie zur Hälfte ab und zur Hälfte zu, während sie im Oberboden eher zunahmen (28 % der Flächen), was auch bei der BZE II beobachtet wurde. Für den Unterboden konnte aufgrund der stark schwankenden niedrigen Messwerte keine Veränderung festgestellt werden. Nach der Forstlichen Standortsaufnahme (2016) sind die N- und C-Vorräte als mäßig einzustufen.

Das C/N-Verhältnis ist ein bedeutsamer Indikator für die Bodenfruchtbarkeit. Ein weites C/N-Verhältnis ist ein Hinweis auf eine niedrige Umsetzungsrate von organischer Substanz und damit schlechterer Stickstoffversorgung des Bestands. Rohmann und Sontheimer (1985) stellten fest, dass für die Mineralisation umso günstigere Bedingungen vorliegen je sauerstoffreicher, feuchter, nährstoffreicher und leichter zersetzbar die organischen Substanzen sind (C/N-Verhältnis <20), und sich der pH-Wert zwischen schwach saurer bis schwach alkalisch bewegt. Streu und Oberböden unter Laubbäumen tendieren zu engeren C/N-Verhältnissen als unter Nadelbäumen (Fischer et al. 2002, Vesterdal et al. 2008).

Als Bezugshorizont für die Beurteilung des C/N-Verhältnisses nach der Forstlichen Standortsaufnahme (2016) wird die Oh-Lage, oder der Ah-Horizont bei der Humusform Mull herangezogen.

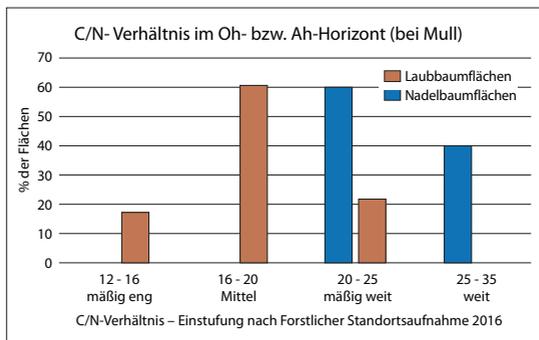


Abbildung 1

Das C/N-Verhältnis ist im Bezugshorizont auf allen mit Nadelbäumen bestockten Flächen dieser Untersuchung mit mäßig weitem bis weitem C/N-Verhältnis (>20) ungünstig. Unter Laubbaumbeständen werden mit mäßig engen und mittleren (>20) C/N-Verhältnissen auf 78 % der Flächen deutlich bessere Verhältnisse angetroffen (s. Abb. 1).

Für das königswasserextrahierbare Ca und Mg lagen die Medianwerte im Auflagehumus zum Zeitpunkt der BZE II bei 199 kg/ha bzw. 37 kg/ha. Mit zunehmender Tiefe nahmen sie zu, und erreichten in 5-10 cm Tiefe 248 bzw. 685 kg/ha. Auch die mittleren S-Vorräte waren im Auflagehumus am geringsten (96 kg/ha), nehmen in 0-5 cm zu (138 kg/ha) und danach wieder ab. Für P betragen sie 45 kg/ha in der Auflage und 146 kg/ha in 0-10 cm Tiefe (Wellbrock et al. 2016). Die mittleren Vorräte an austauschbaren Nährstoffen im Mineralboden (0-90 cm) betragen 6,69 t/ha Ca, 6,06 t/ha K und 1,22 t/ha Mg. Bei den Vorräten dieser Nährstoffe zeigten sich im Auflagehumus nicht gekalkter Waldstandorte signifikante Veränderungen seit der BZE I nur bei den S-Vorräten, die um 0,74 kg/ha abgenommen haben. Im Mineralboden nahm die Nährstoffverfügbarkeit in allen Tiefenstufen im Allgemeinen ab, was für K in 10-30 cm und für Ca und Mg in 10-60 cm signifikant war.

In dieser Untersuchung wurden im Auflagehumus Ca-Vorräte von 194 kg/ha Mg-Vorräte von 40 kg/ha und K-Vorräte von 71 kg/ha gefunden (Median, s. Tab. 6-9). Die Ca- und Mg-Vorräte liegen damit in der gleichen Größenordnung wie die bei der BZE II gefundenen Vorräte. Im Mineralboden (0-100 cm) betragen die austauschbaren Vorräte für Ca 234 kg/ha, für Mg 59 kg/ha und für K 251 kg/ha (Median). Diese wesentlich niedrigeren Werte im Vergleich zur BZE II könnten ihre Ursache in dem hohen Prozentsatz armer Sandböden in dieser Untersuchung haben. In der Auswertung der BZE II ist der Prozentsatz besser versorgter Böden wesentlich höher als in dieser Untersuchung. In der Humusaufgabe konnten auf 50 % der Flächen für die Ca-, auf 70 % für die Mg- und auf 60 % für die K-Vorräte kaum Veränderungen festgestellt werden. Auf den verbleibenden Flächen waren je zur Hälfte positive oder negative Trends zu beobachten. Im Oberboden und im Unterboden zeigten sich Tendenzen zu abnehmenden Vorräten bei Ca auf 42 bzw. 23 % der Flächen, und bei Mg auf 16 bzw. 10 % der Flächen. Bei K veränderten sie sich nur wenig. Insgesamt ist die Versorgung mit Ca und Mg mäßig, für K gering (Forstliche Standortaufnahme 2016).

Der P-Vorrat betrug im Auflagehumus 57 kg/ha und in 0-10 cm Tiefe 237 kg/ha, womit sie über den bei der BZE II gefundenen Werten lagen (s. Tab. 6-9). Ein Trend zu abnehmenden Vorräten konnte lediglich im Oberboden von 28 % der Flächen gefunden werden. Im Auflagehumus und im Unterboden veränderte er sich kaum.

Für S betrug der Vorrat im Auflagehumus 154 kg/ha, in 0-10 cm 178 kg/ha, in 10-30 cm 234 kg/ha und im Unterboden (30-100 cm) 437 kg/ha, wobei die Gehalte mit der Tiefe abnehmen (s. Tab. 6-9). Wie auch bei der BZE konnte im Mineralboden von über 70 % der Flächen eine starke Abnahme festgestellt werden, die insbesondere im Unterboden sehr ausgeprägt war. Und auch in der Humusaufgabe konnte auf 43 % niedrigere S-Vorräte bei der jeweils letzten Inventur gefunden werden. Eine Zunahme der S-Vorräte konnte nur im Boden der Flächen KLKI und NEKI in Sachsen-Anhalt, und im Oberboden weniger Flächen bei gleichzeitiger Abnahme in der Humusaufgabe gefunden werden.

Tabelle 6: pH-Werte und Elementvorräte der letzten Bodeninventuren in der Humusauflage

Humusauflage					
Element	BZE II	Mittelwert BDF	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Basensättigung	-	-	-	-	-
pH(H ₂ O)	4,39	4,37	4,27	3,32	5,91
pH(CaCl ₂)	-	3,70	3,52	2,69	5,40
pH(KCl)	3,57	3,60	3,44	2,32	5,72
Corg [t/ha]	16,3	29,6	28,1	2,2	76,9
Nges [t/ha]	0,84	1,2	1,2	<BG	3,4
C/N	24,7	27,3	26,1	16,9	69,7
Ca [kg/ha]	199	216,5	193,7	66,9	638,5
K [kg/ha]	-	82,5	71,0	15,1	197,7
Mg [kg/ha]	37	52,5	39,5	8,5	226,1
Pges [kg/ha]	35	56,0	56,8	4,7	149,2
Sges [kg/ha]	73	137,8	154,8	3,3	349,0

Tabelle 7: pH-Werte und Elementvorräte der letzten Bodeninventuren in 0-10 cm Tiefe

Mineralboden 0-10 cm					
Element	BZE II	Mittelwert BDF	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Basensättigung	22	22	13	3	99
pH(H ₂ O)	4,25	4,18	4,05	3,57	6,70
pH(CaCl ₂)	-	3,51	3,39	2,77	6,41
pH(KCl)	3,47	3,39	3,27	2,50	7,03
Corg [t/ha]	23,4	35,3	30,9	16,6	92,5
Nges [t/ha]	1,7	1,8	1,5	0,8	4,8
C/N	19,5	20,9	19,6	12,9	40,6
Ca aust. [kg/ha]	180	365,4	92,4	14,4	7486
K aust. [kg/ha]	48	49,9	38,6	19,1	239,5
Mg aust. [kg/ha]	31	42,3	16,5	4,3	425,6
Pges [kg/ha]	249	239,5	237,1	52,1	779,3
Sges [kg/ha]	208	213,9	177,8	96,5	683,5

Tabelle 8: pH-Werte und Elementvorräte der letzten Bodeninventuren 10-30 cm Tiefe

Mineralboden 10-30 cm					
Element	BZE II	Mittelwert BDF	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Basensättigung	12	17	8	2	100
pH(H ₂ O)	4,55	4,52	4,48	3,78	7,69
pH(CaCl ₂)	-	3,95	3,91	2,93	7,23
pH(KCl)	3,89	3,90	3,82	2,72	7,30
Corg [t/ha]	26,4	31,4	27,0	11,1	94,5
Nges [t/ha]	1,6	1,7	1,5	0,5	6,0
C/N	17	19,3	18,4	9,6	40,2
Ca aust. [kg/ha]	110	524,3	61,9	5,0	13649
K aust. [kg/ha]	67	67,7	50,6	16,5	270,5
Mg aust. [kg/ha]	29	55,8	14,5	4,5	602,3
Pges [kg/ha]	-	436,0	425,2	96,7	1428
Sges [kg/ha]	-	271,8	234,0	95,5	927,9

Tabelle 9: pH-Werte und Elementvorräte der letzten Bodeninventuren 30-100 cm Tiefe

Mineralboden 30-100 cm					
Element	BZE II	Mittelwert BDF	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Basensättigung	23	25	10	4	100
pH(H ₂ O)	4,75	4,92	4,67	3,68	7,56
pH(CaCl ₂)	-	4,34	4,21	2,98	7,02
pH(KCl)	4,13	4,44	4,19	2,85	8,19
Corg [t/ha]	25,4	26,41	23,32	8,09	82,84
Nges [t/ha]	2,32	1,99	1,68	0,22	4,31
C/N	12	16,37	13,22	2,80	128,54
Ca aust. [kg/ha]	627	2299	79,55	10,50	25298
K aust. [kg/ha]	263	273,20	162,29	26,01	1318
Mg aust. [kg/ha]	132	281,17	27,93	4,26	2820
Pges [kg/ha]	-	1272	1141	212,99	5029
Sges [kg/ha]	-	457,43	437,02	103,83	1332

Tabelle 10: pH-Werte und Elementvorräte der letzten Bodeninventuren im gesamten Profil

Mineralboden L-100 cm					
Element	BZE II	Mittelwert BDF	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Corg [t/ha]	117	128,9	120,3	63,5	300,5
Nges [t/ha]	6,3	6,7	6,4	3,3	16,0
Ca [kg/ha]	1116	2876	466,4	163,1	27846
K [kg/ha]	-	476,9	371,5	164,0	1657
Mg [kg/ha]	229	409,9	124,4	55,3	3569
Pges [kg/ha]	-	1981	1630	649,1	7241
Sges [kg/ha]	-	1065	1022	592,1	2447

Einstufung nach Forstliche Standortsaufnahme 2016:

sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch
-------------	--------	-------	--------	------------	------

Pufferbereiche nach Ulrich 1987a:

Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat
----	-------	----	-------------	---------	----------

Tabelle 11: Basensättigung und pH(H₂O)-Werte bei Laubbaum- oder Nadelbaumbestockung

		Basensättigung		pH(H ₂ O)	
von	bis	NB	LB	NB	LB
0	5	15	33	3,74	4,04
5	10	10	22	3,84	4,13
10	20	8	20	4,00	4,33
20	30	7	24	4,19	4,53

LB = Laubbaumbestockung

NB = Nadelbaumbestockung

9. Zusammenfassende Bewertung Schwermetallgehalte und -vorräte

Schwermetalle werden aus der Luft in Waldböden eingetragen oder kommen in Gesteinen vor, aus denen sich die Böden entwickelt haben. Da sie nicht wie organische Stoffe abgebaut werden können und aus Wäldern über lange Zeiträume keine Biomasse entnommen wird, verbleiben sie aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung in Wäldern und ihrer hohen Affinität zu organischer Substanz im Wesentlichen in der Humusaufgabe oder im humusreichen oberen Mineralboden. Regional gibt es große Unterschiede in der Belastung der Wälder mit Schwermetallen, so spielt z. B. die Nähe zu Straßen, Städten und Industrieanlagen eine Rolle. Vor Beginn der Industrialisierung waren nur wenige Gebiete wie z. B. der Harz, aufgrund früherer Bergbau- und Verhüttungsaktivitäten, mit Schwermetallen belastet.

Von besonderem Interesse sind Cadmium (Cd) und Blei (Pb) wegen ihrer vergleichsweise hohen Toxizität und ihrer umweltpolitischen Relevanz (Benzinbleigesetz 1997, Bundes-Immissionsschutzgesetz: BImSchG 2002). Die atmogenen Einträge von Pb und Cd sind seit Inkrafttreten dieser umweltpolitischen Regelungen erheblich zurückgegangen (BBodSchV 1999). Im Gegensatz hierzu sind Chrom (Cr), Kobalt (Co) und Nickel (Ni) überwiegend geogenen (dem Ausgangsgestein zuzusprechenden) Ursprungs. Zink (Zn) und Kupfer (Cu) nehmen eine Zwischenstellung ein. Die Schwermetallgehalte von Waldböden nehmen in der folgenden Reihenfolge zu: $Cd \ll Ni \approx Co \approx Cr < Cu < Pb < Zn$.

Einige Schwermetalle wie z. B. Cu und Zn sind in geringen Konzentrationen essentielle Nährstoffe, die eine physiologische Bedeutung haben. Bei höheren Konzentrationen werden ihnen jedoch sowohl ökotoxische als auch humantoxische Wirkungen nachgewiesen (Wilke et al. 2003, Ohnesorge und Wilhelm 1991). Für Pb und Cd sind ausschließlich toxische Wirkungen bekannt (Litz et al. 2015). Nur Cu und Zn werden von Pflanzen aufgenommen und gelangen über den Streufall wieder in die Auflage (Vegetationspumpe). Von Schwermetallen gehen elementspezifische Gefährdungspotenziale für Pflanzenwurzeln, Mykorrhizen und Mikroorganismen aus, wodurch es u. a. zu einer Verzögerung von Streuabbauprozessen kommen kann (Andreae und Mayer 1989, Godbold und Hüttermann 1986). Neben dem pH-Wert ist der Humusgehalt ausschlaggebend für schädigende Effekte von Schwermetallen. Baath (1989) fand bei einem C-Gehalt von 5 % keine Schadeffekte bei bis zu 150 mg/kg Pb, während bei 1-2 % C bereits bei 10 mg/kg Schäden auftraten.

Erhöhte Schwermetallgehalte geogenen Ursprungs sind in Böden zu finden, deren Ausgangssubstrate basische Magmatite und Metamorphite (Cr, Cu, Ni, Zn), (KIRBU, WEIBU, ZIEBU), saure Magmatite und Metamorphite (Cu, Ni) (LBKA, LBNH, LBSH, KSTFI, KELBU), oder Karbonatgesteine (GWBU) sind. In diesen Böden sind die Schwermetallgehalte im lössarmen Unterboden häufig höher als im Oberboden (Utermann et al. 2019). Böden auf Karbonatgesteinen haben die höchsten Cd- und Zn-Gehalte überhaupt. Dies ist auf die hohen Gehalte im Ausgangssubstrat und auf die starke Bindung bei hohen pH-Werten zurückzuführen. Durchgehend niedrige Schwermetallgehalte haben Sande, Geschiebemergel und Lehme (norddeutsche Tiefebene). Mittlere Gehalte sind in Lössen und Lössderivaten zu finden (z. B. im Solling). Sandsteine und

Silikatgesteine zeigen geringe Gehalte für Cd, Cr und Ni bis mittlere Gehalte für Pb, Cu und Zn). Moore enthalten fast ausschließlich Schwermetalle anthropogenen Ursprungs (Wellbrock et al. 2016). Bei den Schwermetallgehalten im Mineralboden gibt es eine Nord-Süd-Teilung mit niedrigen Gehalten in den Sandböden Norddeutschlands (z. B. Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein), und höheren Gehalten geogenen Ursprungs im Süden Deutschlands (z. B. Hessen). Im Gegensatz hierzu variieren die Schwermetall-Vorräte in der Humusauflage im gesamten Bundesgebiet stärker (Wellbrock et al. 2016). Geringmächtigere Humuslagen haben geringere Schwermetallgehalte als Humusformen mit mächtigeren Lagen (Wellbrock et al. 2016). Die höchsten Gehalte in der Humusauflage befinden sich für alle Schwermetalle mit Ausnahme von Cd und Zn in der Oh-Lage (Wellbrock et al. 2016). Die mit zunehmender Bodentiefe abnehmenden Cd- und Pb-Gehalte zeigen wie sehr diese Metalle an die organische Substanz im Boden gebunden sind. Durch ein Absinken des pH-Wertes, oder einen Humusvorratsabbau kann es jedoch zu Mobilisierungsprozessen, insbesondere für Cd und Zn kommen (LABO 2003). In größerer Tiefe sind Schwermetalle fast ausschließlich geogenen Ursprungs. Schwermetalle werden unterschiedlich stark an mineralische Oberflächen gebunden, und können abhängig vom pH-Wert auch als schwerlösliche Hydroxide, Oxide oder Carbonate ausgefällt werden. In der Reihenfolge $Cd = Zn < Cu < Ni = Cr < Pb$ nimmt ihre Adsorptionsstärke zu. Die Komplexierung durch Huminstoffe ist ebenfalls sehr unterschiedlich. Cd und Zn bilden nur schwache Komplexe, während Pb, Cr, Ni und Cu stärker gebunden werden (König et al. 1986). Da Pb bevorzugt an höher molekulare Huminstoffe gebunden wird und Cu eher an niedermolekulare organische Verbindungen, die weniger stark an mineralischen Oberflächen adsorbiert werden, kann Cu bei Podsolierungsprozessen in organisch komplexierter Form in die Tiefe verlagert werden (König et al. 1986).

Insbesondere Schwermetalle mit starker Affinität zur organischen Substanz wie Pb und Cu, die stabile metallorganische Komplexe bilden, werden nach atmosphärischem Eintrag mit Staub oder Niederschlag in der organischen Auflage und in den humusreichen Mineralbodenhorizonten langfristig fixiert (Baize und Sterckeman 2001). Schwermetalle, die gleichzeitig Mikronährstoffe sind (Cu, Zn) werden im Oberboden ebenfalls angereichert, da sie von den Pflanzen im Nährstoffkreislauf (Aufnahme, Streufall, Streuzersetzung) gehalten werden. Bei Zn kann dieser Effekt sehr ausgeprägt sein (Walthert et al. 2004). Mit sinkendem pH-Wert nimmt die Mobilität und Bioverfügbarkeit aller Schwermetalle, in besonderem Maße für Cd, Zn und Ni zu (Wellbrock et al. 2016). Die Löslichkeit von Zn und Cd steigt bereits im mäßig sauren Bereich erheblich an, weshalb Wolff und Riek (1997) davon ausgehen, dass größere Mengen von Cd und Zn in den Mineralboden verlagert werden.

Waldböden akkumulieren durch die Filterwirkung der Bäume mehr Schwermetalle atmosphärischen Ursprungs als landwirtschaftliche Flächen. Dies zeigt sich vor allem bei den Pb-, und Cd-Gehalten in der Humusauflage und im Oberboden, die überwiegend über den Luftweg eingetragen werden. Die Schwermetall-Vorräte in der Humusauflage machen ca. 12 % des Gesamtbodenvorrats aus (Wellbrock et al. 2016).

Für die Bewertung von Schwermetallgehalten in Böden gibt es Grenzwerte in der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) und Hintergrundwerte sowie kritische Level (CL) für

die kontinentale Zone (Bommarez et al. 2021) für Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn, die auf Messungen in Königswasser-Extrakten basieren (s. Tab. 2). Als weiteres Bewertungskriterium wurde der Geo-accumulation Index (I_{geo}) (Muller 1969) herangezogen (s. Tab. 3), der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert und ebenfalls auf Messungen in Königswasser-Extrakten basiert. Für diese Untersuchung wurden deshalb die Elementkonzentrationen im Königswasser-Extrakt der gesiebten oder der gemahlten Bodenproben für Cd, Co, Cu, Ni, Pb und Zn ausgewertet. Für Cr wurden nur die Konzentrationen im Königswasser-Extrakt der gesiebten Bodenproben verwendet, da die Cr-Messwerte der Königswasser-Extrakte an gemahlten Bodenproben teilweise höher sind als die von Extrakten der gesiebten Proben. Für die meisten Schwermetalle außer für Cr liefert der Königswasser-Extrakt an gesiebten Bodenproben annähernd Gesamtgehalte. Für die gemahlten Proben der Humusaufgabe gibt es Messwerte im Druckaufschluss und im Königswasser-Extrakt, die vergleichbar sind. Die im Königswasser-Extrakt gemessenen Schwermetallkonzentrationen stellen die maximal für die Bodenbiota verfügbare Schwermetallmenge dar. Dies bedeutet, dass die bioverfügbare Menge stets viel niedriger ist. Im Gegensatz hierzu dient der EDTA-Extrakt der Bestimmung der mittelfristig im Boden verfügbaren Schwermetallgehalte. Erfasst werden austauschbar gebundene Schwermetalle, von natürlichen organischen Substanzen komplexierte Schwermetalle sowie die an Oxide (Fe, Mn, Al) gebundene bzw. die an verschiedene Oberflächen adsorbierte Schwermetallfraktion. Dadurch ist erkennbar, ob die Schwermetallbelastung eines Bodens geogenen oder anthropogenen Ursprungs ist (Utermann et al. 2016). Für die mit dieser Methode ermittelten Schwermetallgehalte gibt es keine Bewertungskriterien. In Tabelle 12 sind die Prozentsätze der Flächen, auf denen die verschiedenen Prüfwerte überschritten werden, zusammengefasst. In Tabelle 2 und 3 im Vorkapitel sind die verschiedenen Prüf- und Kennwerte aufgelistet. Die Cd-Gehalte überschreiten auf der Hälfte der Flächen den Hintergrundwert für Humusaufgaben von Waldböden, wobei im Harz (LBKA, LBNH, LBSH) aufgrund der jahrhundertelangen Bergbautätigkeit und in einem Moorboden (DREI) besonders hohe Werte gefunden wurden. Im Oberboden (0-10 cm) wird der Hintergrundwert von einem Drittel der Flächen überschritten. Der halbe Vorsorgewert der BBodSchV wird auf 5 % der Flächen überschritten, während der kritische Level, ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, weder in der Humusaufgabe noch im Oberboden (0-10 cm) verletzt wird. Der Geo-accumulation-Index zeigt für 15 % der Flächen eine mittlere bis starke Kontamination des Oberbodens (0-10 cm) an (LBKA, LBNH, LBSH). In der Humusaufgabe überschreiten die Pb-Gehalte auf 85 % der Flächen und im Oberboden auf 58 % der Flächen die Hintergrundwerte. Der Vorsorgewert wird auf 30 % der Flächen und der halbe Vorsorgewert auf 45 % der Flächen überschritten. Und auch der kritische Level wird in der Humusaufgabe auf 42 % und im Oberboden auf 11 % der Flächen verletzt. Der I_{geo} -Wert zeigt auf 32 % der Flächen eine mittlere und auf 11 % der Flächen sogar eine starke Kontamination des Oberbodens an (LBKA, LBNH, LBSH). Die Cu-Gehalte überschreiten auf 87 % der Flächen in der Humusaufgabe und auf 45 % der Flächen im Oberboden den Hintergrundwert, während weder der Vorsorgewert noch die kritischen Level überschritten werden; auch der I_{geo} -Wert zeigt keine Kontamination.

Für Zn ist die Situation ähnlich wie für Cu. Die Gehalte überschreiten die Hintergrundwerte auf 63 % der Flächen in der Humusauflage und auf 30 % der Flächen im Oberboden. Auf 16 % der Flächen wird der halbe Vorsorgewert im Oberboden überschritten. Die kritischen Level werden in keinem Fall verletzt und auch der I_{geo} -Wert zeigt keine Kontamination an. In der Humusauflage werden die Hintergrundwerte für Cr und Ni auf 40 % der Flächen überschritten, was z. T. wahrscheinlich auf einen Transfer aus dem schwermetallreichen Mineralboden in die organische Auflage zurückzuführen ist. Im Oberboden werden sie auf 13 % der Flächen für Cr und auf 5 % der Flächen für Ni überschritten. Der I_{geo} -Wert zeigt für die Gehalte an Co, Cr und Ni keine Kontamination des Oberbodens. Bei 8 Flächen sind die Cr- und Ni-Gehalte vergleichsweise hoch, was die Überschreitung des halben bzw. ganzen Vorsorgewerts (5 Flächen) bei diesen Flächen und die Verletzung des kritischen Levels (3 Flächen) im Oberboden belegt. Bei den Böden dieser Flächen handelt es sich um Böden mit hohen Schwermetallgehalten geogenen Ursprungs.

Tabelle 12: Prozentsatz der Flächen, auf denen der angegebene Prüfwert überschritten wird

Prüfwert	Cd	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni
Hintergrundwert Humusauflage	50	85	30	63	40	40
Hintergrundwert 0-10 cm	33	58	45	30	13	5
Vorsorgewert	0	30	0	0	10	10
½ Vorsorgewert	5	45	0	16	6	6
Kritischer Level Humus	0	42	0	0	0	0
Kritischer Level Boden	0	11	0	0	6	6
I_{geo} (Kontamination)	15 (mittel-stark)	32 (mittel) 11 (stark)	0	0	0	0

Um die Ergebnisse dieser Untersuchung (1992-2021) mit denen der zweiten Bundesbodenzustandserhebung Wald (BZE II, 2006-2008, Wellbrock et al. 2016) und den Ergebnissen der Studie von Bommarez et al. (2021), die auf Daten der zweiten Waldbodeninventur in Europa beruht (2000-2015), zu vergleichen, wurden die Medianwerte der drei Auswertungen und die Minimum- und Maximum-Werte dieser Untersuchung in Tabelle 13 und 14 dargestellt.

Tabelle 13: Median-Werte BZE-Bundesbericht (Wellbrock et al. 2016, BZE II), Heavy metals in forest floors and topsoils of ICP Forests Level I plots (Bommarez et al. 2021) (Level I plots, 2. Erhebung), Bodendauerbeobachtungsflächen Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein für die Humusauflage (BDF) in mg/kg.

Element	BZE II	Level I-plots 2. Erhebung	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Cd	0,43	0,067	0,37	0,03	7,82
Pb	49,1	7,4	45,1	0,97	2405
Cu	14,0	4,6	12,97	1,64	130,3
Zn	63,6	28,0	59,3	6,29	1035
Co	-	-	1,02	0,05	19,33
Cr	8,87	11,9	4,79	0,23	113,4
Ni	6,92	7,6	5,37	0,69	121,4

Tabelle 14: Median-Werte BZE-Bundesbericht (Wellbrock et al. 2016) (BZE II), Heavy metals in forest floors and topsoils of ICP Forests Level I plots (Bommarez et al. 2021) (Level I plots, 2. Erhebung), Bodendauerbeobachtungsflächen Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein in 0-10 cm Tiefe des Mineralbodens (BDF) in mg/kg.

Element	BZE II	Level I-plots 2. Erhebung	Median BDF	Minimum BDF	Maximum BDF
Cd	0,11	0,3	0,06	0,01	1,50
Pb	30,8	22,3	35,3	2,64	1261
Cu	7,0	9,1	4,38	0,33	40,0
Zn	36,6	52,8	20,5	1,55	213,0
Co	-	-	1,20	0,05	41,5
Cr	17,7	10,9	10,04	0,58	181,0
Ni	9,17	8,0	3,97	0,26	259,3

Die Gehalte von Cd, Cu, Pb und Zn sind in der Humusaufgabe meist höher als im darunter liegenden Mineralboden (0-10 cm). In der Humusaufgabe haben sich Pb, Cd, Cu und Zn angereichert.

Der Vergleich mit den Daten der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung Wald (BZE II) zeigt für die Daten dieser Untersuchung vergleichbare Werte für Cd, Pb, Cu und Zn und niedrigere Gehalte für Cr und Ni in der Humusaufgabe. In 0-10 cm Tiefe sind die Werte für Cu, Zn, Cr und Ni niedriger und für Cd und Pb vergleichbar. Die niedrigeren Gehalte der Schwermetalle im Mineralboden, die zu einem hohen oder überwiegenden Teil geogenen Ursprungs sind, ist wahrscheinlich auf den hohen Prozentsatz schwermetallärmerer Böden des norddeutschen Tieflands in dieser Untersuchung zurückzuführen. Im Vergleich mit der europaweiten 2. Waldbodeninventur sind die Werte in der Humusaufgabe für alle Schwermetalle mit Ausnahme von Cr und Ni wesentlich höher, während die Gehalte in 0-10 cm Tiefe von Cd, Cu, Zn, und Ni wesentlich niedriger, für Cr vergleichbar und für Pb höher sind. Somit ist die Belastung im europaweiten Vergleich für die Schwermetalle atmosphären Ursprungs in der Humusaufgabe und für Pb in 0-10 cm Tiefe höher.

Die Daten wurden in zwei Zeiträume eingeteilt, um zu untersuchen, ob die Veränderungen der Schwermetallvorräte einer zeitlichen Dynamik unterliegen (1. Zeitraum: 1992-2006, 2. Zeitraum: 2007-2021).

Für die Humusaufgabe gibt es für den ersten Zeitraum Daten von 13 Flächen, für den Mineralboden allerdings nur von einer Fläche, für den zweiten Zeitraum sind Daten von 23 Flächen für die Humusaufgabe und von 13 Flächen für den Mineralboden vorhanden.

Die Schwermetallvorräte wurden mit den Feinbodenvorräten berechnet, die nach der Methode: Bestimmung der Trockenrohddichte des Feinbodens (TRDFB) und des Feinbodenvorrats (FBV) in Anlehnung an die DIN ISO 11 272 (Handbuch Forstliche Analytik 2022) ermittelt wurden. Alle Elementvorräte wurden mit demselben Feinbodenvorrat berechnet, weil diese sehr aufwändige Methode nur einmal durchgeführt wurde. Für die Humusaufgabe wurden die Vorräte mit dem für jeden Probennahmepunkt bestimmten Humusvorrat berechnet.

In der Humusaufgabe haben die Cu, Pb und Zn-Vorräte auf der Hälfte der Flächen im ersten Zeitraum abgenommen. Für Cd ist der Prozentsatz mit 75 % höher, und für Co, Cr und Ni mit

40 % niedriger. Im zweiten Zeitraum ist der Anteil der Flächen, deren Vorräte abgenommen haben, mit fast 60 % für Cu, Pb und Zn, und mit ca. 50 % für Co, Cr und Ni wesentlich höher und für Cd vergleichbar. Bei Flächen, für die in diesem Zeitraum zwei Inventuren vorliegen (z. B. im Solling, SLB1 und SLF1), zeigt sich bei der letzten Inventur keine Veränderung mehr. Bei 80 % der Flächen, bei denen die Vorräte abgenommen haben, ist die Abnahme signifikant. Eine signifikante Zunahme aller Schwermetall-Vorräte konnte nur auf einer Fläche in Sachsen-Anhalt (Nedlitz Kiefer, NEKI) und einer Fläche in Hessen (Krofdorf Buche, KRFBU) zwischen 2009 und 2019 beobachtet werden.

Für den Mineralboden liegen für den ersten Zeitraum nur Messwerte einer Fläche vor. Im zweiten Zeitraum haben die Pb- und Zn-Vorräte auf 20 % bzw. 35 % der Flächen und für alle anderen Schwermetalle auf fast 50 % der Flächen in 0-10 cm Tiefe abgenommen. Bei Cd, Cu und Pb können in dieser Tiefenstufe jedoch auch ansteigende Vorräte gefunden werden, die wahrscheinlich auf eine Verlagerung aus der Humusaufgabe zurückzuführen sind. So konnten im Mineralboden der Fläche KRFBU, deren Humusaufgabe geringmächtig ist (F-Mull) und auf den vergleichsweise stärker belasteten Flächen NEKI und KLKI in Sachsen-Anhalt und der Fläche SLB1 zunehmende Vorräte gefunden werden. Dass im Mineralboden der benachbarten Fläche SLF1 kein Anstieg der Vorräte festzustellen ist, könnte an der dortigen, mächtigeren Humusaufgabe liegen (rohhumusartiger Moder statt Moder).

Die Cd-Gehalte sind im Mineralboden von mehr als der Hälfte der Flächen gleichmäßig verteilt. Hierbei handelt es sich entweder um Böden mit hohem Schwermetallgehalt geogenen Ursprungs, bei denen Cd atmosphärischen Ursprungs wenig ins Gewicht fällt, oder um wenig belastete Böden. Dies unterstreicht auch der I_{geo} -Wert, der für diese 18 Böden keine Anreicherung im Oberboden anzeigt. Für die Böden von 15 Flächen wird eine Verlagerung in den Mineralboden deutlich, die teilweise bis in 40 cm Tiefe zu sehen ist. Im Boden von drei Flächen konnten eine Abreicherung der oberen Horizonte und eine deutliche Anreicherung in 5-40 cm, 10-30 cm bzw. 20-40 cm Tiefe gefunden werden. Besonders auffällig ist, dass Cd auf den drei Flächen im Hessischen Ried (HRIBU, HRIEI, HRIKI), deren Grundwasserstände Schwankungen unterworfen waren, und der Fläche IHEI, dessen Boden stark grundwasserbeeinflusst ist, in größere Tiefe vorgedrungen ist. So konnten im hessischen Ried erhöhte Werte bis in 60 cm Tiefe und im Boden der Fläche IHEI hohe Werte in 10-30 cm Tiefe gefunden werden. Eine Grundwassergefährdung kann für das mobilere Cd deshalb insbesondere für Standorte mit hohem Grundwasserstand nicht ausgeschlossen werden.

Eine Verlagerung von Pb atmosphärischen Ursprungs in die Tiefe wird im Mineralboden aller Flächen bis in 20 cm Tiefe, teilweise bis in 30 cm Tiefe deutlich. In diesen Tiefenstufen sind die Pb-Gehalte wesentlich höher als im Unterboden. Und auch der I_{geo} -Wert zeigt für alle Flächen höhere Werte in 0-10 cm Tiefe als im Unterboden an. Da Pb demnach im Wesentlichen im Oberboden verbleibt, ist eine Gefährdung des Grundwassers durch Pb wenig wahrscheinlich.

Für Cu konnte auf der Hälfte der Flächen eine Verlagerung in den Mineralboden festgestellt werden, die mit Ausnahme der Flächen IHEI und KLDG nicht weiter als bis in 5 cm Tiefe vorgedrungen ist. Im Boden der Fläche IHEI ist wahrscheinlich der hohe, schwankende Grund-

wasserspiegel für die hohen Gehalte bis in 20 cm verantwortlich, im Boden der Fläche KLDG, deren Gehalte ebenfalls bis 20 cm erhöht sind, könnte die Ursache in der vergleichsweise hohen Schwermetallbelastung dieses Sandbodens liegen.

Die Zn-Gehalte sind nur auf 20 % der Flächen im Oberboden höher als im Unterboden. Im Boden von 3 Flächen sind höhere Werte bis in 5 cm Tiefe zu finden. Auf den Flächen IHEI und KLDG zeigen sich ähnliche Verhältnisse wie bei Cu, mit höheren Werten bis in 20 cm Tiefe. Auffällig ist auch die Fläche NEKI, die schon durch angestiegene Schwermetallgehalte auffiel (s. o.), und in deren Boden bis in 60 cm Tiefe höhere Zn-Gehalte gefunden werden konnten. Für Co, Cr und Ni konnten aufgrund des überwiegend geogenen Ursprungs dieser Elemente keine Verlagerungstendenzen festgestellt werden.

Wellbrock et al. (2016) fanden zwischen der BZE I (in den 1990er Jahren) und der BZE II (2006-2008) ebenfalls eine Abnahme der Cd-, Cu-, Cr-, Ni-, Pb- und Zn-Vorräte in der Humusauflage von Waldböden, die als Folge der Abnahme atmosphärischer Einträge von Schwermetallen interpretiert wurde (Utermann et al. 2019). Dabei fiel die Vorratsabnahme von Pb mit 59 % am höchsten aus, während die Vorräte aller anderen Schwermetalle zwischen 33 und 46 % zurückgegangen waren. In weniger mächtigen Humusformen (Mull, Moder) wurden höhere Abnahmen als in mächtigeren Auflagen (Rohhumus) gefunden, wo die Vorräte z. T. sogar noch zugenommen hatten (Wellbrock et al. 2016). Dass die Schwermetall-Vorräte in der organischen Auflage stärker als die Humusvorräte abgenommen haben, vermuten Utermann et al. (2019) in einer Verlagerung in den Mineralboden hin, wodurch es zu einer Abnahme in der Humusauflage gekommen ist. Eine Kalkung kann diesen Effekt verstärken, da es danach häufig zu einem Humusvorratsabbau kommt (Grünwald et al. 2019). Im Boden der 1982 mit 30 t/ha Dolomit gekalkten Fläche SLBK konnten – mit Ausnahme von Cd – im Jahre 2020 niedrigere Schwermetallvorräte in der Humusauflage und wesentlich höhere Vorräte aller Schwermetalle im Oberboden im Vergleich zur benachbarten unbehandelten Fläche SLB1 gefunden werden, die mit einem Humusvorratsabbau einher ging. Bemerkenswert ist auch, dass zwischen 2010 und 2020 die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusauflage Fläche SLBK signifikant zugenommen haben, wofür es keine Erklärung gibt. Eine Verlagerung in den Mineralboden konnte von Wellbrock et al. (2016) für Pb, Cu und Zn beobachtet werden. Da für Cd und Cr sowohl eine Abnahme der Vorräte in der Humusauflage, als auch im oberen Mineralboden festgestellt wurde, schlossen sie auf eine Verlagerung in größere Tiefen. Für die Ni-Vorräte stellten sie keine Veränderung fest. Für Cd, Cr und Pb waren die Veränderungen im Mineralboden hochsignifikant (Wellbrock et al. 2016). Die Vorratsabnahme von Pb, Cu und Zn in der Humusauflage fand sich zudem fast vollständig als Zunahme in 10 cm Tiefe wieder (Wellbrock et al. 2016), während der Cd-Vorrat in dieser Tiefe ebenfalls um 20 % zurückgegangen ist. Eine Gefährdung des Grundwassers schlossen sie deshalb für diese Schwermetalle mit Ausnahme des bei niedrigen pH-Werten mobileren Cd aus. Auch konnte Wellbrock et al. (2016) nachweisen, dass die Schwermetallvorräte zwar vom Auflagehumus in den Mineralboden verlagert werden, der Gesamtvorrat an Schwermetallen jedoch weitgehend unverändert blieb und das zwischen der BZE I und II sich keines der hier untersuchten Schwermetalle im Boden weiter angereichert hat.

10. Bodenmonitoring als Forschungsplattform – Beispiele aus der anwendungsbezogenen Forschung

Neben der Holzproduktion sind die wichtigsten Aufgaben einer multifunktionalen Forstwirtschaft die Erfüllung und Sicherung der zahlreichen Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes. Luftverunreinigungen haben in der Vergangenheit durch primäre und sekundäre Schadwirkungen zu erheblichen Waldschäden geführt und Auswirkungen auf forstliche Dienstleistungen gehabt. Demzufolge ist ein Ziel des forstlichen Bodenmonitorings den aktuellen Bodenzustand zu erfassen, Veränderungen zu verfolgen und zu dokumentieren und mit Hilfe von Modellen zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für Managemententscheidungen und zur Erfolgskontrolle von vollzogenen Gegenmaßnahmen. Daher ist es notwendig, den Boden im Zusammenspiel mit Nutzungen, Stoffeinträgen und -austrägen zu betrachten. Entsprechend sind die in diesem Band zusammengetragenen Daten in der Vergangenheit in zahlreiche Studien und Veröffentlichungen eingegangen. Das besondere an Bodeninventuren ist, dass sie insbesondere mit steigender Anzahl von Wiederholungen und anwachsendem Untersuchungszeitraum kontinuierlich ihren Wert steigern (Mobley et al. 2019). Die folgenden Beschreibungen geben einen ersten Einblick in die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von Bodendaten, die sich aus der Verknüpfung von Bodeninformationen mit Daten zu atmosphärischen Stoffeinträgen, waldbaulichen Handlungsoptionen, zum Kohlenstoffkreislauf, der Gewässerqualität und zu Landnutzungsänderungen ergeben.

Die Deposition von Säuren und Säurebildnern sowie eine dadurch entstandene **Bodenversauerung** sind seit vielen Jahrzehnten Gegenstand von zahlreichen Forschungsaktivitäten. Bodeninventuren haben hier einen wertvollen Beitrag dazu geleistet, die im Boden auftretenden Entwicklungen von Indikatoren der Bodenversauerung zu dokumentieren. Ahrends et al. (2022a) untersuchten die Auswirkungen der Baumarten und von Bodenschutzkalkungen auf den Versauerungsstatus und dessen Dynamik in Niedersächsischen Waldböden. Die Entwicklung der Basensättigung in Nordwestdeutschland im obersten Mineralboden (0-30 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein wurde bei Meesenburg et al. (2019) dargestellt. In Müller et al. (2016) wurde die zeitliche Entwicklung von Tiefenprofilen der Basensättigung in der Langen Bramke (Harz) beschrieben und in Meesenburg et al. (1999 u. 2016) die Veränderungen von Elementvorräten im Boden eines Fichten- und Buchenökosystems im Solling untersucht. König et al. (2017) betrachteten die Entwicklung der Basensättigung, der pH-Werte und der Elementvorräte in gekalkten und ungekalkten Böden von 47 Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland. Neben einer statistischen Auswertung der Wiederholungsinventuren im Hinblick auf Veränderungen der Gehalte oder Vorräte von Stoffen sind die Inventuren eine elementare Datengrundlage, um bodenchemische Simulationsmodelle zu kalibrieren und zu validieren. Mit Hilfe entsprechender Modelle konnten in der Vergangenheit für Standorte des Bodenmonitorings Modellrechnungen durchgeführt werden, um mögliche waldbauliche, emissionsbezogene und klimatische Szenarien hinsichtlich ihrer Auswirkungen und Effizienz beurteilen zu können (Ahrends et al. 2008, Ahner

et al. 2013, Bonten et al. 2011, 2016, Groenberg et al. 1995, Holmberg et al. 2018, Jönsson et al. 1995, Meesenburg 2005, Rademacher et al. 2001, de Vries et al. 1995).

Da die atmosphärischen Schwefeleinträge in den letzten Jahrzehnten durch vielfältige Maßnahmen der Luftreinhaltung drastisch reduziert werden konnten (Ahrends et al. 2022a), sind die atmosphärischen N-Einträge mittlerweile neben dem Klimawandel zu einer der Hauptgefährdungen für die Funktionalität und Stabilität der Waldökosysteme geworden (Andreae et al. 2016). Entsprechend konnten Daten des Bodenmonitorings wichtige Informationen für ein verbessertes Verständnis des **Stickstoffkreislaufes** und sich hieraus ergebener Beeinträchtigungen für Wasserdienstleistungen liefern (Ahrends et al. 2010, Borken und Matzner 2004, Brumme et al. 2021, Fleck et al. 2019). Einen direkten Bezug des Bodenzustands (C/N-Verhältnisse im Oberboden) auf das Waldwachstum zeigten z. B. die Untersuchungen von Laubhann et al. (2009). Aber auch zu Veränderungen der Bodenvegetation haben Dynamiken von Bodeneigenschaften einen direkten Bezug. Förster et al. (2017) konnten für die Buchen-Dauerbeobachtungsfläche im Solling zeigen, dass ein signifikanter Anstieg der N-Vorräte im Auflagehumus von 0,9 auf 2,0 t ha⁻¹ zwischen 1966 bis in die 1990er Jahre mit einem Anstieg der Stickstoffzeigerwerte nach Ellenberg verbunden ist.

Da Waldböden im terrestrischen Bereich die größten **Kohlenstoffspeicher** und somit auch die größte Senke sind, sind ihre aktuelle und zukünftige dynamische Entwicklung von enormer Bedeutung. Auch hier können Wiederholungsinventuren der Kohlenstoffvorräte wichtige Informationen liefern und in Verbindungen mit weiteren Messungen auf Intensiv-Monitoring-Flächen einen wertvollen Baustein zum Prozessverständnis bereitstellen. Der Vergleich der C-Gehalte im Boden von drei Buchenaltbeständen zeigt z. B., dass sich die drei Standorte in der Gesamtmenge und in der Tiefenverteilung deutlich unterscheiden. Diese Differenzierung wird durch die Bodenfauna, den Tongehalt und den Aluminiumgehalt im Boden hervorgerufen (Meiwes et al. 2009). Hinsichtlich einer Entwicklung der Vorräte an organischem Kohlenstoff zeigen die Auswertungen von Fortmann et al. (2012), dass es auf den mit Nadelwäldern bestockten Standorten häufiger zu einer Zunahme der Corg-Vorräte gekommen ist.

Hinsichtlich von Fragestellungen des Nährstoffmanagements kommt der **Nährstoffbilanzierung** eine entscheidende Bedeutung zu (Ahrends et al. 2022b). Hier finden Bodendaten vorwiegend Verwendung als Eingangsdaten für Modelle zur Abschätzung von nicht messtechnisch erfassten Größen der Stoffbilanz, wie Verwitterungsraten oder Sickerwasserflüssen (Ahrends et al. 2021b, Klinck et al. 2012, Manderscheid et al. 1995). Darüber hinaus bilden die verfügbaren Bodendaten in Kombination mit Datenkollektiven aus anderen Studien oder Monitoringnetzen eine wichtige Grundlage zur Entwicklung und Überprüfung von Schätzfunktionen für Kenngrößen des Wasser- und Stoffhaushaltes von Waldökosystemen (Klinck und Ahrends 2018, Tarrah et al. 2000, Von Wilpert et al. 2016, Fleck et al. 2019).

Schwermetalle in Wäldern entstammen entweder den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung (geogen) oder werden atmosphärisch eingetragen. Der Eintrag durch die Luft wird sehr stark durch die Nähe viel befahrener Straßen, Müllverbrennungsanlagen und Industriebetrieben beeinflusst. Entsprechend sind die Belastungen der Wälder regional und lokal sehr

unterschiedlich. Die Auswertung der Schwermetallinventuren von Fortmann et al. (2012) und König et al. (2016) zeigt, dass in Niedersachsen die Mittelgebirgsstandorte durch deutlich höhere Schwermetallgehalte gekennzeichnet sind. Insbesondere im Harz resultieren diese Belastungen aus früheren Bergbauaktivitäten. Internationale Verpflichtungen zur Reduzierung der Schwermetallemissionen konzentrieren sich auf besonders schädliche Metalle wie Cadmium, Blei und Quecksilber. Für diese drei Metalle muss Deutschland seine Emissionen unter das Niveau von 1990 reduzieren. Insbesondere die Einträge von Blei und Cadmium sind in Deutschland durch das Benzinbleigesetz (1971) und das Bundes-Immissionsschutzgesetz (1974) schon drastisch reduziert worden. Eine Reaktion hierauf ist an abnehmenden Blei- und Cadmium-Gehalten in den Humusaufgaben von niedersächsischen Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) (Fortmann und Meesenburg 2021, König et al. 2016) zu erkennen.

11. Ergebnisse der Bodeninventuren aller Monitoringflächen

Für jede Fläche werden die Ergebnisse der Auswertungen in gleicher Weise in Grafiken, Tabellen und Texten dargestellt.

11.1 Erstellung der Grafiken

Die Erstellung der Grafiken wurden mit Hilfe der Statistiksoftware R (R Core Team 2020, version 3.6.2 (2019-12-12) – „Dark and Stormy Night“) unter zusätzlicher Verwendung der R Zusatzpakete plyr (Wickham 2011) und viridis (Garnier 2018) durchgeführt. Aus dem Paket viridis wurde die Farbpalette Plasma für die Tiefenverläufe (6., 9., 12. rechte Grafiken) verwendet. Die Farben dieser Palette werden von Menschen gleich intensiv wahrgenommen, sind für den Schwarz-Weiß-Druck geeignet und können von Menschen mit unterschiedlichen Formen von Farbenblindheit unterschieden werden. Die Grafiken 4., 7., 10., 12. (linke Grafiken) wurden mit der R-Farbpalette: `cbbPalette <- c(„#000000“ (schwarz, „#E69F00“ (hellbraun), „#56B4E9“ (hellblau), „#0072B2“ (blau) erstellt.`

Für die grafische Zusammenfassung einzelner Beobachtungseinheiten wurden ausschließlich arithmetische Mittelwerte (4.) oder Medianwerte (6., 7., 9., 10., 12. (rechte Grafik)) berechnet.

In Grafiken, in denen Summen dargestellt werden, sind nur die Datensätze vollständig beprobter Profile dargestellt (7., 10.), während in Grafiken mit Tiefenverläufen (6., 9., 12.) auch Daten von Profilen, bei denen nur Teilbereiche beprobt wurden, enthalten sind.

11.2 Beschreibung der Tabellen und Grafiken

Im Folgenden werden die verwendeten Tabellen und Grafiken beschrieben.

11.2.1 Allgemeine Informationen über die Versuchsfläche

Alle Basisinformationen für die jeweilige Versuchsfläche sind in einer Tabelle mit dem folgenden Aufbau zusammengefasst:

Solling Fichte (SLF1)

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Dassel 28j1		Niedersachsen		
Wuchsgebiet		UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition	
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland		540000		
Wuchsbezirk		UTM N		
Hoher Solling		5735000	504/0-1/O	
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
BDF-F 7 (Intensiv), Level II Core plot 305				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1968 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1995, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1995, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1995-2001, alle ±10 Jahre				
weitere Untersuchungen				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Bodenrespiration, Ozon (passiv)				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-20 %, mäßig skeletthaltig	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
feinhumusreicher rohhumusartiger Moder (MRR)	Braunerde, podsolig		Albic Endoprotostagnic Podzol (Pantoloamic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
19.3.3.5 s	betont frisch, schwach mesotroph		147	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5	-			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m ³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
140	6,0/2,1		schwache Niederdurchforstung	
sonstiges: -				

11.2.2 Profilbeschreibungen (nach KA5):

Die Bodenprofilbeschreibungen wurden nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (Skelettanteil [%], Textur, Lagerungsdichte, Humus- und Carbonatgehalt) durchgeführt. Die nutzbare Feldkapazität [mm] wurde für den Mineralboden bis in 100 cm Tiefe mit Humusaufgabe, und den Mineralboden von 0-100 cm berechnet (Bug J. et al. 2020, Geoberichte 19, S. 105-112).

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-3 - -2.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	0.9
Of	-2.5 - -1.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	2.2
Oh	-1.5 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	3.9
Aeh	0 - 7	10	Uls	h2	Ld3	c0	12.6
Bv	7 - 30	10	Uls	h0	Ld3	c0	37.3
Cv-Bv	30 - 57	30	Uls	h0	Ld3	c0	34.0
IIbV-Cv	57 - 77	70	Su3	h0	Ld3	c0	7.8
IIcV	77 - 100	95	Su3	h0	Ld4	c0	1.4
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							93.1
Σ bis 100 cm incl. Humusaufgabe							100.1

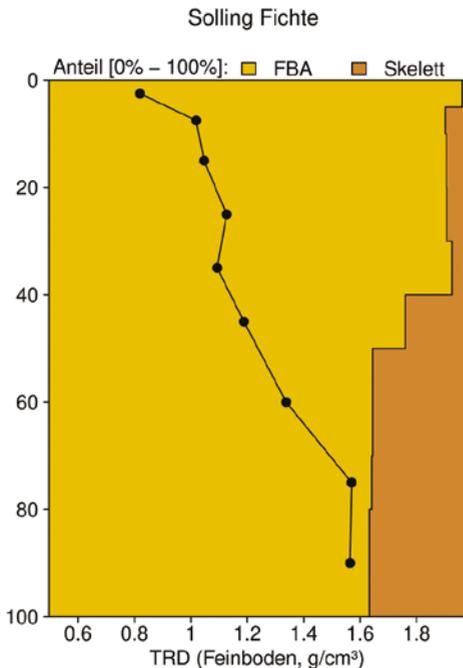
Name des Kartierers 26.4.2018

11.2.3 Profelfoto



11.2.4 Grob- und Feinbodenanteil, sowie Trockenraumdichte des Feinbodens

Die Grafik stellt den Skelett- und Feinbodenanteil als Balkendiagramm und die Trockenraumdichte des Feinbodens in Abhängigkeit von der Tiefe als Linie dar.



11.2.5 Bodenanalytik mit Bewertung nach Forstlicher Standortaufnahme (2016)

Dargestellt sind die Messwerte der letzten Bodeninventur: Basensättigung (BS), Austauschkapazität (AK), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), organischer Kohlenstoff (Corg), Gesamt-Stickstoff (Nges), Phosphor (P), Schwefel (S), das Corg zu Nges-Verhältnis (C/N), und die pH-Werte in Wasser (pHH₂O) und in 0,01 M CaCl₂-Lösung (pHCaCl₂) je Tiefenstufe. Für die Werte BS, C/N-Verhältnis und pHH₂O gibt es einen Bewertungsrahmen in der Forstlichen Standortaufnahme (7. Auflage 2016) nach dem die Werte farblich gekennzeichnet wurden. Die Messwerte der Parameter AK, Ca, Mg, K, Nges, Corg, P und S wurden über das ganze Profil (Humusaufgabe, 0-100 cm Tiefe summiert. Die Summe dieser Größen ist für die Einschätzung der Ernährungssituation sinnvoll und kann ebenfalls nach den Kriterien der Forstlichen Standortaufnahme, mit Ausnahme von P und S, klassifiziert werden.

Die Tabellen enthalten ausschließlich Datensätze die mit folgenden Analysemethoden ermittelt wurden:

- BS + AK: effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei $\text{pHH}_2\text{O} > 6,2$.
- Ca, Mg, K: Humusaufgabe: Königswasser-Extrakt der gemahlene Probe, Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei $\text{pHH}_2\text{O} > 6,2$.
- P, S: Humusaufgabe: Königswasser-Extrakt der gemahlene Probe, Mineralboden: Königswasser-Extrakt der 2 mm gesiebten Probe.
- Corg, Nges: Elementaranalyse, Corg = Cges bei $\text{pHH}_2\text{O} > 6,2$, Corg = Cges – Canorg bei $\text{pHH}_2\text{O} \leq 6,2$
- pHH_2O , pHCaCl_2 : Bestimmung nach DIN ISO 10390

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	77,8	11,4	13,8	6,4	0,19	33,9	7,8	15,2	4,99	4,35
Of	-	-	139	24,8	27,7	14,6	0,58	25,2	22,3	58,1	4,34	3,58
Oh	-	-	275	73,8	49,4	21,0	0,85	24,8	34,3	101	4,19	3,46
0 - 5	46,4	19,8	114	26,1	23,4	12,8	0,55	23,1	36,1	61,6	4,40	3,44
5 - 10	30,8	16,4	57,3	18,0	12,0	5,3	0,24	21,9	28,0	35,6	4,46	3,63
10 - 20	21,4	37,4	79,8	30,4	23,9	9,3	0,40	23,6	73,3	70,2	4,76	3,95
20 - 30	18,5	34,7	44,8	29,5	26,8	4,9	0,21	23,4	84,5	40,7	4,95	4,10
30 - 50	18,4	103	97,0	102	86,7	6,9	0,23	30,0	282	67,8	4,98	4,08
50 - 70	16,9	101	99,2	87,3	93,8	4,2	0,26	16,4	371	58,3	4,99	4,04
70 - 100	26,7	128	336	129	136	4,0	0,26	15,4	549	83,8	5,06	4,08
100 - 150	47,3							15,7			5,28	4,19
150 - 200	62,3							30,3			5,50	4,29
Σ L-100cm		441	1319	532	493	89,5	3,8		1489	592		

BS, AK, Ca, Mg, K

sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
-------------	--------	-------	--------	------------	------	-----------

Corg, Nges

sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
-------------	--------	--------	------	-----------

Pufferbereiche

Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat
----	-------	----	-------------	---------	----------

C/N-Verhältnis

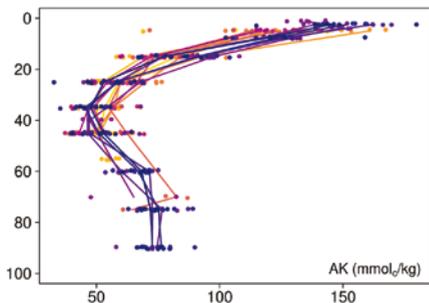
sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng
-----------	------	------------	--------	-----------	-----	----------

11.2.6 Tiefenverläufe ausgewählter Parameter zum Säure-Base-Status und seiner Dynamik

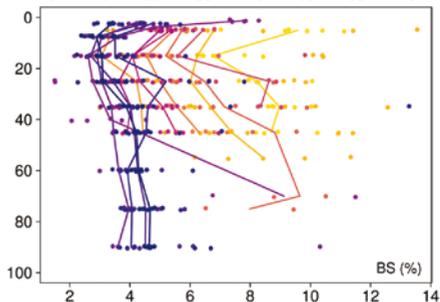
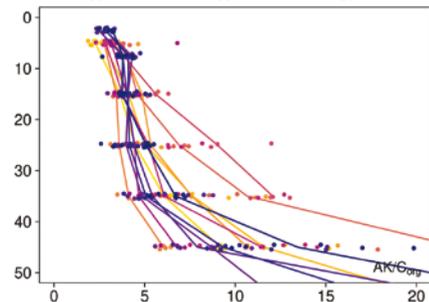
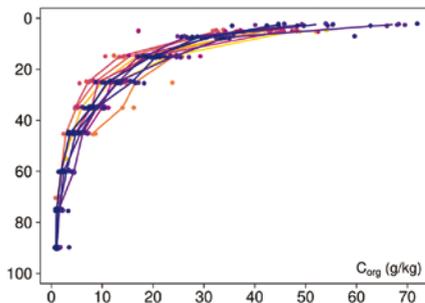
Tiefenverläufe für die Parameter Austauschkapazität (AK, [mmol_c/kg]), Corg [g/kg], AK/Corg, Basensättigung (BS [%]), Al austauschbar [mmol_c/kg], Ca austauschbar [mmol_c/kg], pH in H₂O und pH in 0,01 M CaCl₂.

Dargestellt sind die Mediane der Messwerte als Linie für die einzelnen Jahre und jeder einzelne Messwert als Punkt in Abhängigkeit von der Tiefe. Datensätze mit ≤2 Wiederholungen werden als gestrichelte Linien dargestellt. Der Farbverlauf reicht von gelb (älteste Erhebung) bis blau (jüngste Erhebung).

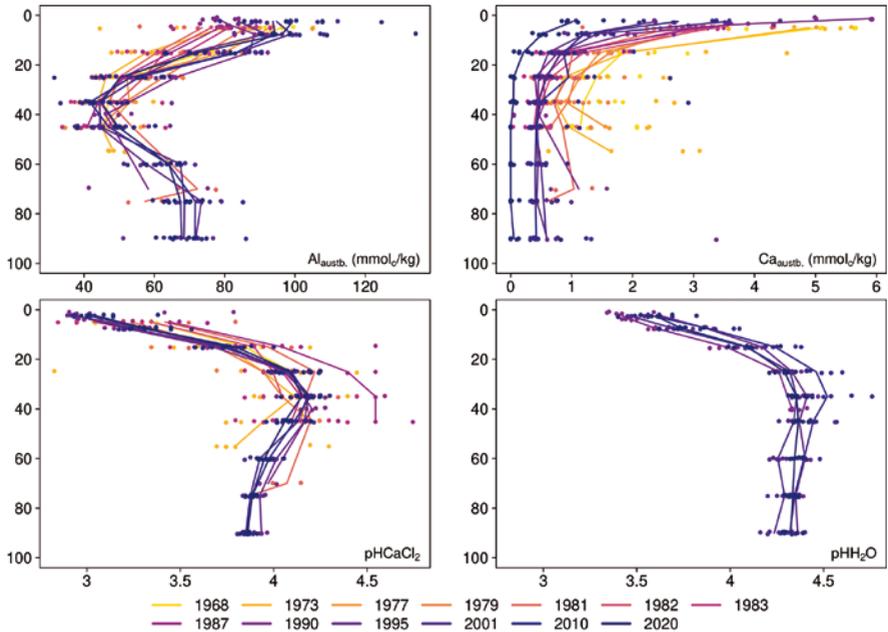
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Solling Fichte

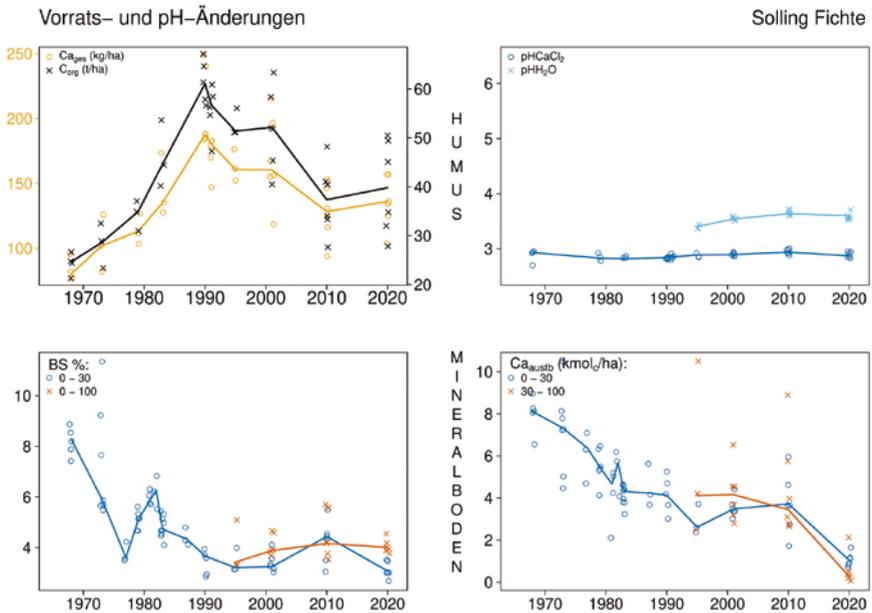


- Oben links: Median- und Einzelwerte der Austauschkapazität (AK) [mmol_c/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > 6,2$). Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Oben rechts: Median- und Einzelwerte der Corg-Gehalte im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten links: Median- und Einzelwerte des AK zu Corg-Verhältnisses jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden. Die x-Achse ist auf 0-50 cm, die y-Achse auf 0-20 fest skaliert.
- Unten rechts: Median- und Einzelwerte der Basensättigung [%] jedes Inventurjahres (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > 6,2$). Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.



- Oben links: Median- und Einzelwerte des austauschbaren Aluminiums (Al) [mmol_c/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei pH_{H₂O} > 6,2). Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Oben rechts: Median- und Einzelwerte des austauschbaren Calciums (Ca) [mmol_c/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei pH_{H₂O} > 6,2). Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten links: Median- und Einzelwerte des pH-Wertes in 0,01 M CaCl₂-Lösung jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten rechts: Median- und Einzelwerte des pH-Wertes in H₂O jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.

11.2.7 Zeitliche Veränderungen der Ca- und Corg-Vorräte, sowie der pH-Werte im Humus, und der Basensättigung und des austauschbaren Ca im Mineralboden



- Oben links: Median- und Einzelwerte der Ca- [kg/ha] und Corg-Vorräte [t/ha] in der gesamten Humusauflage je Inventurjahr. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden (Corg: Farbe = schwarz, Ca: Farbe = hellbraun). Bei den Ca-Werten handelt es sich um Königswasser-Extrakt-Gehalte oder um im Salpetersäure-Druckaufschluss gemessene Werte.
- Oben rechts: Median- und Einzelwerte des pH-Wertes in H₂O- und in 0,01 M CaCl₂ in der gesamten Humusauflage je Inventurjahr. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden (pHH₂O: Farbe = blau, pHCaCl₂: Farbe = hellblau). Bei den Messwerten handelt es sich um Messungen nach der DIN ISO 10390, oder durch mit Faktoren umgerechnete Messwerte der NWFVA-Methode (s. Handbuch Forstliche Analytik (HFA) 2022)
- Unten links: Median- und Einzelwerte der Basensättigung [%] jedes Inventurjahres (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei pHH₂O > 6,2) in den Tiefenstufen 0-30 cm Tiefe und 0-100 cm Tiefe. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden (Farbe 0-30 cm = blau, Farbe 0-100 cm = braun).
- Unten rechts: Median- und Einzelwerte des austauschbaren Ca-Vorrats [kmol_c/ha] in 0-30 cm Tiefe und 30-100 cm Tiefe je Inventurjahr (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei pHH₂O > 6,2). Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden (Farbe 0-30 cm = blau, Farbe 30-100 cm = braun).

11.2.8 Königswasser-Extrakt-Gehalte und -Variationskoeffizienten

Messwerte (Hauptelemente und Schwermetalle) im Königswasser-Extrakt der gesiebten Bodenprobe der jeweils letzten Bodeninventur. Von den Messwerten aller Versuchsflächen wurde für jeden Parameter das 25. Quartil, der Median und das 75. Quartil berechnet. Die Messwerte wurden in die vier Klassen <25. Quartil, 25.Quartil – Median, Median - 75.Quartil und >75.Quartil eingeteilt und entsprechend farblich markiert.

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	1,82	0,24	2,55	0,25	0,18	0,07	0,16	0,18	0,022	0,44	4,80	2,67	1,55	16,92	7,57
5	10	1,92	0,13	2,48	0,22	0,18	0,06	0,12	0,07	0,012	0,46	3,27	1,89	1,25	15,52	5,70
10	20	1,99	0,12	2,54	0,22	0,19	0,08	0,11	0,05	0,011	0,50	2,80	1,58	1,14	14,02	5,32
20	30	2,68	0,12	3,11	0,24	0,23	0,19	0,11	0,04	0,018	1,00	3,39	1,71	1,54	12,09	6,91
30	40	3,99	0,15	3,99	0,32	0,32	0,27	0,12	0,05	0,025	1,44	4,47	2,08	2,52	8,10	9,69
40	50	5,00	0,26	4,63	0,41	0,43	0,29	0,12	0,05	0,027	1,66	5,20	2,17	3,45	5,99	12,75
50	70	5,96	0,19	5,28	0,48	0,56	0,24	0,10	0,04	0,028	1,89	6,25	2,38	4,85	4,73	14,85
70	80	6,27	0,18	5,29	0,57	0,61	0,16	0,08	0,03	0,027	1,90	6,35	2,56	5,78	4,48	14,45
80	100	6,31	0,21	5,47	0,64	0,67	0,12	0,08	0,03	0,027	2,03	6,55	2,84	5,92	4,42	13,64
100	150	4,39	0,19	5,05	0,62	0,59	0,10	0,07	0,02	0,029	1,85	5,76	2,79	4,62	4,20	11,00
150	200	3,96	0,13	3,99	0,50	0,45	0,09	0,06	0,01	0,024	1,58	4,58	2,17	3,55	3,29	8,41

bis 25%-Quartil
 25%-Quartil - Med.
 Med. - 75 %-Quartil
 75 %-Quartil - Max.

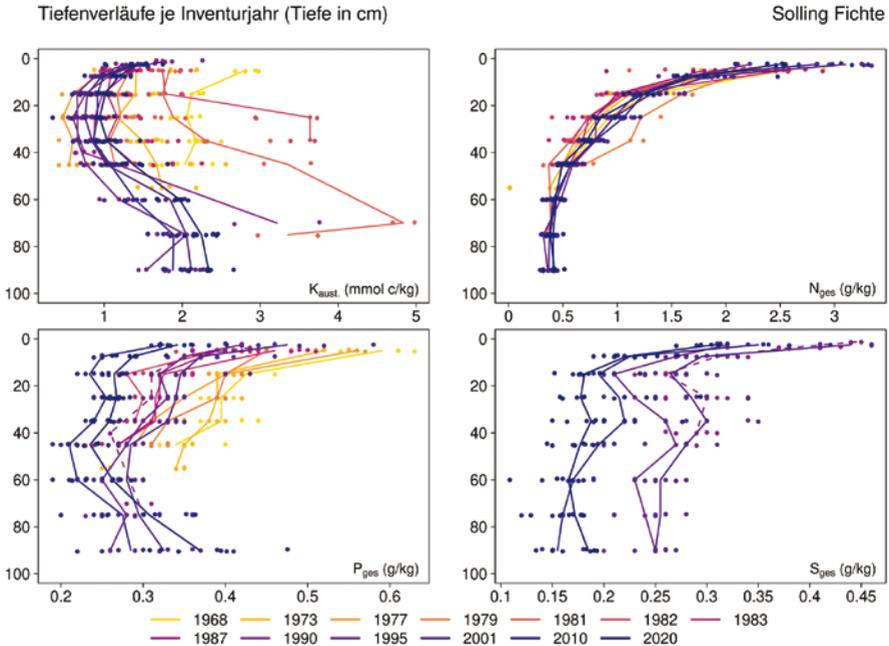
Von den Messwerten der Wiederholungsproben (i. d. R. 6) wurden die Variationskoeffizienten berechnet, die Daten in die drei Kategorien 0-20 %, 20-50 % und >50 % eingeteilt und farblich markiert.

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	47	65	49	32	50	126	36	29	50	45	90	23	35	42	35
5	10	53	50	49	34	51	79	32	29	44	51	53	23	43	30	38
10	20	46	46	40	30	43	43	18	21	38	47	38	27	40	13	42
20	30	37	30	30	28	36	58	14	17	33	46	32	23	37	8	37
30	40	37	24	29	38	39	22	15	14	25	23	32	19	38	25	29
40	50	28	65	19	34	28	32	20	25	10	8	25	18	32	26	16
50	70	28	20	24	36	33	34	20	22	13	13	28	22	26	18	15
70	80	26	27	24	30	30	20	17	22	17	17	27	25	22	24	17
80	100	25	43	23	23	31	21	25	33	23	25	19	27	20	24	24
100	150	49	66	26	24	35	37	24	30	46	27	21	33	24	27	30
150	200	27	34	25	23	37	45	26	28	37	34	21	35	30	25	33

0-20 %
 20-50 %
 >50 %

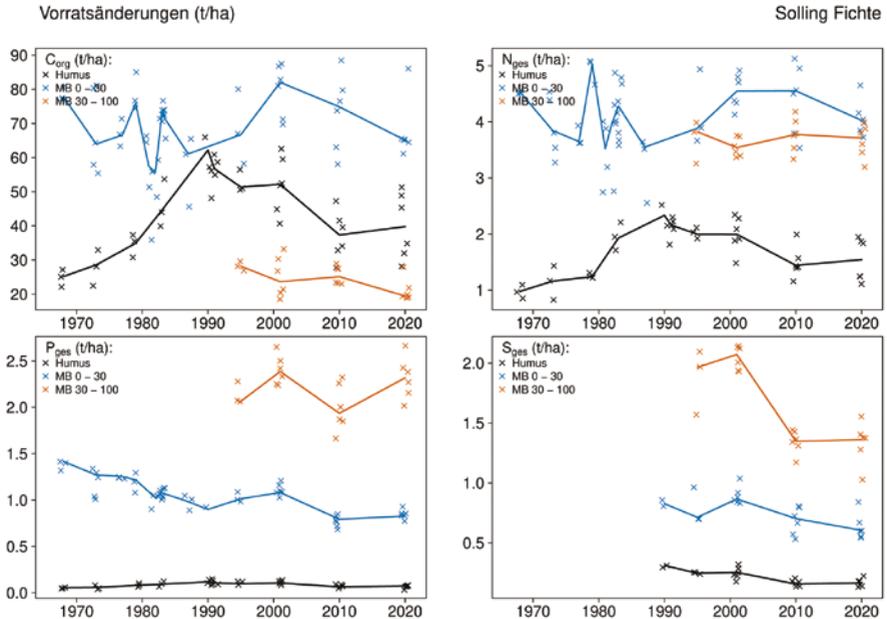
11.2.9 Tiefenverläufe ausgewählter Parameter zum Nährstoffstatus

Dargestellt sind die Mediane der Messwerte als Linie für die einzelnen Jahre und jeder einzelne Messwert als Punkt in Abhängigkeit von der Tiefe. Die Abfolge der Probenahmejahre wird durch Anwendung der R-Farbskala Plasma verdeutlicht. Datensätze mit ≤ 2 Wiederholungen werden als gestrichelte Linien dargestellt. Der Farbverlauf reicht von gelb (älteste Erhebung) bis blau (jüngste Erhebung).



- Oben links: Median- und Einzelwerte des austauschbaren Kaliums (K) [mmol_c/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres (effektive Kationenaustauschkapazität oder potenzielle Kationenaustauschkapazität bei pH_{H₂O} > 6,2). Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Oben rechts: Median- und Einzelwerte des Gesamt-Stickstoff-Gehalts (N_{ges}) [g/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten links: Median- und Einzelwerte des Gesamt-Phosphor-Gehalts (P_{ges}) [g/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten rechts: Median- und Einzelwerte des Gesamt-Schwefel-Gehalts (S_{ges}) [g/kg] im Mineralboden bis in 100 cm Tiefe jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.

11.2.10 Zeitliche Veränderungen der Corg-, Nges-, Pges- und Sges-Vorräte im Humus und im Mineralboden



- Oben links: Medianwerte- und Einzelwerte der Corg-Vorräte [t/ha] in der gesamten Humusauflage (Farbe = schwarz), in 0-30 cm Tiefe (Farbe 0-30 cm = blau) und in 30-100 cm Tiefe (Farbe 30-100 cm = braun) jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Oben rechts: Medianwerte- und Einzelwerte der Nges-Vorräte [t/ha] in der gesamten Humusauflage (Farbe = schwarz), in 0-30 cm Tiefe (Farbe 0-30 cm = blau) und in 30-100 cm Tiefe (Farbe 30-100 cm = braun) jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten links: Medianwerte- und Einzelwerte der Pges-Vorräte [t/ha] in der gesamten Humusauflage (Farbe = schwarz), in 0-30 cm Tiefe (Farbe 0-30 cm = blau) und in 30-100 cm Tiefe (Farbe 30-100 cm = braun) jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.
- Unten rechts: Medianwerte- und Einzelwerte der Sges-Vorräte [t/ha] in der gesamten Humusauflage (Farbe = schwarz), in 0-30 cm Tiefe (Farbe 0-30 cm = blau) und in 30-100 cm Tiefe (Farbe 30-100 cm = braun) jedes Inventurjahres. Die Medianwerte sind durch Linien von Punkt zu Punkt verbunden.

11.2.11 Schwermetallgehalte und ihre Bewertung

Dargestellt sind die Schwermetall-Messwerte im Königswasser-Extrakt der gesiebten Bodenproben der letzten Bodeninventur. Die Messwerte wurden gelb unterlegt wenn der Messwert höher als der halbe Vorsorgewert der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) ist und rot bei Überschreitung dieses Grenzwertes. Es wurden jeweils die Grenzwerte der vorliegenden Bodenart (Sand, Schluff, Ton) zu Grunde gelegt.

von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,06	0,43	3,16	2,02	1,57	14,33	7,89
5	10	0,03	0,69	4,56	1,73	2,22	11,64	6,98
10	20	0,03	1,24	6,70	2,45	3,96	9,70	10,16
20	30	0,03	1,62	7,95	2,88	4,82	5,58	12,31
30	50	0,03	2,42	10,00	4,39	6,48	5,55	16,73
50	70	0,04	3,10	10,41	5,14	7,02	5,96	18,41
70	100	0,04	3,40	9,76	4,90	7,02	5,52	17,68
100	150	0,06	3,03	8,27	4,10	6,54	4,79	14,62
150	200	0,06	2,98	9,14	4,26	7,02	3,97	15,56
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

2017

> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

11.2.12 Tiefenverlauf der Schwermetallvorräte verschiedener Extraktionsmittel

In den Grafiken auf der linken Seite sind die Vorräte für die jeweils letzte Inventur abgebildet, die durch die Extraktion der Boden- und Humusproben mit Königswasser, oder der Bodenproben mit 0,1 M EDTA, oder der Bodenproben durch den Flusssäure-Gesamtaufschluss ermittelt wurden.

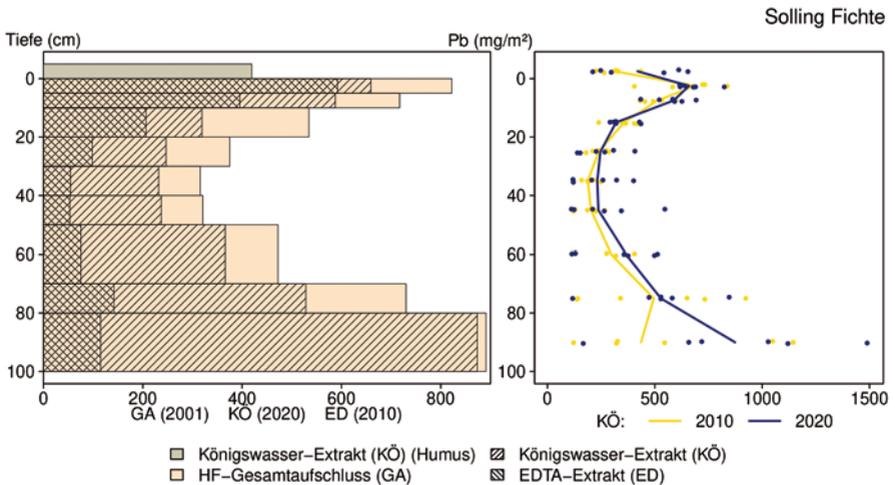
Mit dem EDTA-Extrakt werden die mittelfristig im Boden verfügbaren Schwermetallmengen erfasst. Hierbei handelt es sich um austauschbar gebundene, von natürlichen organischen Substanzen komplexierte, an Oxide (Fe, Mn, Al) gebundene oder an verschiedene Oberflächen adsorbierte Schwermetall-Fractionen.

Mit dem Königswasser-Extrakt werden organische Substanzen nahezu vollständig aufgeschlossen. Mineralische Substanzen werden je nach Art und Zusammensetzung teilweise ganz (z. B. leicht lösliche Oxide), teilweise jedoch unvollständig (z. B. Silikate) oder gar nicht (z. B. schwer lösliche Sulfide) aufgeschlossen. Elemente wie Cd, Co, Cu, Ni, Pb oder Zn werden aus Böden zu 60-100 % mit Königswasser extrahiert, während Elemente wie Cr nur zu 5-50 % in die Lösungsphase überführt werden.

Somit sollten die Gehalte im EDTA-Extrakt niedriger als im Königswasser-Extrakt, und die Gehalte im Königswasser-Extrakt niedriger als im Gesamtaufschluss sein, wenn die gleiche Probe analysiert wird. Aus der Legende unter den Grafiken geht hervor, dass die verschiedenen Verfahren in unterschiedlichen Jahren und damit an verschiedenen Proben angewandt

wurden. Deshalb sind z. B. die Messwerte der EDTA-Extrakte bei einigen Flächen höher als die des Königswasser-Extrakts, bzw. die Messwerte des Königswasser-Extraktes höher als die des Gesamtaufschlusses.

Beispiel Pb:



Linke Grafik: Pb, Cd, Cu, Zn, Co, Cr und Ni-Medianwerte in mg/m² für die gesamte Humusauf-lage im Königswasser-Extrakt und für jede Tiefenstufe des Mineralbodens. Dargestellt sind die Messwerte im HF-Gesamtaufschluss (GA) an der gemahlten Probe , im Kö-nigswasser-Extrakt an der gesiebten Probe (KÖ) , und im EDTA-Extrakt (ED) der gesiebten Probe als Balkendiagramm.

Rechte Grafik: Tiefenverläufe für die Parameter Pb, Cd, Cu, Zn, Co, Cr und Ni. Dargestellt sind die Mediane der Messwerte im Königswasser-Extrakt an der gesiebten Mineralboden-Probe oder an der gemahlten Humus-Probe (KÖ) als Linie und jeder einzelne Messwert in Ab-hängigkeit von der Tiefe für jedes Inventurjahr. Der Farbverlauf reicht von gelb (älteste Erhebung) bis blau (jüngste Erhebung).

12. Ergebnisse der einzelnen Flächen

12.1 Augustendorf Kiefer (AUKI)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Ahlhorn 1592j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Mittelwestniedersächsisches Tiefland		423300		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N	30/1/OSO	
Ems-Hase-Hunte Geest		5862600		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
schwach subatlantisch	811	789	361	359
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
schwach subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,7	9,8	14,8	15,8
Monitoringprogramme				
BDF-F 21 (Intensiv), Level II Core plot 307				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische und mikrobiologische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1994, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1994, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1994-2005, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, Ozon (passiv), Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Respiration, LAI				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviale Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		< 1 %, sehr skelettarm	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusreicher Moder (MOR)	Podsol (PP)		Albic Podzol (Pantoarenic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
42.2+.2.3	ziemlich frisch, schwach mesotroph		119	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5K	3 t/ha Peiner Forstkalk (37 % CaO, 10 % MgO, 3 % P ₂ O ₅) / 1985			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Kiefer	Sandbirke		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
78	11,8/1,2		starke Niederdurchforstung	
sonstiges: –				

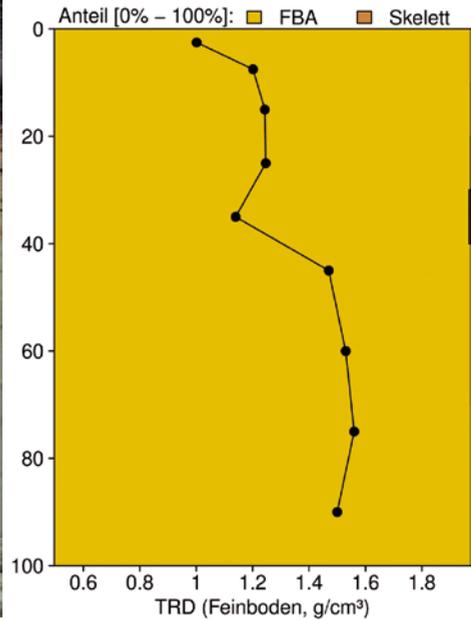
Profilbeschreibungen (nach KA5)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/Horizont
L	-9.5 - -8.5	0	Vn	h7	LdH	c0	1,8
Of	-8.5 - -0.5	0	Vn	h7	LdH	c0	17,6
Oh	-0.5 - 0	0	Vn	h7	LdH	c0	1,3
Aeh	0 - 12	0	Su2	h3	Ld3	c0	18,0
Aeh	12 - 23	0	Su2	h2	Ld3	c0	14,3
Bh	23 - 28	1	Su2	h4	Ld4	c0	8,9
Bhs	28 - 41	1	Su2	h1	Ld4	c0	12,9
Bbhv	41 - 110	0	Su2	h0	Ld3	c0	75,9
Cbv	110 - 170	0	Su2	h0	Ld3	c0	66,0
SglCv	170 - 210	0	Su3	h0	Ld3	c0	52,0
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							119,0
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							137,7

Melms 31.3.2014



Bodenphysikalische Kenngrößen



AUKI Bodenanalytik 2014

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	68,9	12,7	16,1	8,6	0,29	29,9	12,0	24,1	4,57	3,83
Of	-	-	111	18,3	22,2	20,1	0,86	23,3	26,5	93,5	3,75	3,06
Oh	-	-	81,7	15,0	18,1	15,1	0,60	25,2	21,3	73,6	3,47	2,85
0 - 5	21,4	27,6	78,2	9,0	17,0	18,1	0,66	27,4	49,4	84,4	3,86	3,00
5 - 10	14,3	35,4	50,3	6,0	17,4	17,1	0,58	29,3	47,5	70,8	3,87	3,02
10 - 20	12,1	59,4	76,2	7,7	23,9	33,6	1,03	32,7	83,2	135	3,92	3,08
20 - 30	9,5	75,3	68,6	6,8	21,1	40,4	1,26	32,0	140	168	3,96	3,23
30 - 40	8,3	50,7	33,2	4,6	15,6	21,1	0,70	30,3	104	108	4,06	3,44
40 - 50	7,7	56,8	34,9	3,5	17,0	22,6	0,76	29,8	138	126	4,30	3,79
50 - 70	9,6	77,8	52,7	4,1	29,7	29,1	1,05	27,6	245	160	4,53	4,08
70 - 80	9,9	18,1	10,6	1,3	11,0	5,3	0,19	27,8	96,8	36,9	4,76	4,35
80 - 100	13,1	23,8	18,2	2,2	20,9	4,7	0,19	24,9	94,4	38,8	4,80	4,44
100 - 150	15,9	63,7	47,9	9,8	78,6	6,1	0,28	22,1	192	74,4	4,96	4,41
150 - 200	26,2	620	60,2	16,0	114	4,9	0,28	17,3	219	91,5	4,81	4,24
Σ L-100cm		425	684	91,2	230	236	8,2		1057	1119		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2),
 ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Kiefernbestand in Augustendorf wurde auf einem schwach schluffigem Sandboden mit sehr geringem Skelettgehalt begründet. Aus dem nährstoffarmen Substrat hat sich ein Podsol entwickelt. Vermutlich aufgrund einer 1985 stattgefundenen Kalkung ist der Auflagehumus als Moder anstatt als Rohhumus anzusprechen.

Nährelementstatus

Die Auswirkungen der lange zurückliegenden Kalkung zeigen sich 1994 immer noch in geringem Maße in der Humusaufgabe und im oberen Mineralboden in 0-5 cm Tiefe. Hier sind die Calcium (Ca)-Gehalte deutlich höher als im restlichen Profil. In dieser Tiefenstufe ist auch die Variabilität der Ca-Gehalte wesentlich größer als in den anderen Tiefenstufen, was auf eine ungleichmäßige Ausbringung des Kalks zurückzuführen sein könnte. Zwischen 1994 und 2004 nahmen die Ca-Gehalte im Oberboden wieder auf ein ähnliches Niveau wie im Unterboden ab.

Der Stickstoff (N)-Vorrat liegt im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei weitem C/N-Verhältnis im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe. Die im Vergleich zu anderen nährstoffarmen Sandstandorten bessere Versorgung mit Stickstoff ist auf die Lage der Monitoringfläche in einer Region mit intensiver Landwirtschaft und dementsprechend hohen N-Emissionen zurückzuführen. Im Mineralboden nahmen die N-Vorräte zwischen 1994 und 2014 leicht ab.

Die Kalium (K)- und Magnesium (Mg)-Vorräte sind gering, der Ca-Vorrat mäßig. Für Phosphor (P) liegt er im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen.

Hinsichtlich der Bodenvorräte von K, Mg und P lassen sich zwischen 1994 und 2014 keine Veränderungen feststellen.

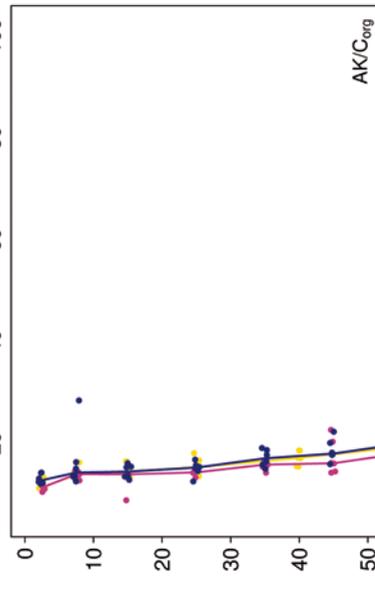
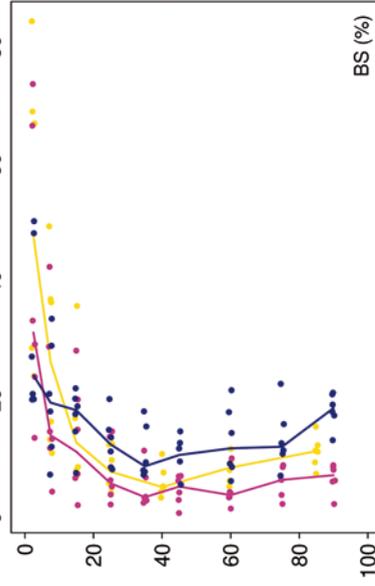
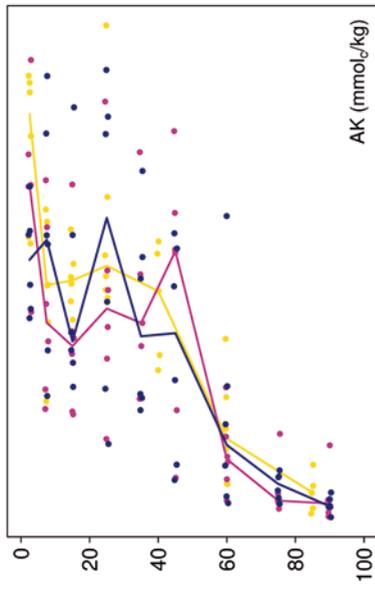
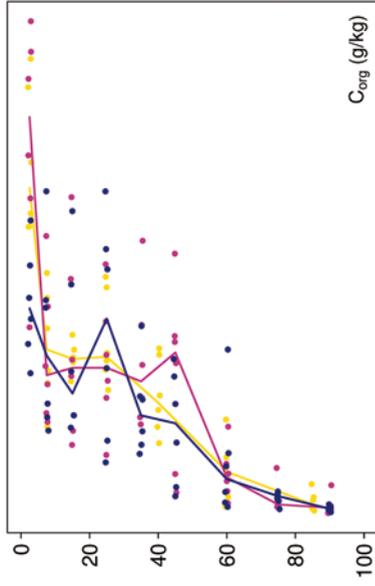
Der Schwefel (S)-Vorrat lag 2014 mit 1119 kg/ha im oberen Quartil. Zwischen 1994 und 2004 zeigt sich im Oberboden ein leichter, im Unterboden ein stärkerer Abwärtstrend durch die Mobilisierung von im Boden gespeichertem Schwefel.

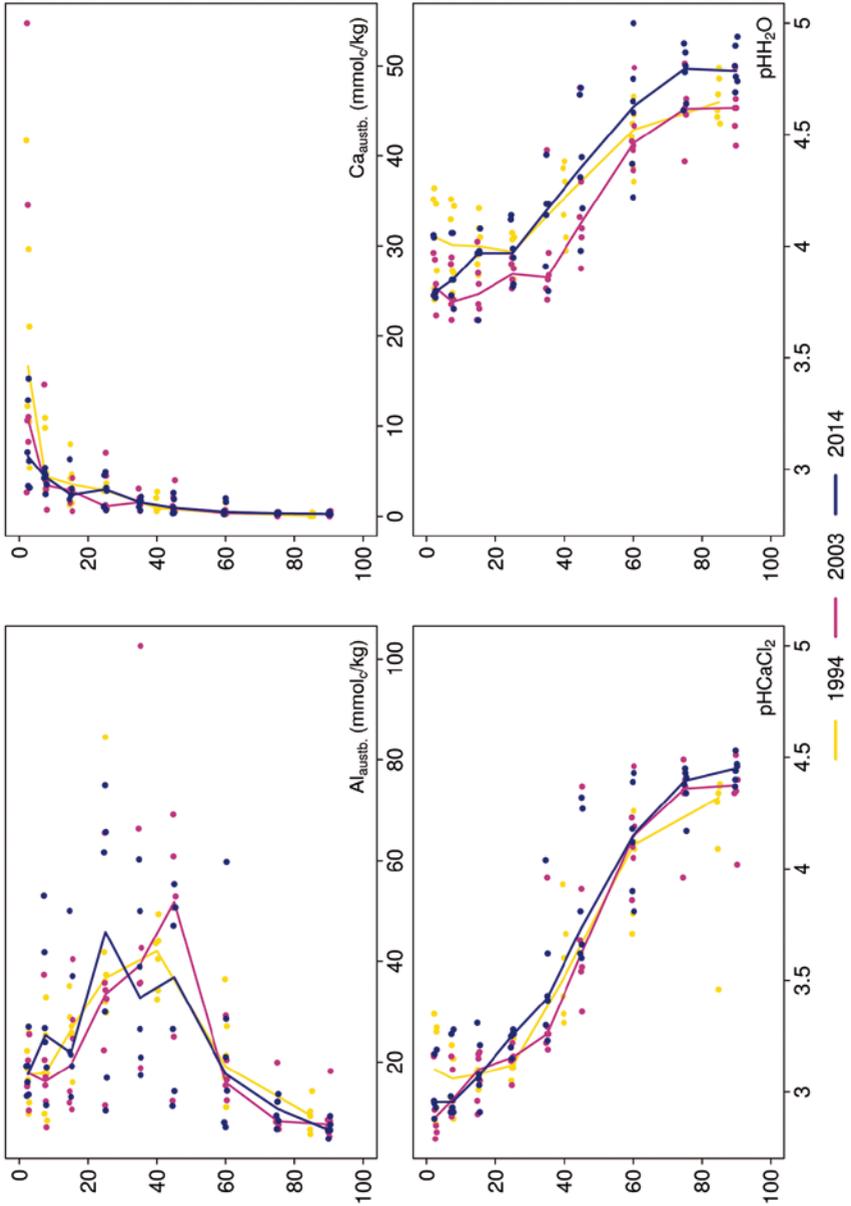
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 70 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Aus den Wiederholungsinventuren ergeben sich keine Anzeichen einer Veränderung. Im obersten Mineralboden (0–5 cm) deutet sich eine Wiederversauerung aufgrund einer nachlassenden Kalkungswirkung an.

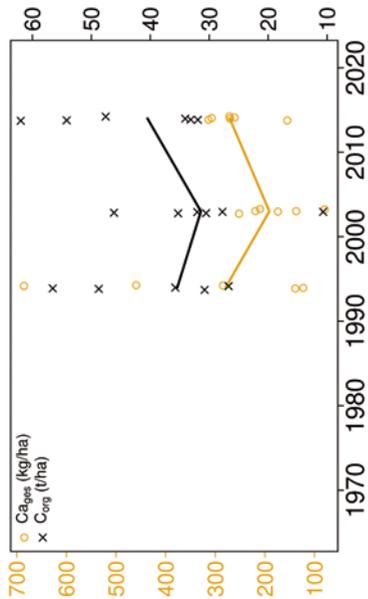
Augustendorf Kiefer

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

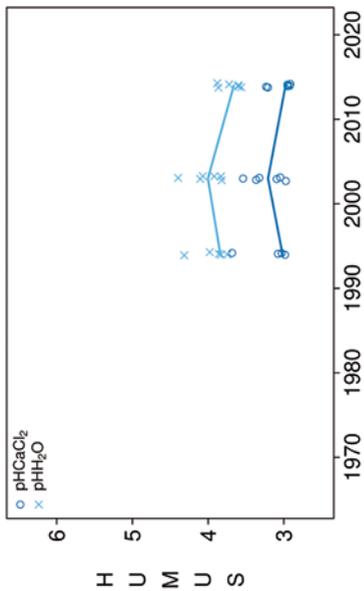




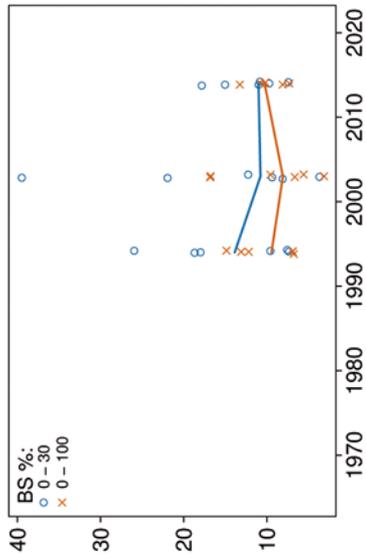
Vorrats- und pH-Änderungen



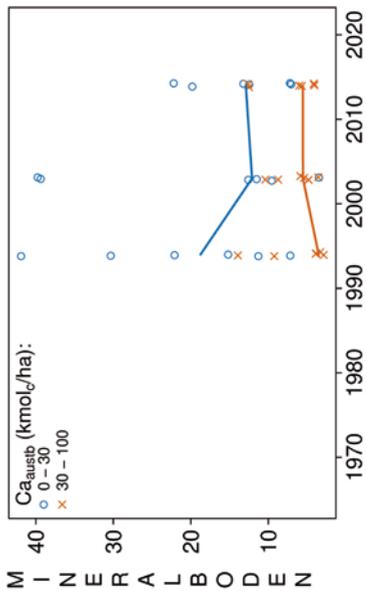
Augustendorf Kiefer



BS %:



Ca_{ausüb} (kmol_c/ha):



Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2014)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	1,13	0,17	1,24	0,13	0,07	0,01	0,10	0,17	0,082	0,17	2,36	1,93	0,79	21,40	5,25
5	10	0,99	0,09	1,08	0,10	0,05	0,01	0,08	0,12	0,126	0,11	1,62	1,07	0,59	13,78	2,70
10	20	0,99	0,07	0,75	0,08	0,03	0,01	0,07	0,11	0,130	0,08	1,34	0,84	0,51	8,81	1,95
20	30	2,01	0,07	1,64	0,11	0,05	0,01	0,11	0,13	0,173	0,09	1,93	0,71	0,64	6,00	2,12
30	40	2,63	0,04	1,39	0,14	0,07	0,00	0,09	0,10	0,070	0,12	2,40	0,36	0,73	2,83	1,78
40	50	4,06	0,04	2,29	0,22	0,12	0,00	0,09	0,09	0,029	0,19	3,55	0,36	1,13	3,00	2,31
50	70	4,26	0,04	1,70	0,27	0,14	0,01	0,08	0,05	0,012	0,26	3,86	0,40	1,44	2,67	2,48
70	80	3,97	0,03	1,49	0,30	0,15	0,01	0,06	0,02	0,005	0,29	3,76	0,43	1,52	2,24	2,74
80	100	3,40	0,04	1,34	0,33	0,16	0,01	0,03	0,01	0,003	0,28	3,68	0,44	1,37	2,15	2,84
100	150	3,57	0,04	1,81	0,46	0,22	0,01	0,03	0,01	0,002	0,32	4,55	0,67	1,54	2,27	3,79
150	200	5,77	0,04	3,04	0,83	0,42	0,02	0,03	0,01	0,003	0,51	7,84	1,54	2,29	3,21	5,63

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2014)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	24	50	18	26	31	59	14	12	59	28	30	19	23	13	19
5	10	29	29	34	27	48	20	20	38	76	27	34	15	21	23	16
10	20	30	48	50	11	42	15	34	55	55	36	28	58	35	59	28
20	30	72	55	96	39	81	27	76	58	41	43	67	58	48	68	44
30	40	64	26	82	47	79	25	54	57	33	65	60	29	59	22	40
40	50	31	38	66	32	42	27	38	53	68	40	34	32	38	23	31
50	70	20	37	47	12	7	20	81	76	88	9	17	22	7	25	12
70	80	19	31	41	17	24	35	54	26	42	31	19	26	23	15	32
80	100	23	28	38	36	43	24	20	23	33	35	29	31	28	18	41
100	150	33	17	73	82	84	22	24	18	9	50	55	48	31	25	54
150	200	49	17	98	99	103	16	35	51	35	62	78	94	48	41	69

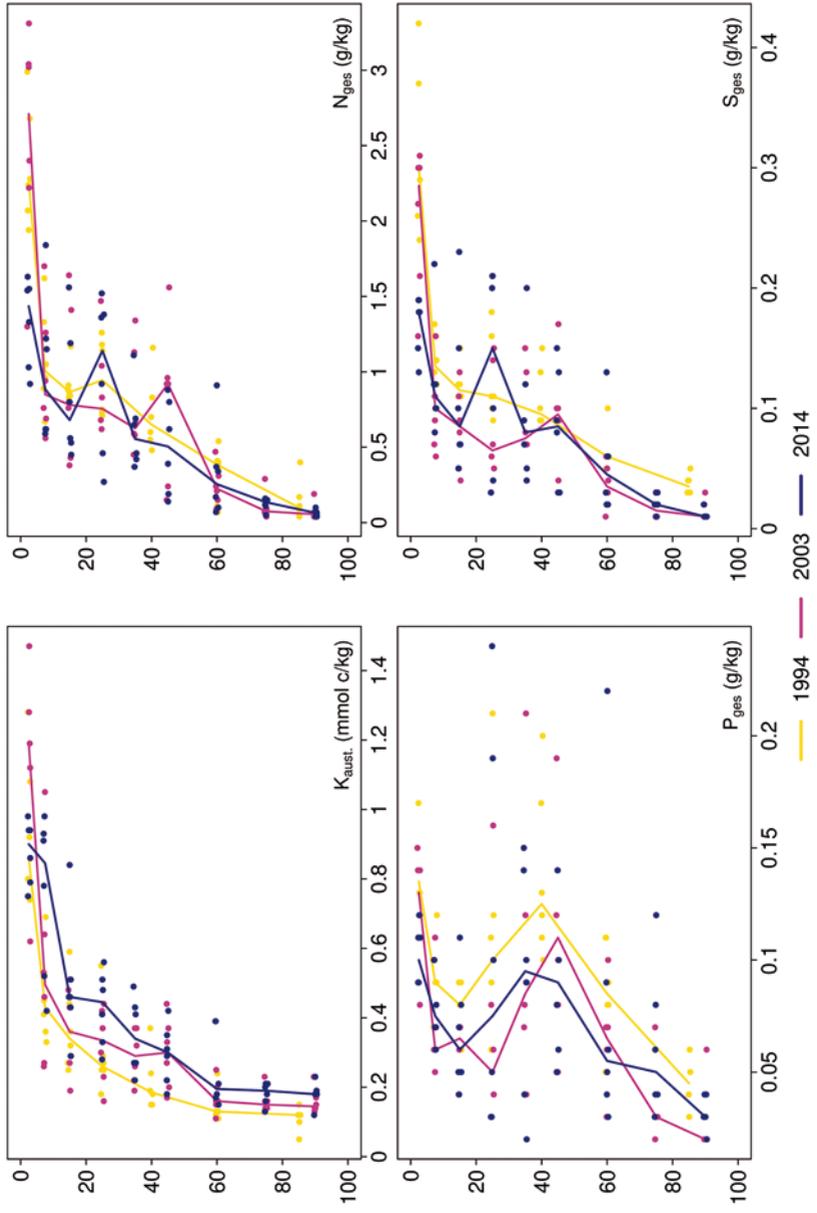
0-20 %

20-50 %

>50 %

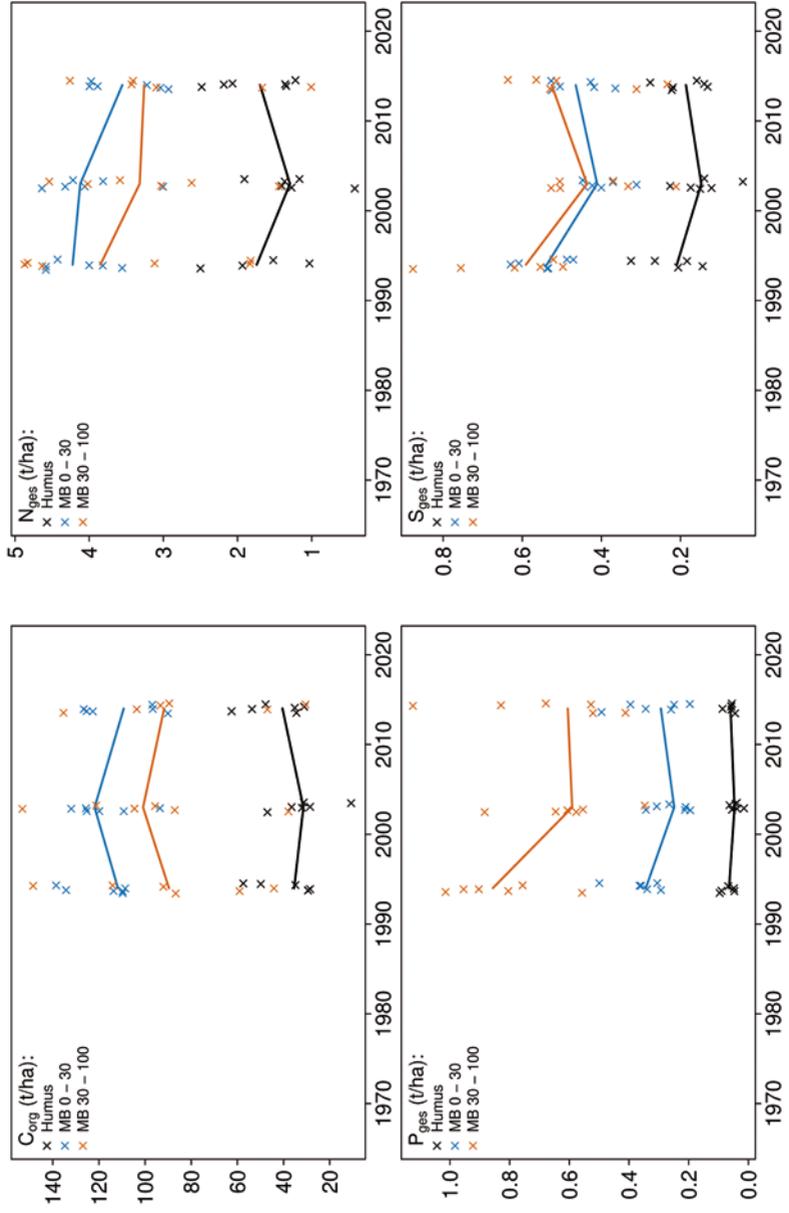
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

Augustendorf Kiefer



Augustendorf Kiefer

Vorratsänderungen (t/ha)



AUKI Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Cadmium (Cd) und Blei (Pb) eine mittlere und für Kupfer (Cu) eine leichte Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen in 0-5 cm Tiefe zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. Kritische Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, werden nicht überschritten.

Die Hintergrundwerte für die Humusauflage von Waldböden (Bommarez et al. 2021) werden für alle Schwermetalle überschritten. Die Cd-Gehalte liegen auch im Mineralboden über diesem Wert.

Im Mineralboden sind die Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, Nickel (Ni)- und Zink (Zn)-Werte mit Gehalten im unteren Quartil der Gehalte aller Versuchsflächen sehr niedrig. Für Cu sind sie nur in 0-5 cm Tiefe etwas höher. Die Cd-Gehalte sind bis in 30 cm Bodentiefe mit Werten, die im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen liegen, sehr hoch, während sie in größerer Tiefe gering sind. Erhöhte Gehalte konnten auch für Pb bis in 10 cm Tiefe gefunden werden. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie aber auf sehr niedrige Werte ab.

In der Humusauflage wurden sehr hohe Cr-Werte (oberes Quartil), mittlere Cd- und Zn-Werte (Median – 75 %-Quartil) und leicht erhöhte Pb-Werte (25 %-Quartil – Median) gefunden. Zwischen 1994 und 2003 haben die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusauflage stark abgenommen. Danach verändern sie sich bis 2014 nur noch wenig. Für den Mineralboden kann für den ersten Zeitraum keine Aussage gemacht werden, da es für 1993 keine Messwerte gibt. Im zweiten Zeitraum nahmen die Vorräte aller Schwermetalle bis in 5 cm Tiefe jedoch ab. In 5-10 cm Tiefe veränderten sie sich kaum.

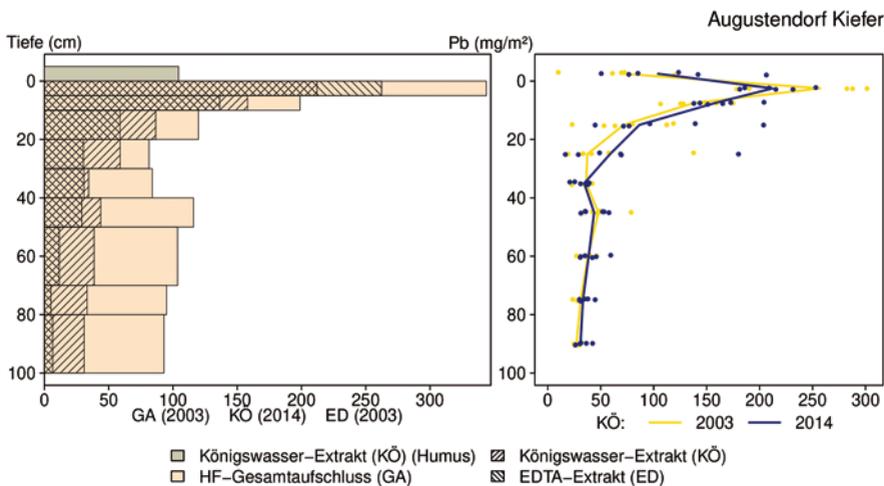
Die Humusauflage ist durch anthropogen eingetragene Schwermetalle beeinflusst, was die Überschreitung der Hintergrundwerte aller Schwermetalle zeigt. Im Oberboden sind die Gehalte von Cd und Pb ebenfalls erhöht. Im Untersuchungszeitraum deutet sich eine Tendenz zu abnehmenden Schwermetall-Vorräten in der organischen Auflage und im oberen Mineralboden an.

von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,08	0,17	2,36	1,93	0,79	21,40	5,25
5	10	0,13	0,11	1,62	1,07	0,59	13,78	2,70
10	20	0,13	0,08	1,34	0,84	0,51	8,81	1,95
20	30	0,17	0,09	1,93	0,71	0,64	6,00	2,12
30	40	0,07	0,12	2,40	0,36	0,73	2,83	1,78
40	50	0,03	0,19	3,55	0,36	1,13	3,00	2,31
50	70	0,01	0,26	3,86	0,40	1,44	2,67	2,48
70	80	0,00	0,29	3,76	0,43	1,52	2,24	2,74
80	100	0,00	0,28	3,68	0,44	1,37	2,15	2,84
100	150	0,00	0,32	4,55	0,67	1,54	2,27	3,79
150	200	0,00	0,51	7,84	1,54	2,29	3,21	5,63
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

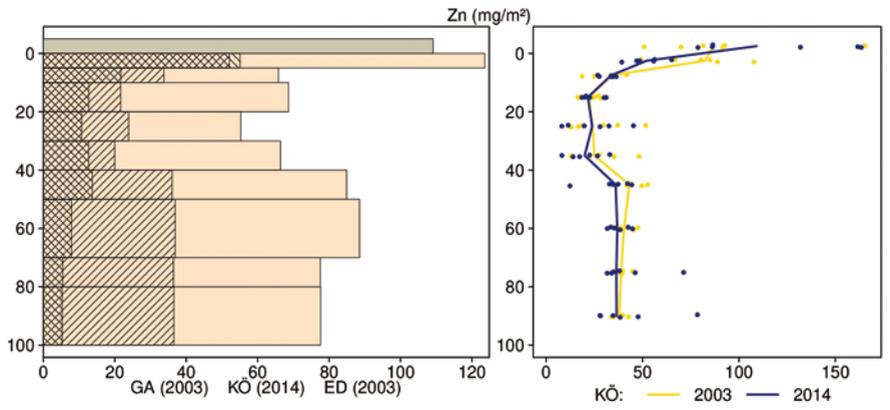
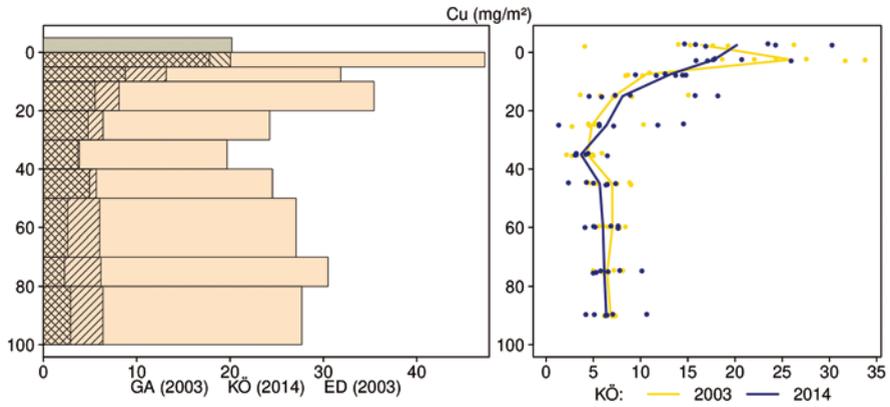
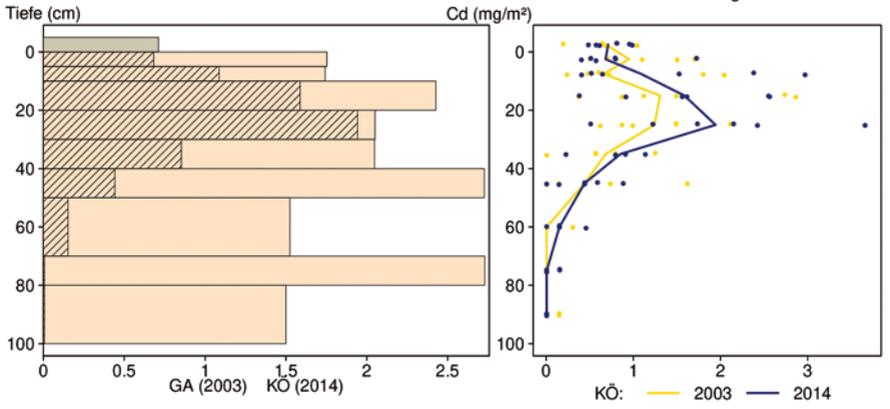
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte

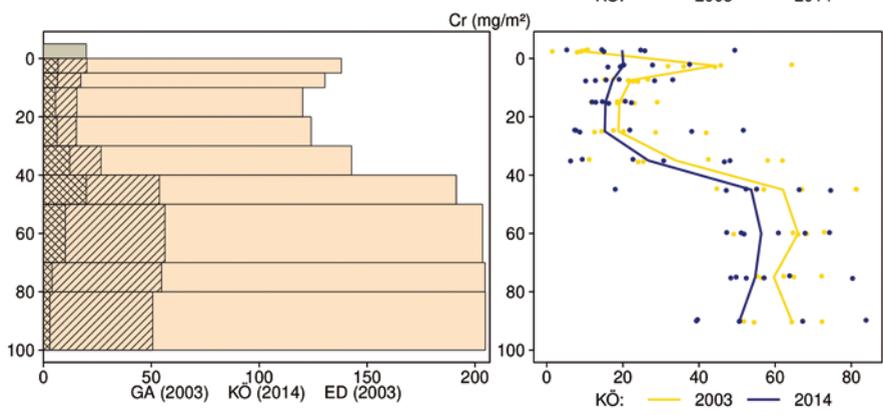
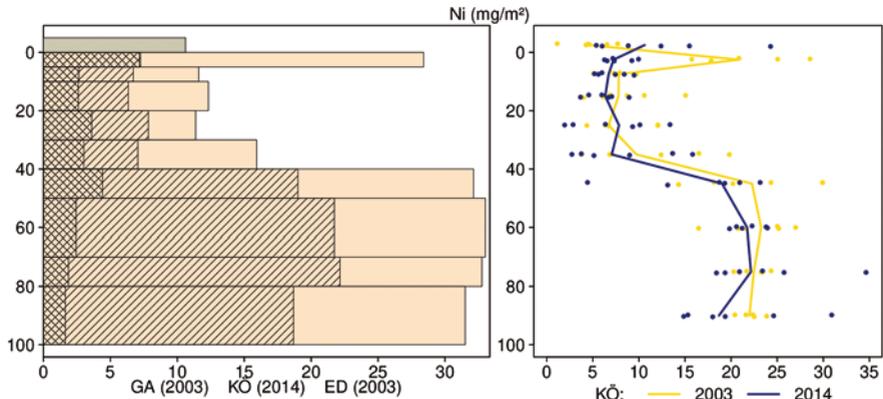
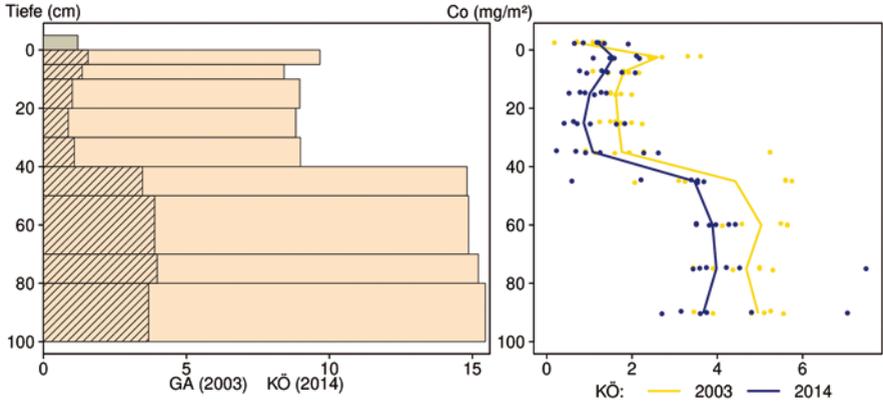


Augustendorf Kiefer



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▩ EDTA-Extrakt (ED)

Augustendorf Kiefer



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)

12.2 Ehrhorn Eiche (EHEI)

EHEI

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Sellhorn 66j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Ostniedersächsisches Tiefland		560300		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N	110/3/NNW	
Hohe Heide im Naturpark Lüneburger Heide		5892400		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
schwach subatlantisch	812	844	370	369
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
schwach subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,2	9,2	14,5	15,4
Monitoringprogramme				
BDF-F 2 (Intensiv), Level II plot 308				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1979 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1999, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1999, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1999-2007, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, Kronenzustand, Baumwachstum, Nadel-/Blattanalyse, LAI				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviatile Ablagerungen aus lehmigem Sand	Böden aus basenarmem Lockergestein		5-15 %, skelettarms	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
Graswurzelfilz-Moder (GMO-MO))	Podsol-Braunerde		Dystric Cambisol (Anoaric, Epinechic, Pantoarenic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
42.3+.3.3f	ziemlich frisch, mesotroph		106	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Stieleiche	Rotbuche		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
140	4,6/1,6		schwache Hochdurchforstung und Sanitärhiebe nach Eichensterben	
sonstiges: -				

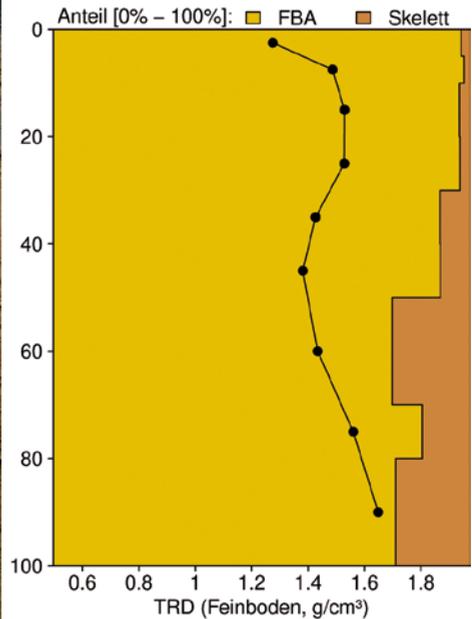
Profilbeschreibungen (nach KA5)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-3.5 - -2.5	0	Vb	h7	Ld0	c0	1,8
Of	-2.5 - -0.5	0	Vb	h7	Ld0	c0	4,4
Oh	-0.5 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	1,3
Aeh	0 - 7	2	mS	h4	Ld1	c0	10,3
rAp	7 - 23	1	mS	h2	Ld1	c0	17,4
IIBhv	23 - 57	6	St2	h1	Ld1	c0	32,0
IIBv	57 - 75	15	St2	h1	Ld1	c0	15,3
IIIlCv	75 - 120	17	Sl3	h0	Ld2	c0	56,0
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							106,1
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							113,6

Deutschmann 11.12.1999



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2017

EHEI

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	48,0	6,3	6,6	2,7	0,08	32,0	4,8	6,5	4,98	3,98
Of	-	-	56,3	9,0	13,8	5,3	0,26	20,8	12,1	23,7	4,64	3,81
Oh	-	-	17,8	3,2	5,4	2,2	0,11	20,0	4,6	11,0	4,29	3,42
0 - 5	36,7	19,3	94,2	13,3	30,3	17,0	1,07	15,8	102	110	4,30	3,33
5 - 10	26,3	13,9	40,0	5,2	18,3	8,4	0,48	17,4	88,9	54,3	4,32	3,47
10 - 20	20,4	22,6	48,1	6,2	24,8	10,4	0,58	17,7	167	67,3	4,39	3,64
20 - 30	17,8	21,9	38,6	4,8	24,3	8,2	0,46	18,0	165	62,9	4,68	3,94
30 - 40	16,8	20,3	33,9	4,0	23,6	6,7	0,40	16,6	160	63,1	4,86	4,16
40 - 50	15,9	18,6	27,6	3,4	23,4	5,7	0,36	16,0	154	65,6	4,94	4,27
50 - 70	14,9	31,8	37,8	6,7	42,6	7,4	0,49	15,1	236	101	4,91	4,33
70 - 80	15,1	17,9	18,5	3,8	26,2	2,5	0,19	13,4	115	45,2	4,89	4,29
80 - 100	14,6	34,5	32,2	7,7	48,5	3,3	0,07	49,6	215	73,3	4,86	4,24
100 - 150	15,8							28,2			4,91	4,16
150 - 200	20,4							48,3			4,97	4,17
Σ L-100cm		201	493	73,6	288	79,8	4,6		1425	684		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf der Fläche stockt ein Bestand aus Stieleiche und Rotbuche, der 1882 durch Ackeraufforstung begründet wurde. In den 1930er Jahren wurde der Bestand zur Beweidung von Kühen genutzt. Nach einem Eichensterben wurde eine schwache Hochdurchforstung und Sanitärhiebe durchgeführt

Der Boden ist vergleichsweise homogen, da es sich um einen Sandboden mit geringem Skelettanteil handelt. Dies zeigt das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren eng zusammen liegt. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte liegt im mittleren Bereich, was auf die insgesamt niedrigen Konzentrationen zurückzuführen ist, die im unteren Quartil der Gehalte aller Flächen liegen.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat war 2017 gering (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei mittlerem bis mäßig weitem C/N-Verhältnis im gesamten Profil. Eine Veränderung der N- und Kohlenstoff (C)-Vorräte ist zwischen 1985 und 2017 weder in der Humusaufgabe noch im Mineralboden zu beobachten.

Der Calcium (Ca)-Vorrat nahm im Mineralboden von 1985-2007 zu und stabilisierte sich bis 2017 auf mäßigem Niveau. In der Humusaufgabe ist er zwischen 1999 und 2017 angestiegen. Bei den Kalium (K)- und Magnesium (Mg)-Vorräten ist, bei insgesamt geringen Gehalten, kein Trend zu beobachten.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2017 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1425 t/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1999 und 2017 hat er leicht abgenommen.

Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 684 kg/ha im unteren Quartil. Nur in 0-5 cm Tiefe waren die Gehalte vergleichsweise hoch. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie stark ab. Im Oberboden hat der S-Vorrat zwischen 1999 und 2017 stark abgenommen. Im Unterboden zeigt sich eine Abnahme bis 2007 und ein gleichbleibendes Niveau bis 2017.

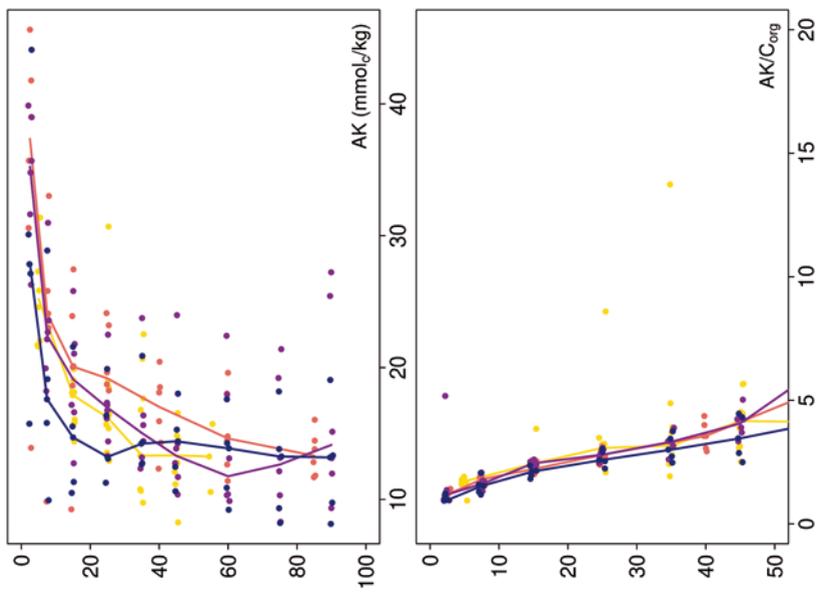
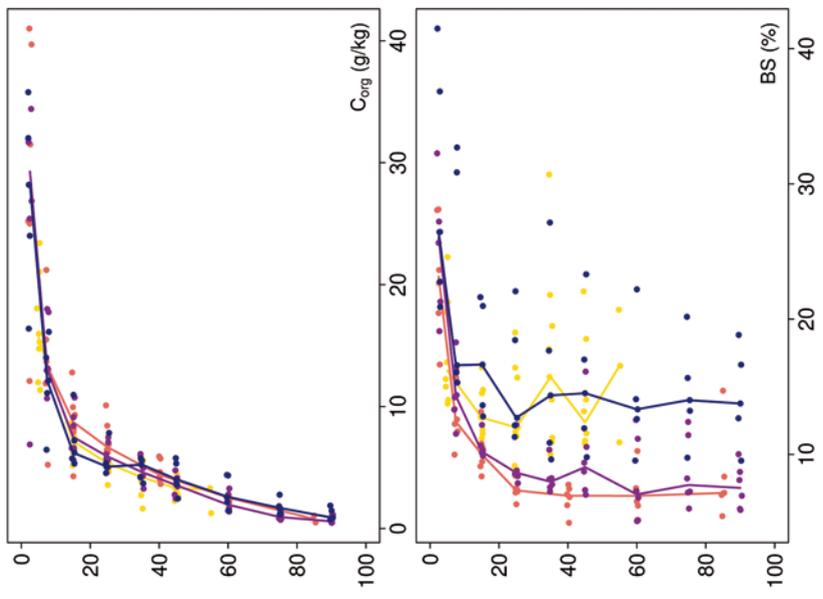
Säure-Base-Status und -Dynamik

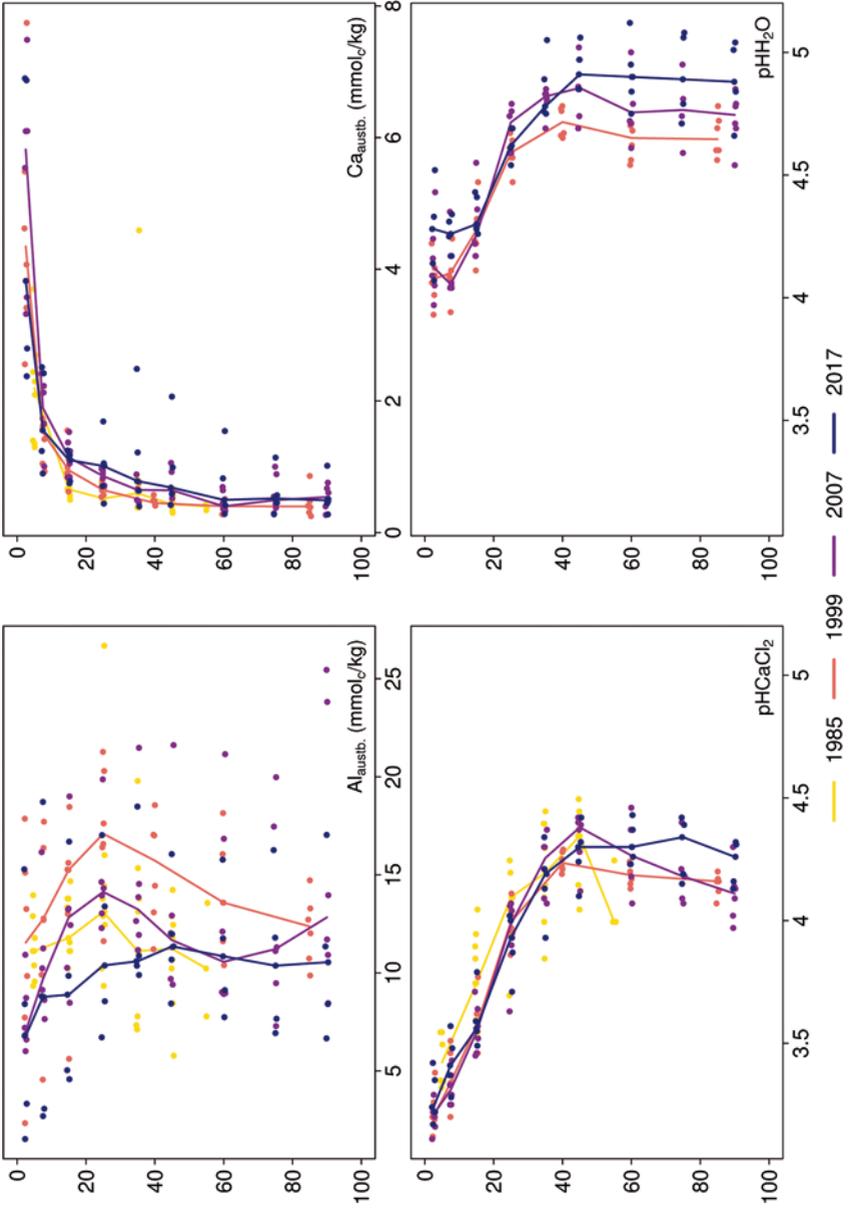
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 2 m Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Aus den Wiederholungsinventuren ergibt sich ein leichter Anstieg der Basensättigung und der pH-Werte im Boden.

Beim pH-Wert ist ein Anstieg um eine pH-Einheit und eine Abnahme der Differenz zwischen dem in Wasser gemessenen pH-Wert und dem in einer Salzlösung (CaCl_2) gemessenen pH-Wert bis in 40 Tiefe zu verzeichnen. Dies deutet auf eine mit zunehmender Tiefe abnehmende Versauerung hin.

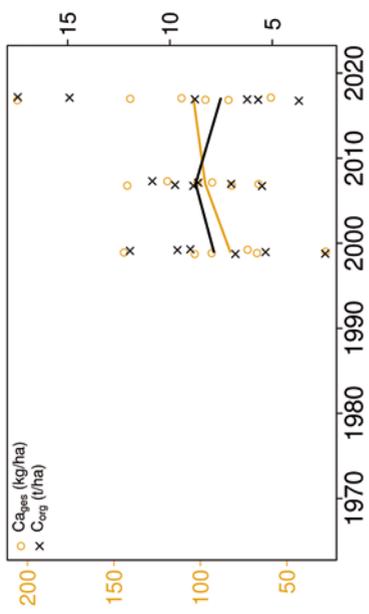
Ehrhorn Eiche

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

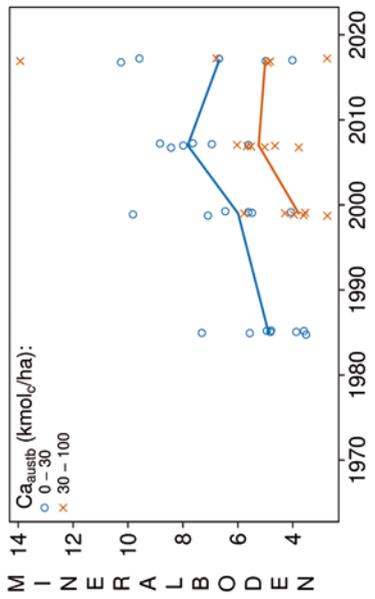
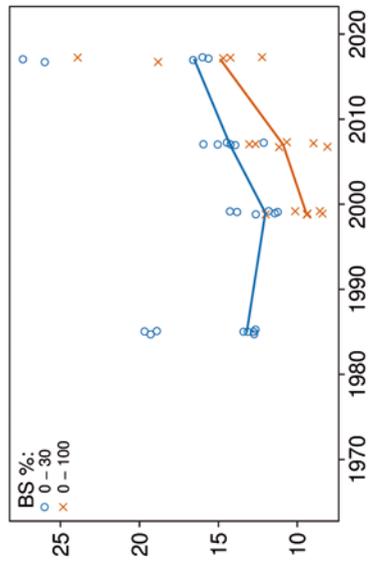
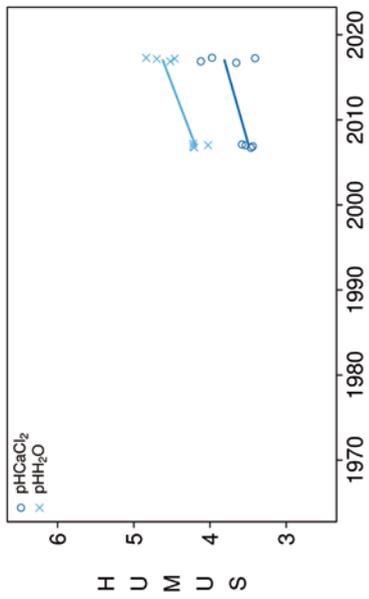




Vorrats- und pH-Änderungen



Ehrhorn Eiche



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2017)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	1,82	0,24	2,55	0,25	0,18	0,07	0,16	0,18	0,022	0,44	4,80	2,67	1,55	16,92	7,57
5	10	1,92	0,13	2,48	0,22	0,18	0,06	0,12	0,07	0,012	0,46	3,27	1,89	1,25	15,52	5,70
10	20	1,99	0,12	2,54	0,22	0,19	0,08	0,11	0,05	0,011	0,50	2,80	1,58	1,14	14,02	5,32
20	30	2,68	0,12	3,11	0,24	0,23	0,19	0,11	0,04	0,018	1,00	3,39	1,71	1,54	12,09	6,91
30	40	3,99	0,15	3,99	0,32	0,32	0,27	0,12	0,05	0,025	1,44	4,47	2,08	2,52	8,10	9,69
40	50	5,00	0,26	4,63	0,41	0,43	0,29	0,12	0,05	0,027	1,66	5,20	2,17	3,45	5,99	12,75
50	70	5,96	0,19	5,28	0,48	0,56	0,24	0,10	0,04	0,028	1,89	6,25	2,38	4,85	4,73	14,85
70	80	6,27	0,18	5,29	0,57	0,61	0,16	0,08	0,03	0,027	1,90	6,35	2,56	5,78	4,48	14,45
80	100	6,31	0,21	5,47	0,64	0,67	0,12	0,08	0,03	0,027	2,03	6,55	2,84	5,92	4,42	13,64
100	150	4,39	0,19	5,05	0,62	0,59	0,10	0,07	0,02	0,029	1,85	5,76	2,79	4,62	4,20	11,00
150	200	3,96	0,13	3,99	0,50	0,45	0,09	0,06	0,01	0,024	1,58	4,58	2,17	3,55	3,29	8,41

bis 25%-Quantil

25 %-Quantil - Med.

Med. - 75 %-Quantil

75 %-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2017)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	47	65	49	32	50	126	36	29	50	45	90	23	35	42	35
5	10	53	50	49	34	51	79	32	29	44	51	53	23	43	30	38
10	20	46	46	40	30	43	43	38	21	38	47	38	27	40	13	42
20	30	37	30	30	28	36	58	14	17	33	46	32	23	37	8	37
30	40	37	24	29	38	39	22	15	14	25	23	32	19	38	25	29
40	50	28	65	19	34	28	32	20	25	10	8	25	18	32	26	16
50	70	28	20	24	36	33	34	20	22	13	13	28	22	26	18	15
70	80	26	27	24	30	30	20	17	22	17	17	27	25	22	24	17
80	100	25	43	23	23	31	21	25	33	23	25	19	27	20	24	24
100	150	49	66	26	24	35	37	24	30	46	27	21	33	24	27	30
150	200	27	34	25	23	37	45	26	28	37	34	21	35	30	25	33

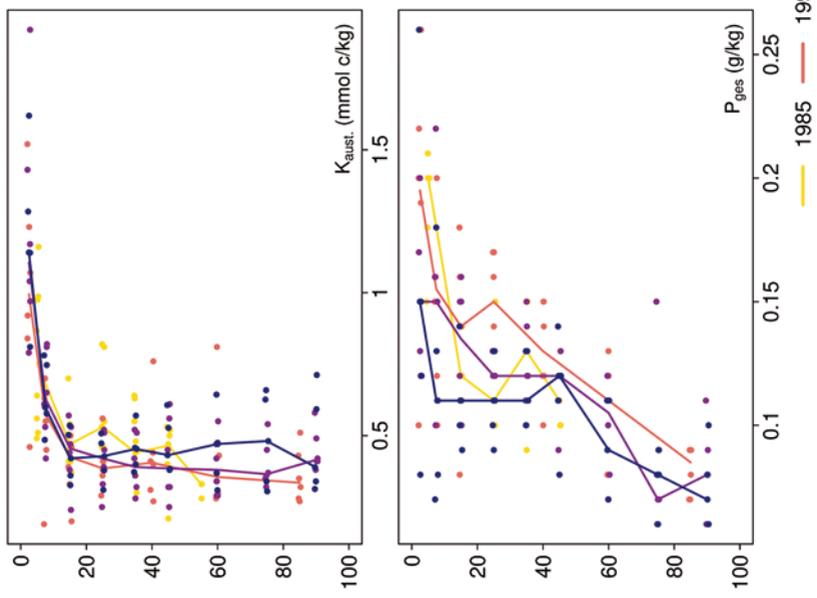
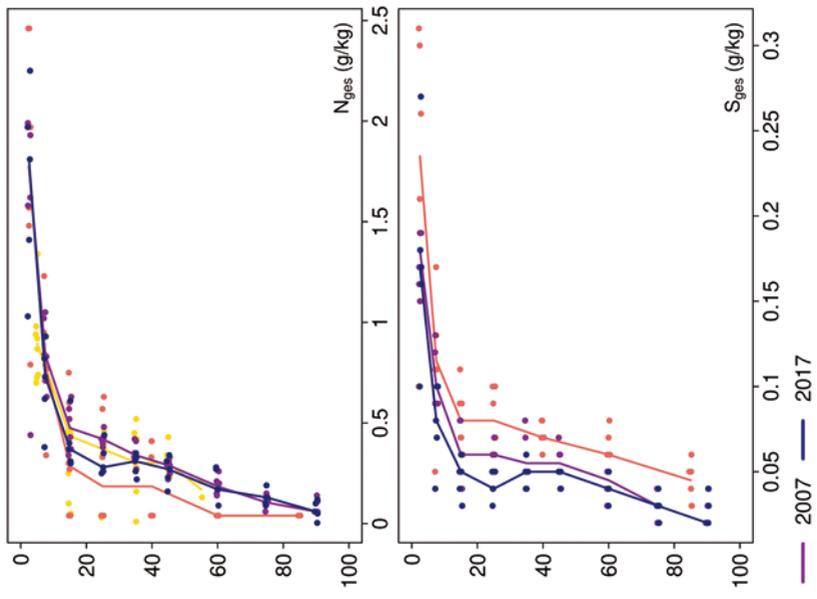
0-20 %

20-50 %

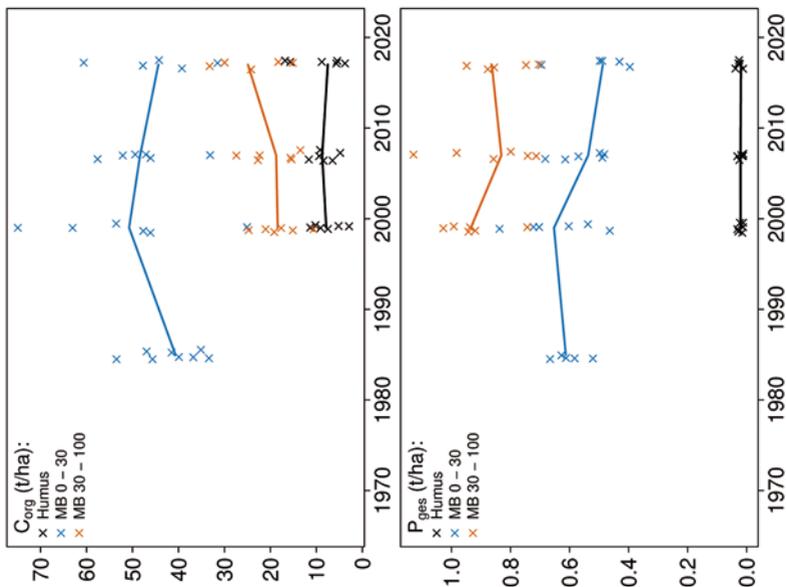
>50 %

Ehrhorn Eiche

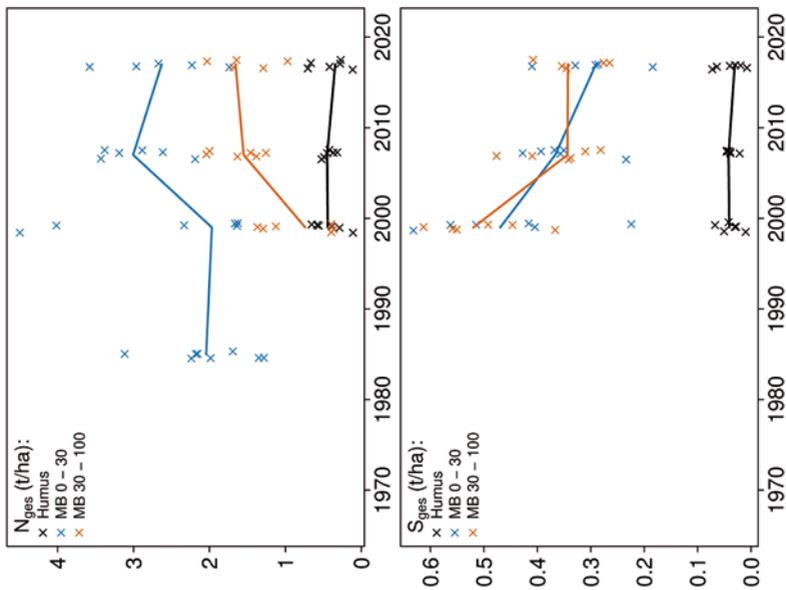
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Ehrhorn Eiche



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine leichte Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Vorsorgewerte der BBodSchV und die kritischen Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, werden nicht überschritten.

In der Humusaufgabe liegen die Gehalte für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Pb über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommarez et al. 2021). Im Mineralboden werden sie nicht überschritten.

Im Oberboden sind die Pb-Gehalte mit Werten, die zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Gehalte aller Versuchsflächen liegen, vergleichsweise hoch. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie auf Werte, die ab 50 cm Tiefe im unteren Quartil liegen, stark ab. Für Cd sind sie im ganzen Profil bis in 2 m Tiefe sehr niedrig (unteres Quartil). Die Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, Nickel (Ni)-, und Zink (Zn)-Gehalte sind im Oberboden niedrig (unteres Quartil), im Unterboden höher (zwischen 25 %-Quartil und Median).

In der Humusaufgabe liegen nur die Cd- und Cu-Werte zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median. Die Gehalte aller anderen Schwermetalle sind sehr niedrig.

Zwischen 1999 und 2007 haben die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusaufgabe stark abgenommen. Bis 2017 hat sich dieser Trend, außer für Pb, abgeschwächt. Im Mineralboden veränderten sich die Pb-, Cu- und Zn- Vorräte nur wenig, während für Co, Cr und Ni eine Tendenz zu abnehmenden Vorräten zu beobachten ist. Für Cd kann keine Aussage gemacht werden, da nur Werte einer Inventur vorliegen.

2017 war die Humusaufgabe durch anthropogen eingetragene Schwermetalle nur noch wenig kontaminiert, was die insgesamt niedrigen Werte zeigen. Im oberen Mineralboden sind die Gehalte von Pb deutlich erhöht, was auf eine Verlagerung aus der organischen Auflage in den Mineralboden hindeutet. Dass die Belastung des Bodens mit Schwermetallen im Untersuchungszeitraum geringer geworden ist, zeigen die abnehmenden Vorräte. Im Vergleich zu der sich in der Nähe befindenden Kiefernfläche (EHKI) sind die Gehalte der Schwermetalle Cd, Cu, Pb und Zn in der Humusaufgabe und von Cd auch im Oberboden wesentlich niedriger.

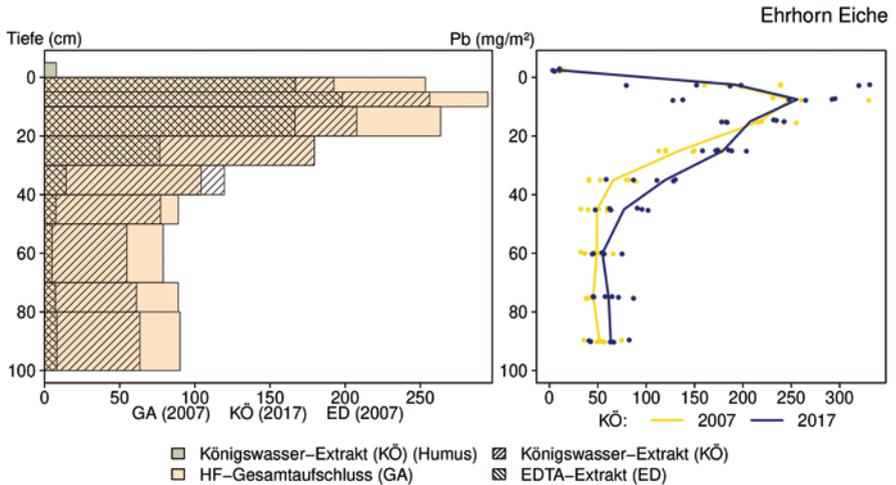
Bewertung Schwermetalle (2017)

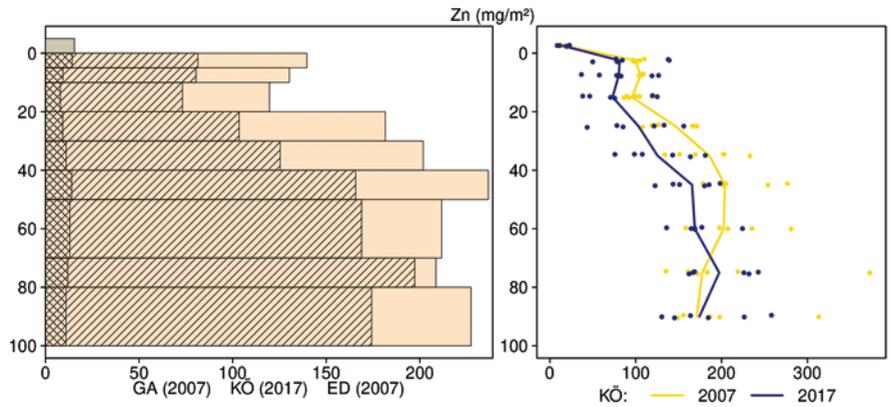
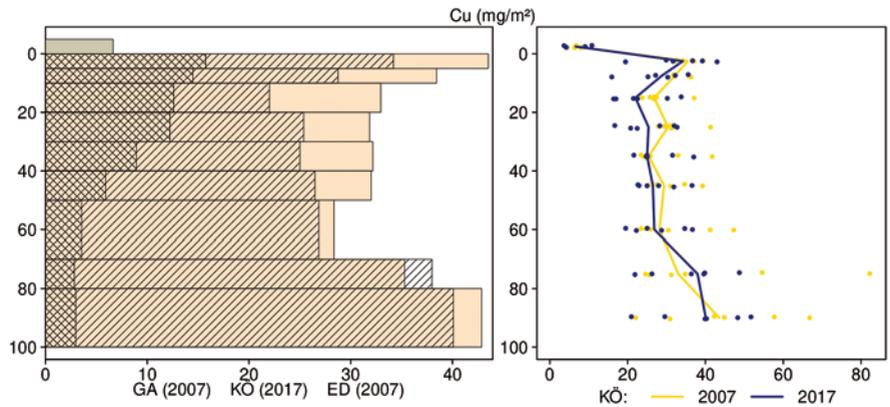
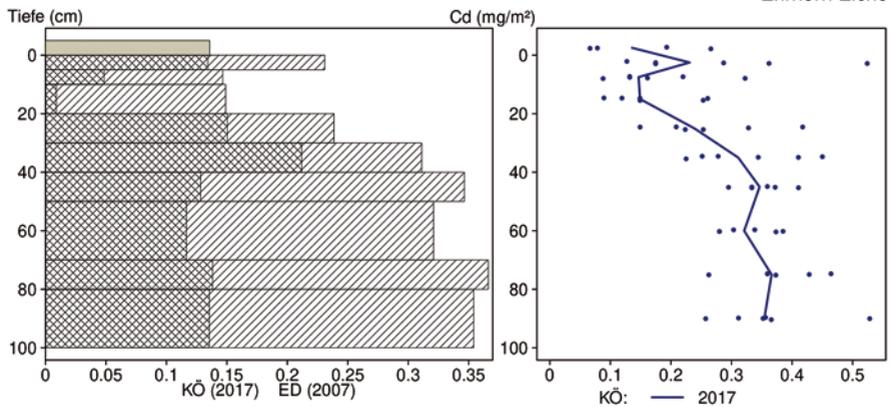
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,02	0,44	4,80	2,67	1,55	16,92	7,57
5	10	0,01	0,46	3,27	1,89	1,25	15,52	5,70
10	20	0,01	0,50	2,80	1,58	1,14	14,02	5,32
20	30	0,02	1,00	3,39	1,71	1,54	12,09	6,91
30	40	0,02	1,44	4,47	2,08	2,52	8,10	9,69
40	50	0,03	1,66	5,20	2,17	3,45	5,99	12,75
50	70	0,03	1,89	6,25	2,38	4,85	4,73	14,85
70	80	0,03	1,90	6,35	2,56	5,78	4,48	14,45
80	100	0,03	2,03	6,55	2,84	5,92	4,42	13,64
100	150	0,03	1,85	5,76	2,79	4,62	4,20	11,00
150	200	0,02	1,58	4,58	2,17	3,55	3,29	8,41
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

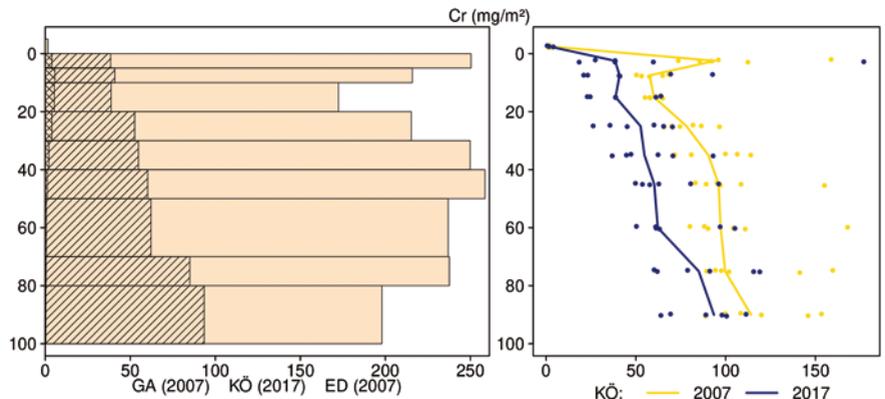
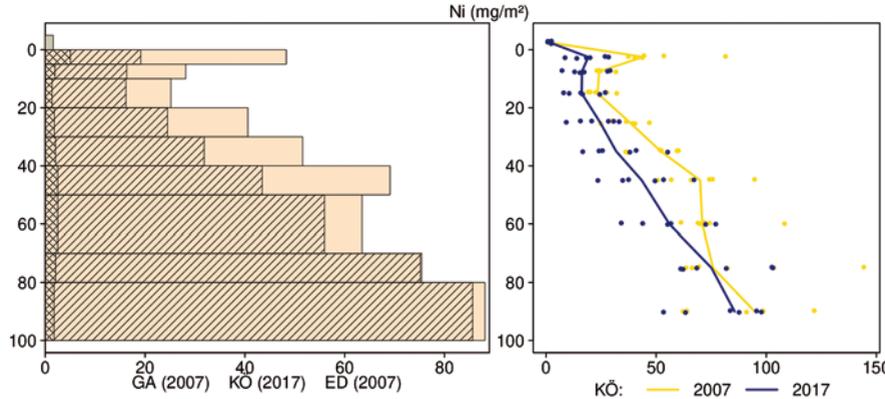
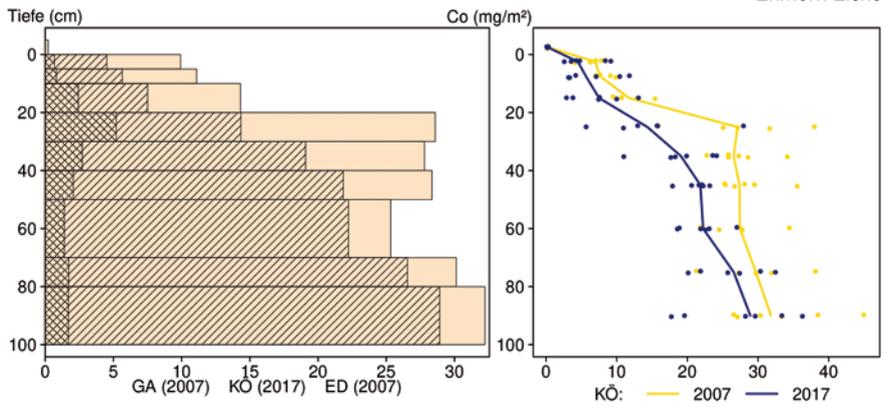
Schwermetallvorräte





- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)

Ehrhorn Eiche



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus) ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA) ▩ EDTA-Extrakt (ED)

12.3 Ehrhorn Kiefer (EHKI)

EHKI

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Sellhorn 153j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Ostniedersächsisches Tiefland	559100			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	82/0/-		
Hohe Heide im Naturpark Lüneburger Heide	5891800			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
<i>(1961-1990)</i>	<i>(1961-1990)</i>	<i>(1991-2020)</i>	<i>(1961-1990)</i>	<i>(1991-2020)</i>
schwach subatlantisch	785	808	360	356
<i>(1991-2020)</i>	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
schwach subkontinental	<i>(1961-1990)</i>	<i>(1991-2020)</i>	<i>(1961-1990)</i>	<i>(1991-2020)</i>
	8,3	9,3	14,7	15,6
Monitoringprogramme				
BDF-F 12 (Standard)				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1980 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1999, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1999, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1999-2007, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenvegetation, Kronenzustand, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviale Ablagerungen aus lehmigem Sand	Böden aus basenarmem Lockergestein		1-12 %, skelettarml	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer Moder (MOT)	Podsol-Braunerde		Albic Podzol (Endoarenic, Epiabruptic, Epiaric)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
42.3.3.6f A1	ziemlich frisch, mesotroph		104	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
4-5	Randbereiche versehentlich mit Dolomit (50 % CaCO ₃ + 35 % MgCO ₃) gekalkt, Untersuchung ergab >80 kg/ha, 1986			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Kiefer	Eiche		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
135	4,6/2,4		starke Niederdurchforstung	
sonstiges: -				

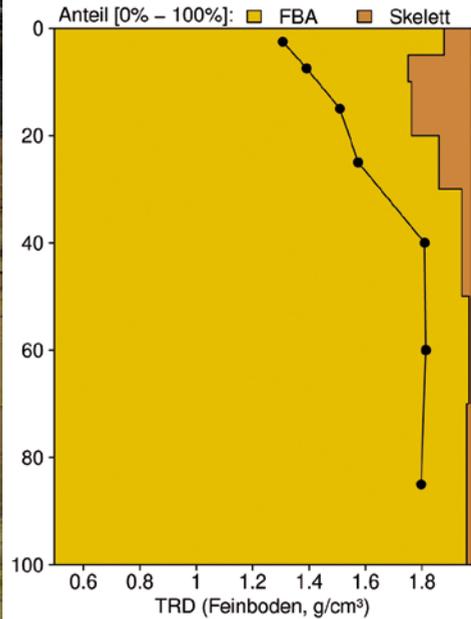
Profilbeschreibungen (nach KA5)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-6 - -5	0	Vn	h7	Ld0	c0	1,8
Of	-5 - -3	0	Vn	h7	Ld0	c0	4,4
Oh	-3 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	7,8
Ae	0 - 2	3	Sl3	h2	Ld3	c0	2,7
Bh	2 - 8	9	Sl3	h3	Ld3	c0	8,7
Bsv	8 - 21	14	Sl3	h1	Ld3	c0	14,5
IlllCv	21 - 90	2	Su2	h1	Ld4	c0	67,6
IlllCv	90 - 100	1	Su2	h0	Ld4	c0	9,9
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							103,5
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							117,5

Melms 15.3.2017



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2017

EHKI

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	77,8	11,4	13,8	6,4	0,19	33,9	7,8	15,2	4,99	4,35
Of	-	-	139	24,8	27,7	14,6	0,58	25,2	22,3	58,1	4,34	3,58
Oh	-	-	275	73,8	49,4	21,0	0,85	24,8	34,3	101	4,19	3,46
0 - 5	46,4	19,8	114	26,1	23,4	12,8	0,55	23,1	36,1	61,6	4,40	3,44
5 - 10	30,8	16,4	57,3	18,0	12,0	5,3	0,24	21,9	28,0	35,6	4,46	3,63
10 - 20	21,4	37,4	79,8	30,4	23,9	9,3	0,40	23,6	73,3	70,2	4,76	3,95
20 - 30	18,5	34,7	44,8	29,5	26,8	4,9	0,21	23,4	84,5	40,7	4,95	4,10
30 - 50	18,4	103	97,0	102	86,7	6,9	0,23	30,0	282	67,8	4,98	4,08
50 - 70	16,9	101	99,2	87,3	93,8	4,2	0,26	16,4	371	58,3	4,99	4,04
70 - 100	26,7	128	336	129	136	4,0	0,26	15,4	549	83,8	5,06	4,08
100 - 150	47,3							15,7			5,28	4,19
150 - 200	62,3							30,3			5,50	4,29
Σ L-100cm		441	1319	532	493	89,5	3,8		1489	592		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2),
 ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf der Fläche stockt ein Bestand aus Kiefer und Stieleiche, der durch Erstaufforstung einer Heidefläche begründet wurde. Der Boden ist vergleichsweise homogen, da es sich um einen Sandboden mit geringem Skelettanteil handelt. Dies zeigt das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren eng zusammen liegt. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte liegt im mittleren Bereich, was auf die mit Ausnahme von Calcium niedrigen Gehalte zurückzuführen ist.

Im September 1986 wurden in der Nähe der Fläche Kalkungsmaßnahmen durch Hubschrauberbefliegungen (3 t/ha Dolomit) durchgeführt, bei denen versehentlich Bereiche der Versuchsfläche gekalkt wurden. Eine Begehung der Fläche ergab, dass nur Randbereiche der Fläche betroffen sind. Eine reguläre Kompensationskalkung wurde nicht durchgeführt.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat war 2017 gering (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei mittlerem bis mäßig weitem C/N-Verhältnis bis in 50 cm Tiefe und mittlerem bis mäßig engem Verhältnis in größerer Tiefe. Zwischen 1999 und 2017 sind die Kohlenstoff (C)- und N-Vorräte in der Humusaufgabe kontinuierlich angestiegen. Im Oberboden ist ein Anstieg nur bis 2007 zu sehen, danach verändern sich die Vorräte nur noch wenig. Im Unterboden ist keine Veränderung festzustellen.

Der Calcium (Ca)-Vorrat stieg in der Humusaufgabe zwischen 1999 und 2017, im Oberboden zwischen 1985 und 2007 an. Danach veränderte er sich im Oberboden bis 2017 nur noch wenig. Im Unterboden ist keine Veränderung festzustellen. Insgesamt ist die Kiefernfläche mit einem mittleren Ca-Vorrat, und mäßig hohen Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräten deutlich besser versorgt als die Eichenfläche (EHKI) in unmittelbarer Nähe, deren Vorräte gering bis mäßig sind.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2017 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1489 t/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median der Vorräte aller Flächen und damit in der gleichen Größenordnung wie im Boden der Fläche EHEI. Zwischen 1985 und 2017 hat sich der Phosphorvorrat kaum verändert.

Für Schwefel (S) lag er mit 592 kg/ha im unteren Quartil. Nur in 0-5 cm Tiefe waren die Gehalte, die zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil lagen vergleichsweise hoch. Mit zunehmender Tiefe nahmen sie stark ab. Im Mineralboden, insbesondere in größerer Tiefe, hat der S-Vorrat zwischen 1999 und 2017 sehr stark abgenommen.

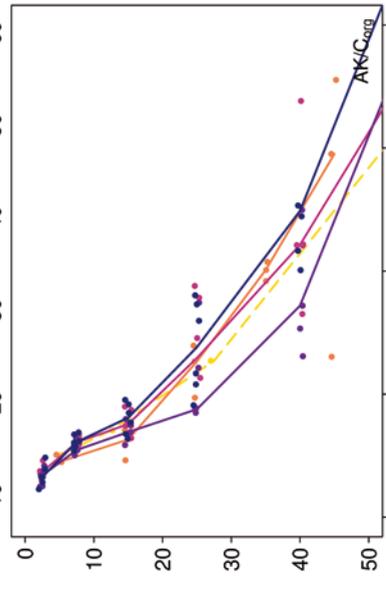
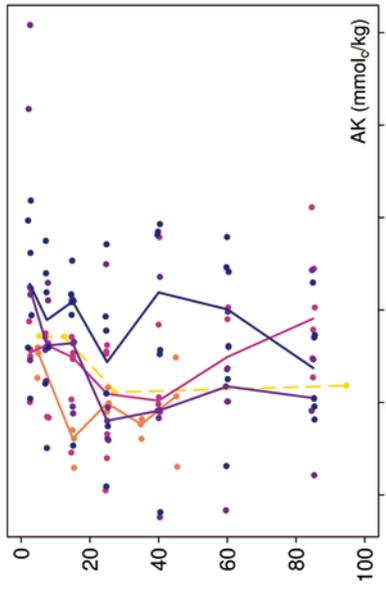
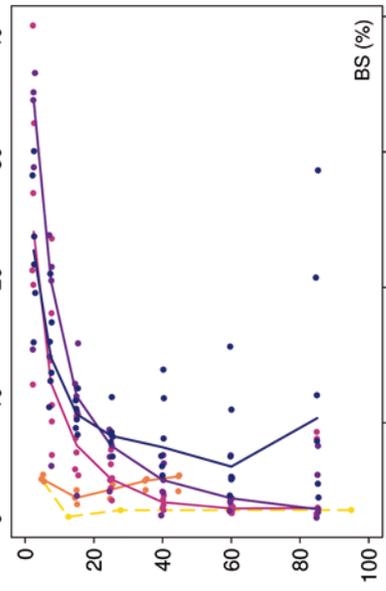
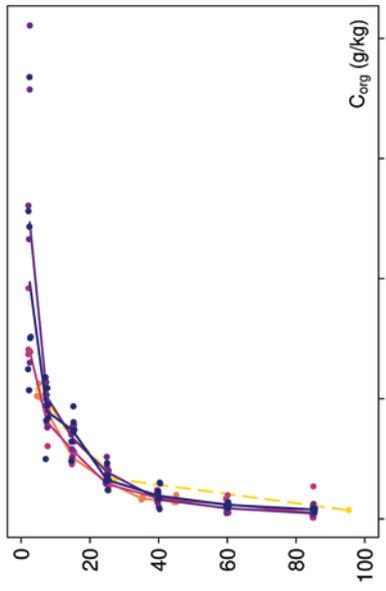
Säure-Base-Status und -Dynamik

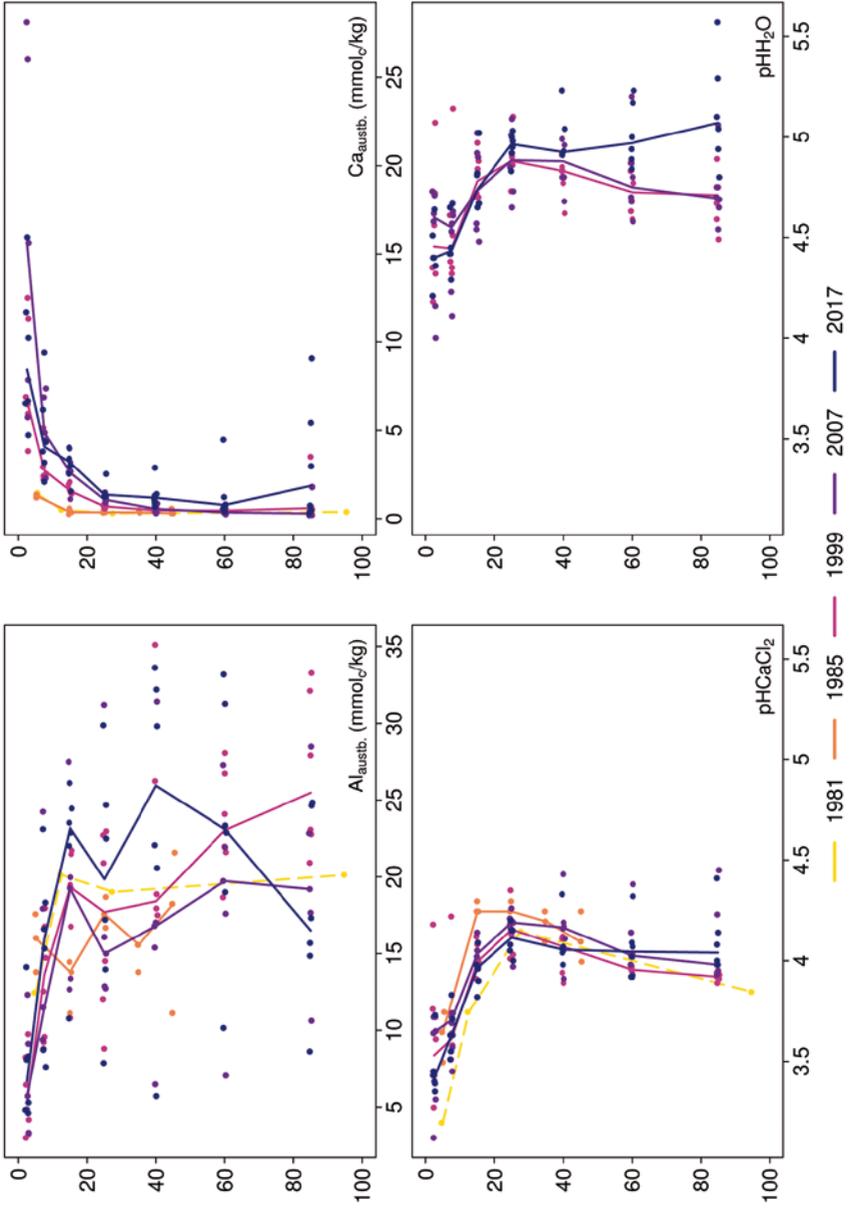
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 70 cm Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Silikat-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Eine Veränderung der Basensättigung in größerer Tiefe hat dazu geführt, dass das ursprünglich durchgehend basenarme Profil (Typ 5 – Kölling et al. 1996) aktuell (2017) eher dem Typ 4 (basenarm, Basensättigung ab 1 m Tiefe > 20 %) zuzuordnen ist.

Der Trend zur Abnahme der Versauerung zeigt sich auch in den steigenden Ca-Vorräten in der Humusaufgabe und der zunehmenden Belegung des Austauschers mit Ca im Oberboden bei abnehmendem austauschbar gebundenem Aluminium (Al) (1999-2017).

Ehrhorn Kiefer

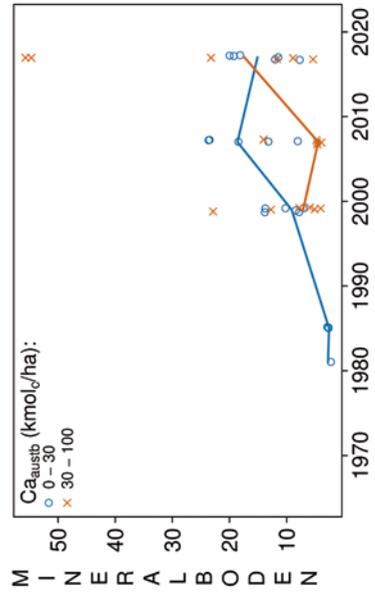
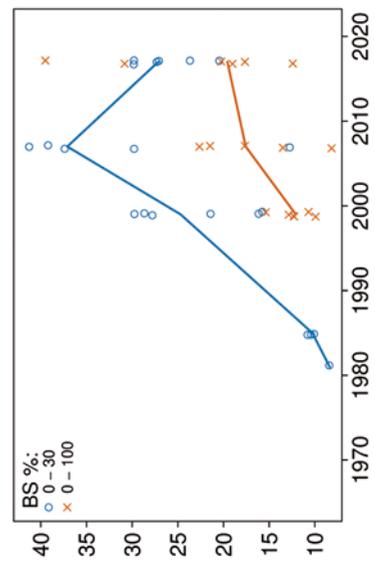
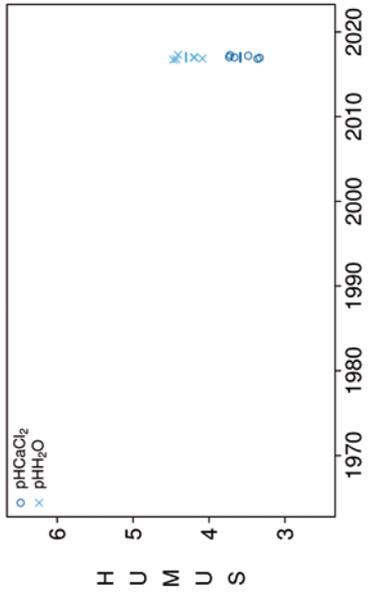
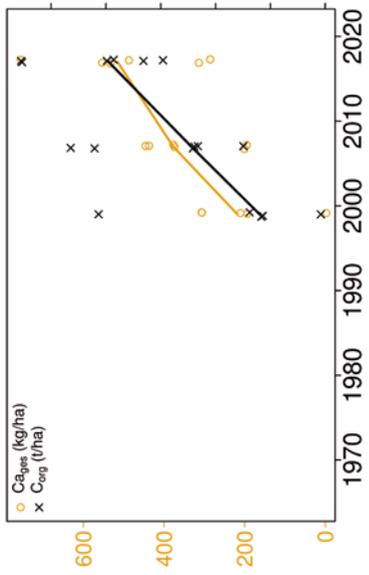
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)





Vorrats- und pH-Änderungen

Ehrhorn Kiefer



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2017)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	1,89	0,27	1,99	0,30	0,24	0,02	0,06	0,10	0,062	0,43	3,16	2,02	1,57	14,33	7,89
5	10	3,11	0,23	2,99	0,43	0,43	0,02	0,05	0,06	0,033	0,69	4,56	1,73	2,22	11,64	6,98
10	20	5,37	0,21	4,39	0,69	0,67	0,03	0,05	0,05	0,032	1,24	6,70	2,45	3,96	9,70	10,16
20	30	6,25	0,18	5,40	0,85	0,79	0,04	0,06	0,03	0,030	1,62	7,95	2,88	4,82	5,58	12,31
30	50	7,97	0,17	7,85	1,18	1,08	0,06	0,08	0,02	0,034	2,42	10,00	4,39	6,48	5,55	16,73
50	70	8,08	0,17	9,15	1,26	1,14	0,09	0,10	0,02	0,038	3,10	10,41	5,14	7,02	5,96	18,41
70	100	7,43	0,23	8,75	1,24	1,15	0,14	0,10	0,02	0,044	3,40	9,76	4,90	7,02	5,52	17,68
100	150	5,96	0,37	7,17	1,01	0,93	0,15	0,09	0,01	0,063	3,03	8,27	4,10	6,54	4,79	14,62
150	200	6,11	0,33	7,75	1,11	1,03	0,14	0,11	0,01	0,061	2,98	9,14	4,26	7,02	4,94	15,56

0-20 %

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2017)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	26	34	25	19	27	17	28	34	32	23	23	25	32	29	18
5	10	35	35	32	30	42	22	23	22	35	36	32	26	38	26	26
10	20	32	19	29	33	34	23	22	20	20	33	28	29	32	11	29
20	30	39	23	41	41	44	33	24	19	36	44	45	40	40	21	36
30	50	36	21	39	38	40	32	27	30	29	37	35	39	38	31	34
50	70	27	19	31	29	34	25	23	17	21	27	25	34	27	28	28
70	100	21	31	25	23	28	44	22	26	21	32	15	26	23	26	27
100	150	24	91	24	23	27	31	24	23	29	26	22	23	19	24	23
150	200	25	40	24	28	25	21	16	24	15	22	26	24	26	19	23

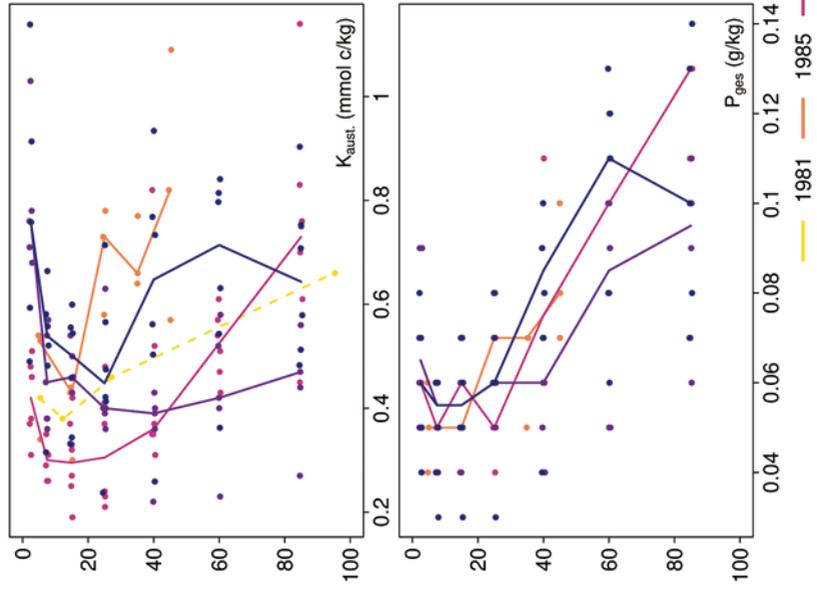
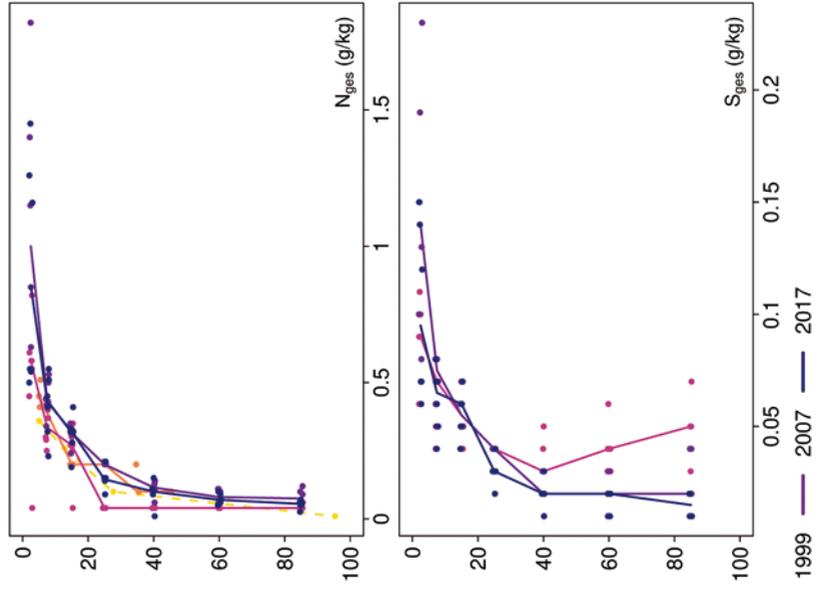
0-20 %

20-50 %

>50 %

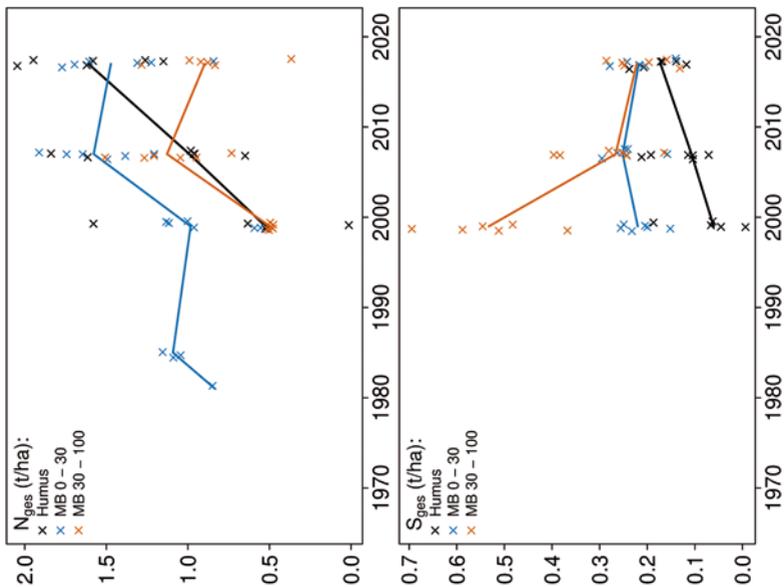
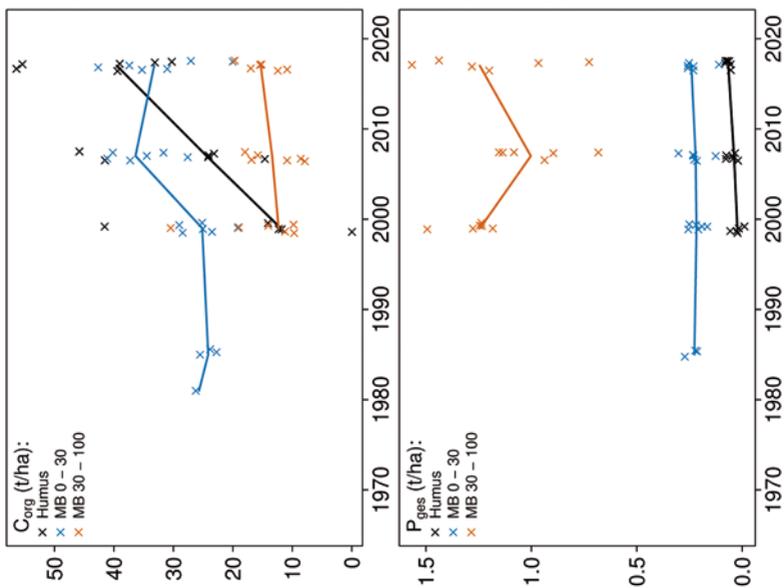
Ehrhorn Kiefer

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Ehrhorn Kiefer

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

EHK1

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden nicht überschritten.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Pb und Zink (Zn) über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie nicht überschritten.

In der Humusaufgabe überschreiten die Messwerte für Pb auch den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

In 0-10 cm Tiefe sind die Pb- und Cd-Gehalte mit Werten, die zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Gehalte aller Versuchsflächen liegen, höher als in größerer Tiefe. Die Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, Cu-, Nickel (Ni)- und Zn-Werte sind in dieser Tiefe niedrig und steigen mit zunehmender Tiefe an. Bemerkenswert sind die Cd-, Co- und Cu- Gehalte im Unterboden, die mit Werten zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil wesentlich höher als im Boden der benachbarten Fläche EHE1 sind.

In der Humusaufgabe sind die Cd- und Zn-Gehalte mit Werten im oberen Quartil sehr hoch. Für Cu und Pb liegen sie im mittleren Bereich, für Co, Cr und Ni zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median. Im Vergleich mit der benachbarten Eichenfläche EHE1 sind die Gehalte aller Schwermetalle höher.

In der Humusaufgabe veränderten sich die Vorräte aller Schwermetalle nur wenig. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur von der Inventur des Jahres 2017 Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe dieser Fläche ist durch anthropogen eingetragene Schwermetalle wesentlich stärker kontaminiert als die der Fläche EHE1, was die wesentlich höheren Gehalte an Cd, Pb, Cu und Zn zeigen. Der Vergleich mit der Fläche EHE1 zeigt auch wesentlich höhere Gehalte von Cd und Pb im Oberboden.

Bewertung Schwermetalle (2017)

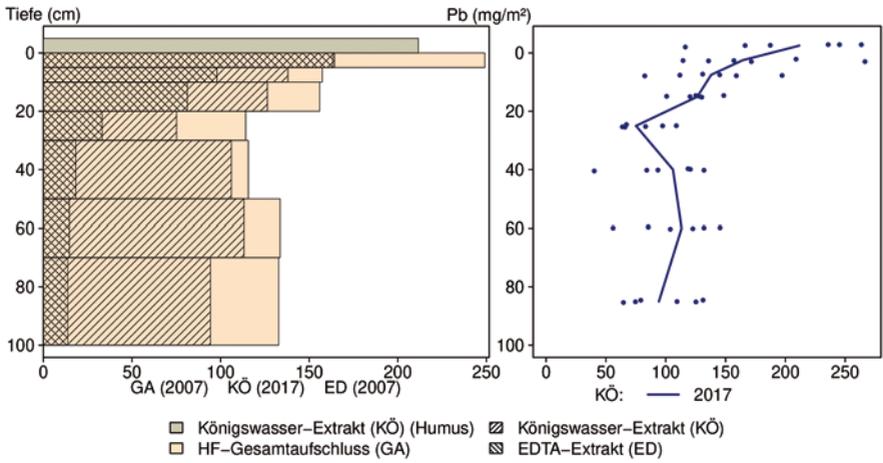
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,06	0,43	3,16	2,02	1,57	14,33	7,89
5	10	0,03	0,69	4,56	1,73	2,22	11,64	6,98
10	20	0,03	1,24	6,70	2,45	3,96	9,70	10,16
20	30	0,03	1,62	7,95	2,88	4,82	5,58	12,31
30	50	0,03	2,42	10,00	4,39	6,48	5,55	16,73
50	70	0,04	3,10	10,41	5,14	7,02	5,96	18,41
70	100	0,04	3,40	9,76	4,90	7,02	5,52	17,68
100	150	0,06	3,03	8,27	4,10	6,54	4,79	14,62
150	200	0,06	2,98	9,14	4,26	7,02	3,97	15,56
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

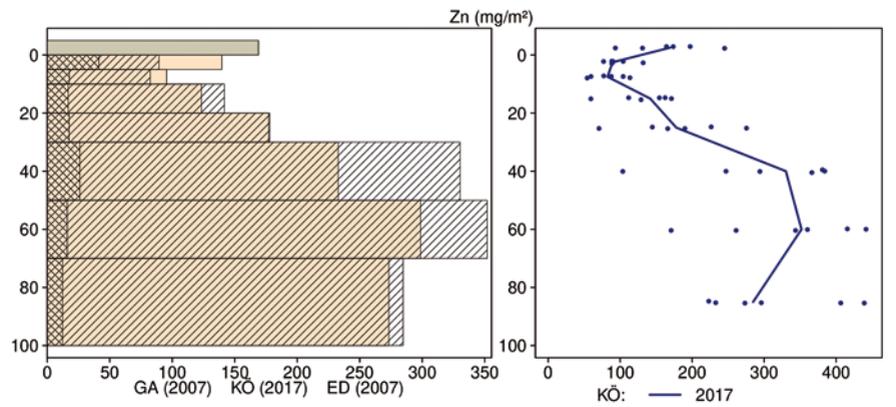
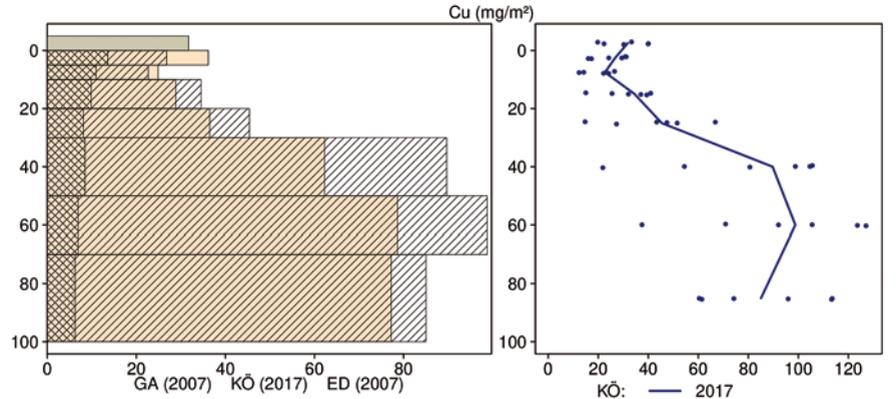
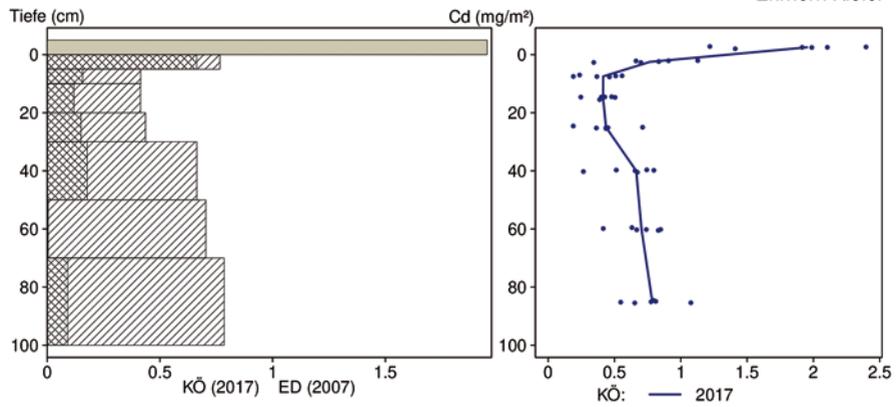
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

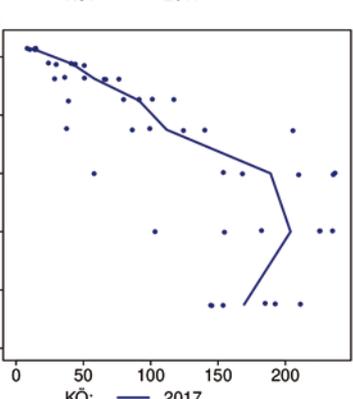
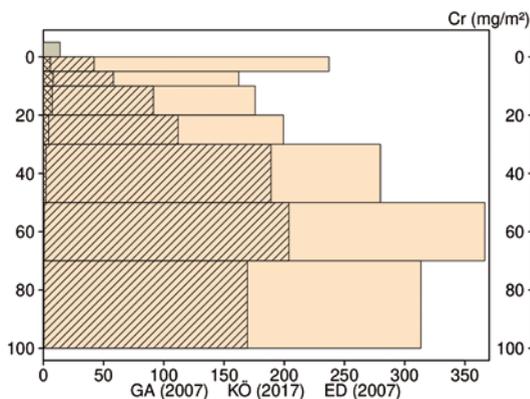
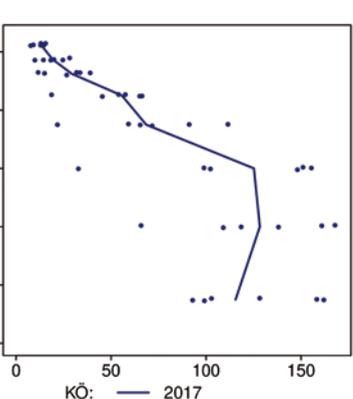
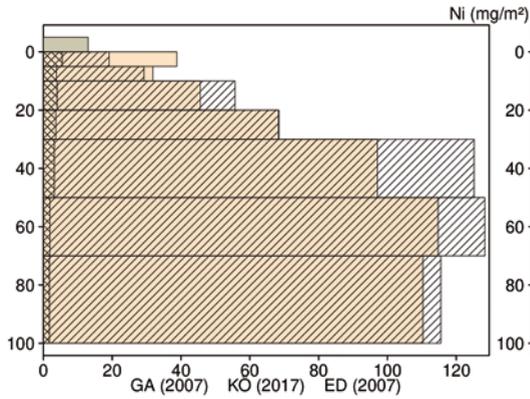
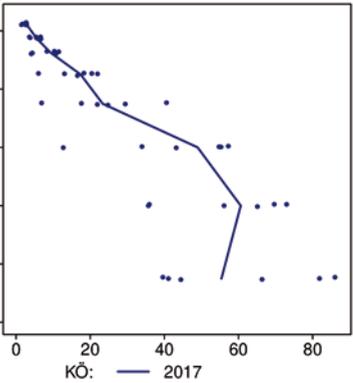
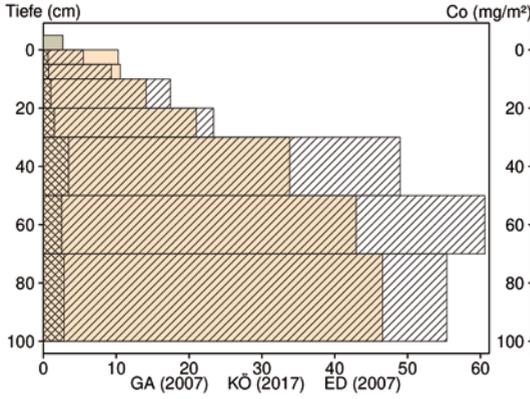
Schwermetallvorräte

Ehrhorn Kiefer





Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 EDTA-Extrakt (ED)



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 EDTA-Extrakt (ED)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)

12.4 Fürth Odenwald Buche (FODBU)

FODBU

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Beerfelden 767B		Hessen		
Wuchsgebiet	UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition		
Odenwald	488300			
Wuchsbezirk	UTM N	447/12/NW		
Südwestlicher Buntsandstein-Odenwald		5499200		
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	1121	1080	487	452
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	7,9	9,1	14,6	15,8
Monitoringprogramme				
WÖSSH				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen 1986, 1999 (WÖSSH), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 2013, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
-				
weitere Untersuchungen				
Bodenlösung, Deposition, Bodenvegetation, Kronenzustand, Baumwachstum, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
unterer Buntsandstein der Gelnhausen-Folge, mit schwach schluffigem, sandigem quartärem Decksediment	Böden aus basenarmem Festgestein		5-30 %, mäßig skeletthaltig	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
typischer feinhumusarmer Moder (MOA)	Braunerde, podsolig		Endoskeletal Chromic Dystric Cambisol (EpiArenic, Geoabruptic, Raptic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
3.5.13.23	ziemlich frisch, schwach mesotroph		100	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5	-			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Rotbuche	-		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
140	12,9/1,3		mäßige Hochdurchforstung	
sonstiges: Meteorologie und Luftqualität an der Luftmesstelle Fürth/Odw. (HLNUG)				

Profilbeschreibungen (nach KA5)

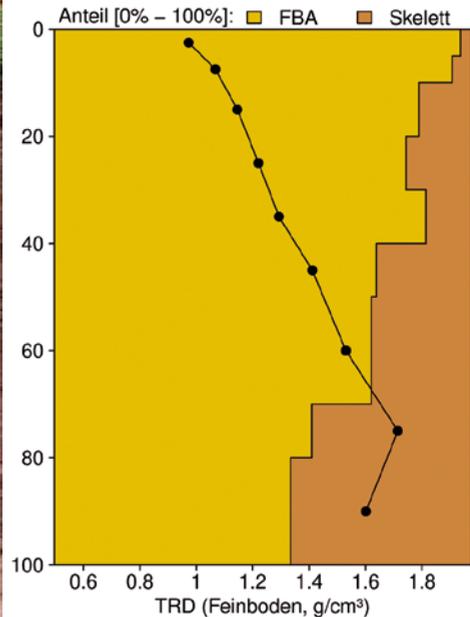
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-5.5 - -2	0	Vb	h7	Ld0	c0	6,3
Of	-2 - -0.5	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,3
Oh	-0.5 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	1,3
Ah	0 - 5	2	SI3	h3	Ld1	c0	8,8
Ah-Bv	5 - 13	4	SI3	h3	Ld2	c0	13,8
Bv	13 - 63	20	SI3	h2	Ld3	c0	56,0
IICv	63 - 90	38	Lts	h0	Ld5	c0	15,1
IIICv	90 - 130	43	SI2	h0	Ld5	c0	25,1
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							100,0
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							110,9

Schwender 19.4.2013

FODBU



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2013

FODBU

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	35,2	4,1	5,6	2,0	0,07	31,1	2,9	5,3	5,02	4,46
Of	-	-	46,6	8,5	17,4	3,8	0,16	23,9	7,5	14,6	4,69	4,00
Oh	-	-	29,5	18,9	53,8	5,5	0,29	18,8	15,5	31,9	3,84	3,15
0 - 5	9,6	37,6	37,1	8,2	18,4	14,4	0,77	18,7	71,1	77,9	3,94	3,28
5 - 10	6,3	36,7	18,5	5,6	14,8	11,1	0,57	19,6	63,5	61,0	4,11	3,51
10 - 20	4,7	50,2	12,5	5,8	20,5	15,4	0,78	19,9	108	86,0	4,38	3,88
20 - 30	4,8	37,1	8,4	3,7	18,4	11,1	0,59	18,9	106	73,9	4,56	4,12
30 - 40	5,3	34,8	8,3	4,0	20,2	8,7	0,52	16,6	114	88,8	4,66	4,27
40 - 50	6,3	27,1	6,3	4,2	18,6	5,6	0,41	13,8	110	93,9	4,69	4,36
50 - 70	8,5	42,4	11,4	8,4	40,0	6,2	0,57	10,9	211	168	4,70	4,38
70 - 80	8,2	16,6	4,1	3,7	17,2	1,3	0,18	7,3	83,7	45,0	4,67	4,32
80 - 100	7,5	37,0	8,1	7,6	42,4	1,4	0,28	5,1	148	44,6	4,67	4,18
Σ L-100cm		319	226	82,8	287	86,7	5,2		1041	790		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Buchen-Reinbestand wurde auf einem tiefgründigen lehmigen Sandboden mit mäßigem Skelettgehalt begründet. Der Boden ist sehr homogen, was die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte zeigt, die mit Variationskoeffizienten zwischen 10 und 30 % vergleichsweise gering ist.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2013 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei mittlerem C/N- Verhältnis bis in 40 cm Tiefe und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte sind gering.

Für Phosphor (P) lag der Vorrat 2013 mit 1041 t/ha im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen.

Und auch der mit zunehmender Tiefe stark abnehmende Schwefel (S)-Vorrat lag mit 790 kg/ha im unteren Quartil.

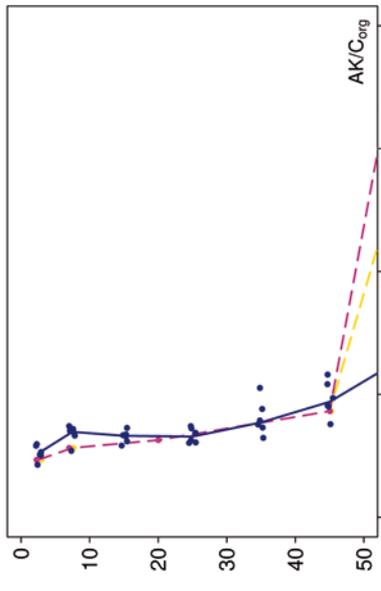
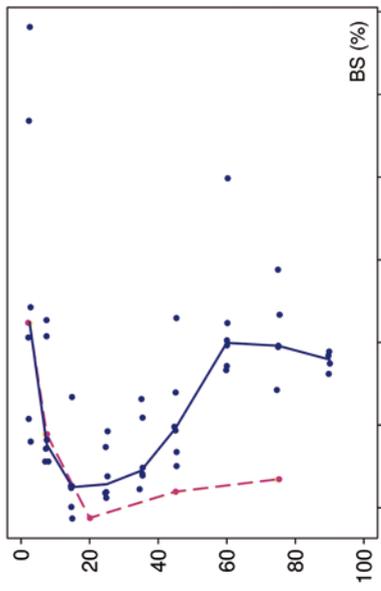
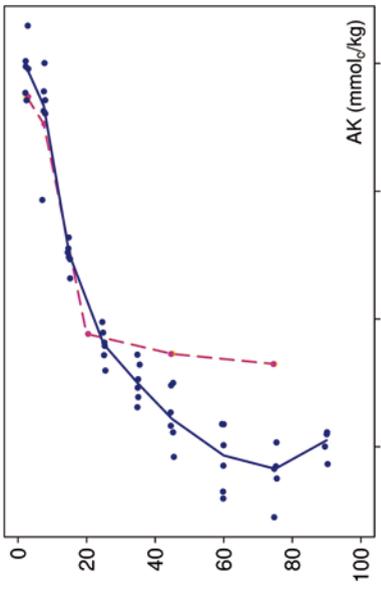
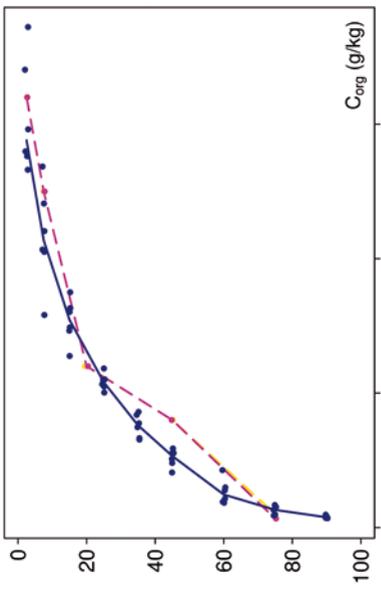
Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs der ersten beiden Inventuren wird auf die Veränderungen der Bodenvorräte an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Entsprechendes gilt auch für die bodenchemischen Indikatorvariablen.

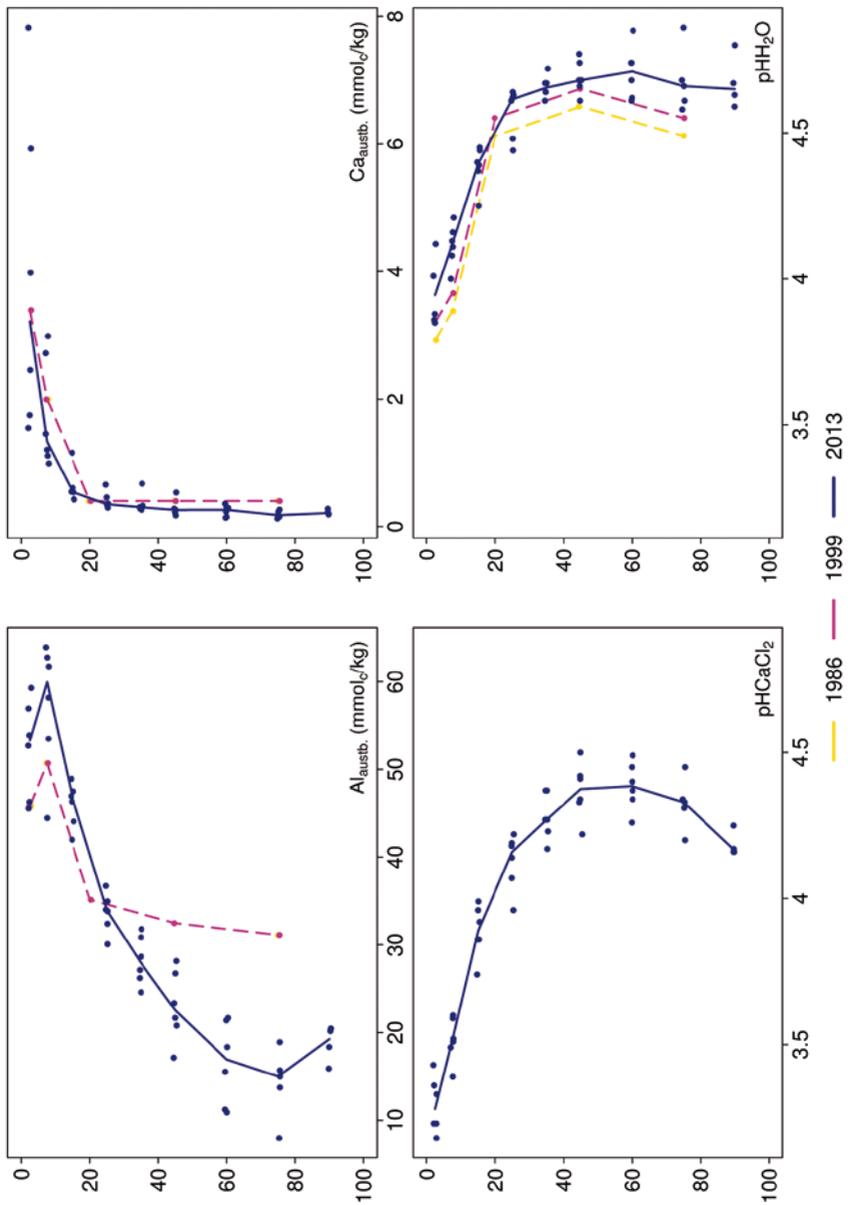
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 10 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Ein Vergleich mit der benachbarten Fläche FODFI zeigt eine geringere Versauerung im Oberboden und einen geringeren S-Vorrat.

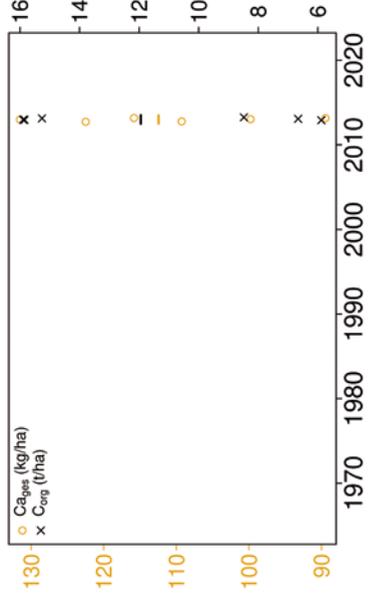
Fürth Odenwald Buche

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

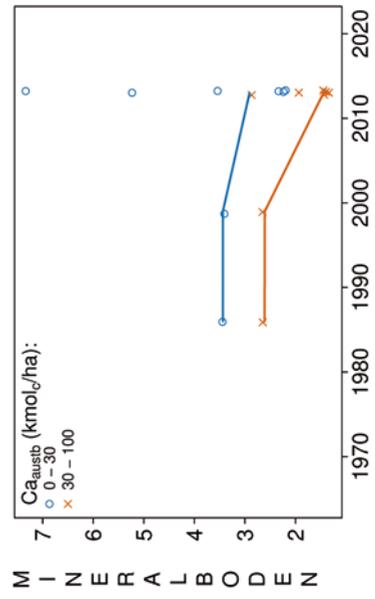
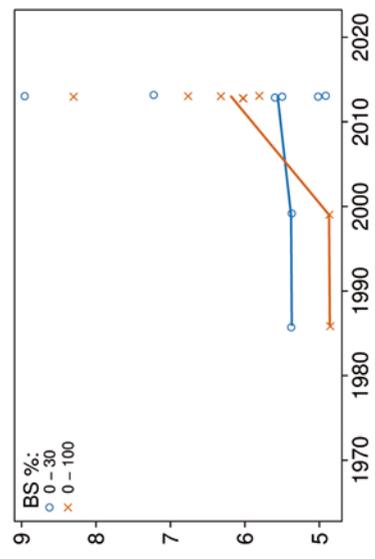
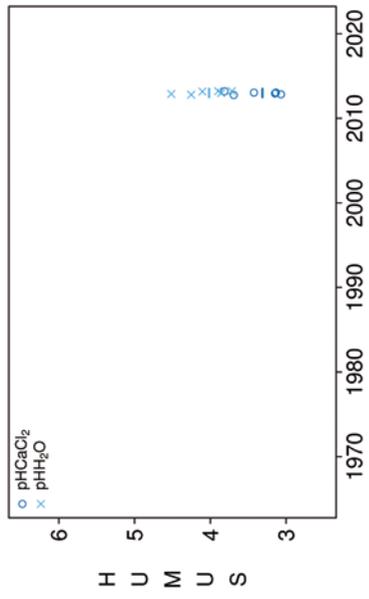




Vorrats- und pH-Änderungen



Fürth Odenwald Buche



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2013)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	7,39	0,16	7,31	1,36	0,54	0,06	0,15	0,16	0,038	0,68	8,10	2,33	3,06	25,14	9,82
5	10	8,03	0,12	7,47	1,29	0,56	0,06	0,12	0,12	0,030	0,64	8,05	1,41	2,84	14,79	9,07
10	20	9,39	0,10	7,38	1,36	0,60	0,11	0,11	0,09	0,035	0,80	8,34	1,06	2,88	9,77	9,55
20	30	10,62	0,11	7,60	1,48	0,65	0,16	0,10	0,07	0,035	1,16	8,94	0,89	3,49	7,07	12,04
30	40	12,44	0,12	8,63	1,68	0,79	0,15	0,10	0,08	0,030	1,46	10,42	0,89	4,74	5,55	16,48
40	50	12,21	0,13	8,73	1,78	0,86	0,14	0,10	0,09	0,026	1,70	10,72	0,88	5,74	4,61	18,25
50	70	9,58	0,11	8,10	1,73	0,83	0,14	0,09	0,07	0,022	1,69	9,72	0,86	5,54	3,61	14,25
70	80	7,78	0,08	8,40	1,90	0,81	0,19	0,08	0,04	0,022	1,83	9,42	0,89	5,07	3,35	9,79
80	100	7,70	0,05	9,08	2,49	0,71	0,18	0,08	0,02	0,020	1,34	9,91	0,73	4,38	2,93	7,82

bis 25%-Quantil

25 %-Quantil - Med.

Med. - 75 %-Quantil

75 %-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2013)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	12	35	9	15	14	30	20	12	23	20	9	22	11	10	16
5	10	16	22	9	19	16	34	19	12	32	13	9	24	12	11	20
10	20	15	12	8	16	13	40	14	5	26	14	9	15	10	8	17
20	30	9	9	5	13	9	42	7	4	15	5	7	14	8	3	9
30	40	14	12	7	20	10	49	9	26	10	8	9	12	16	3	22
40	50	8	14	8	22	8	30	15	26	5	11	8	7	7	10	8
50	70	22	29	18	27	24	22	21	34	19	27	19	26	20	22	24
70	80	20	51	16	16	32	19	12	32	15	36	21	40	23	26	25
80	100	2	22	5	6	8	12	26	21	16	18	5	17	6	8	24

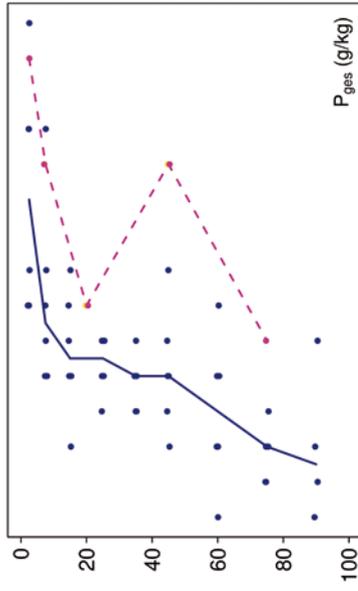
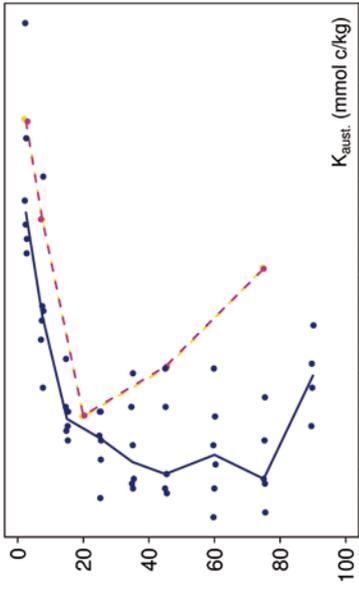
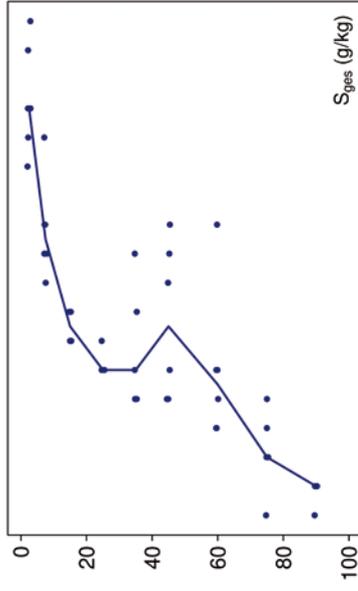
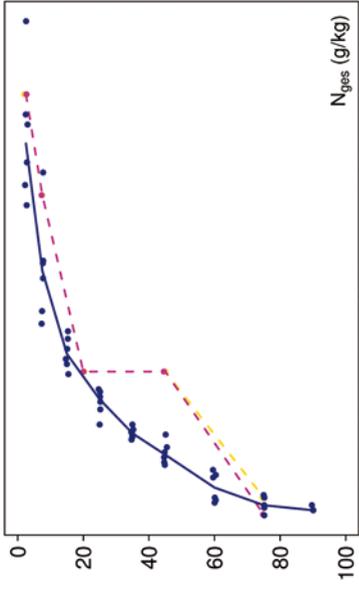
0-20 %

20-50 %

>50 %

Fürth Odenwald Buche

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

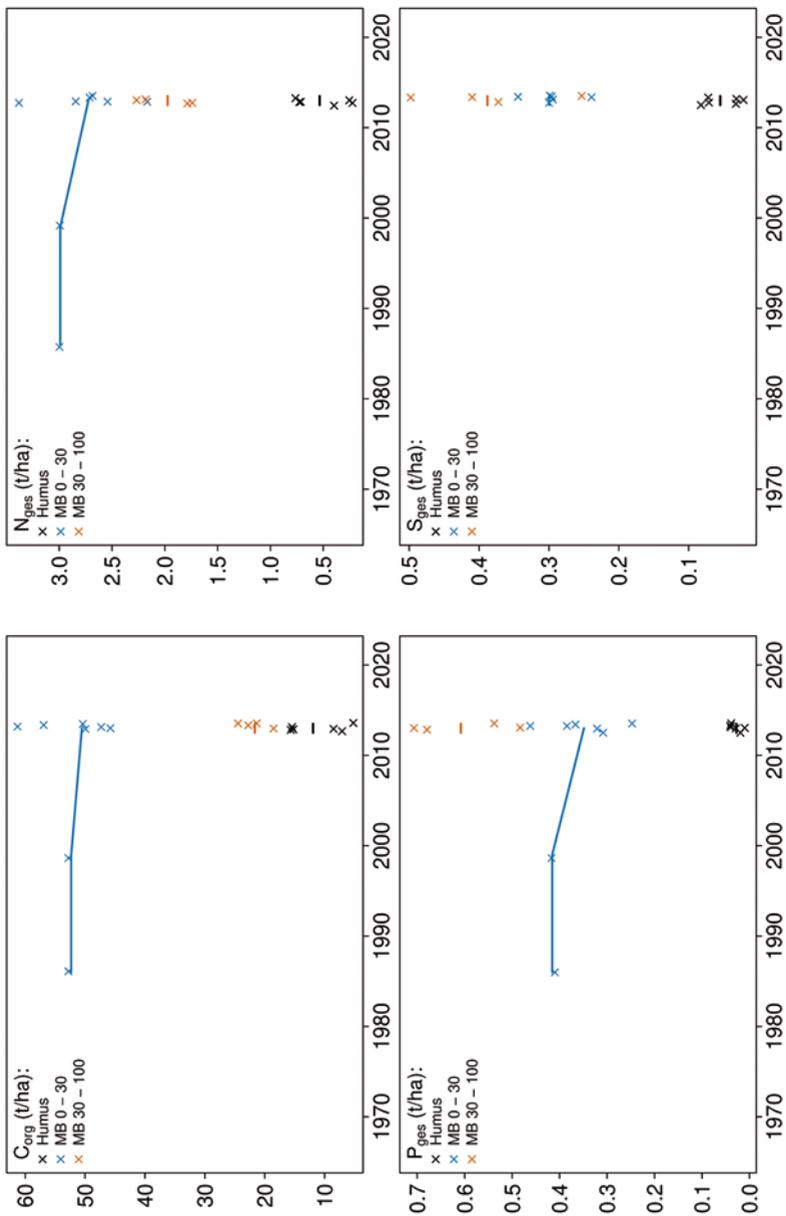


— 1999 — 2013

— 1986 — 1988

Fürth Odenwald Buche

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden dieser Fläche ist ein tiefgründiger, lehmiger Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

FODBU

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine leichte und für Cadmium (Cd) und Kupfer (Cu) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

In 0-5 cm Tiefe liegen die Pb-Gehalte zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. Kritische Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, werden nicht überschritten.

Die Hintergrundwerte für die Humusaufgabe von Waldböden (Bommarez et al. 2021) werden nur für Cu und Pb überschritten. Im Mineralboden liegen alle Messwerte unter diesen Werten.

Die Pb-Gehalte sind mit Werten im oberen Quartil der Gehalte aller Versuchsflächen in 0-5 cm Tiefe, und Werten zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil bis in 10 cm Tiefe sehr hoch. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie auf sehr niedrige Werte ab. Für Cu zeigen sich ebenfalls erhöhte Werte (25 %-Quartil – Median) bis in 5 cm Tiefe bei sehr niedrigen Gehalten in größerer Tiefe. Die Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, Nickel (Ni)- und Zink (Zn)-Gehalte sind im Oberboden niedrig, und steigen mit zunehmender Tiefe an. Für Cd sind sie im gesamten Profil sehr niedrig.

In der Humusaufgabe wurden mittlere Pb-Werte (Median – 75 %-Quartil), leicht erhöhte Cu-Werte (25 %-Quartil – Median) und sehr niedrige Cd- und Zn-Werte gefunden.

Über eine Veränderung der Schwermetall-Gehalte kann keine Aussage gemacht werden, da es nur von einer Inventur Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Pb und Cu beeinflusst, was an der Überschreitung der Hintergrundwerte zu sehen ist. Die stark erhöhten Pb- und leicht erhöhten Cu-Werte im Oberboden zeigen, dass eine Verlagerung dieser Elemente aus der Humusaufgabe in den Mineralboden stattgefunden hat. Im Vergleich zu der benachbarten Fichtenfläche FODFI sind die Schwermetall-Gehalte in der Humusaufgabe wesentlich niedriger. Außerdem hat eine stärkere Verlagerung von Pb in den Mineralboden stattgefunden, da die Pb-Konzentration im oberen Mineralboden viel höher als im Boden der Fläche FODFI ist.

Bewertung Schwermetalle (2013)

FODBU

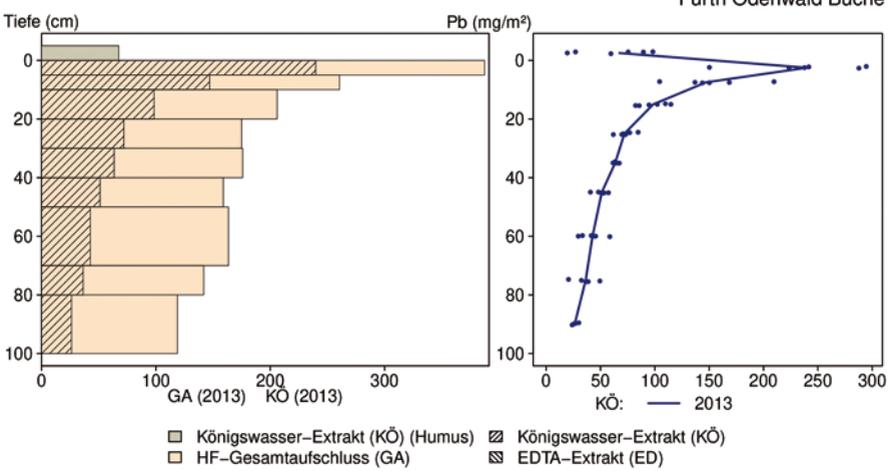
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,04	0,68	8,10	2,33	3,06	25,14	9,82
5	10	0,03	0,64	8,05	1,41	2,84	14,79	9,07
10	20	0,04	0,80	8,34	1,06	2,88	9,77	9,55
20	30	0,04	1,16	8,94	0,89	3,49	7,07	12,04
30	40	0,03	1,46	10,42	0,89	4,74	5,55	16,48
40	50	0,03	1,70	10,72	0,88	5,74	4,61	18,25
50	70	0,02	1,69	9,72	0,86	5,54	3,61	14,25
70	80	0,02	1,83	9,42	0,89	5,07	3,35	9,79
80	100	0,02	1,34	9,91	0,73	4,38	2,93	7,82
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

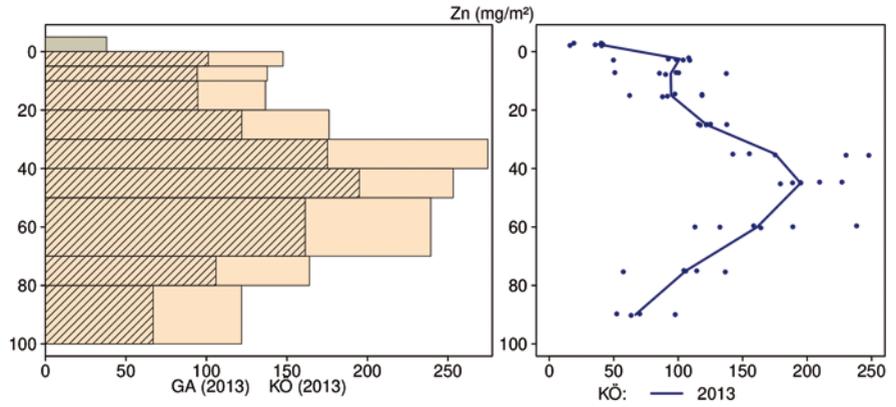
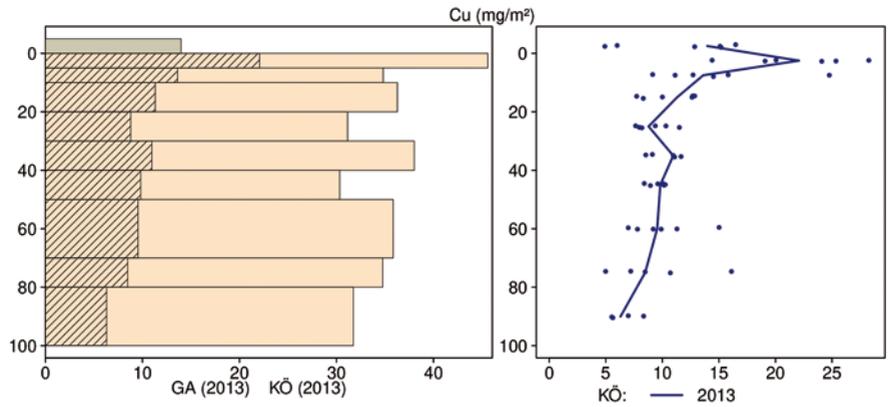
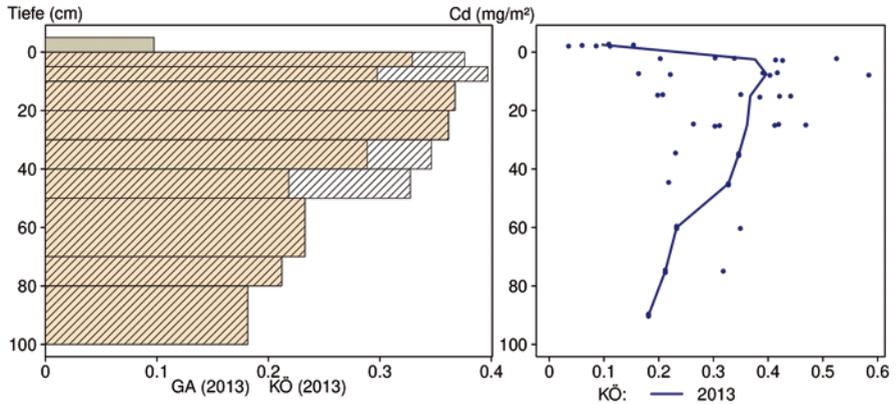
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte

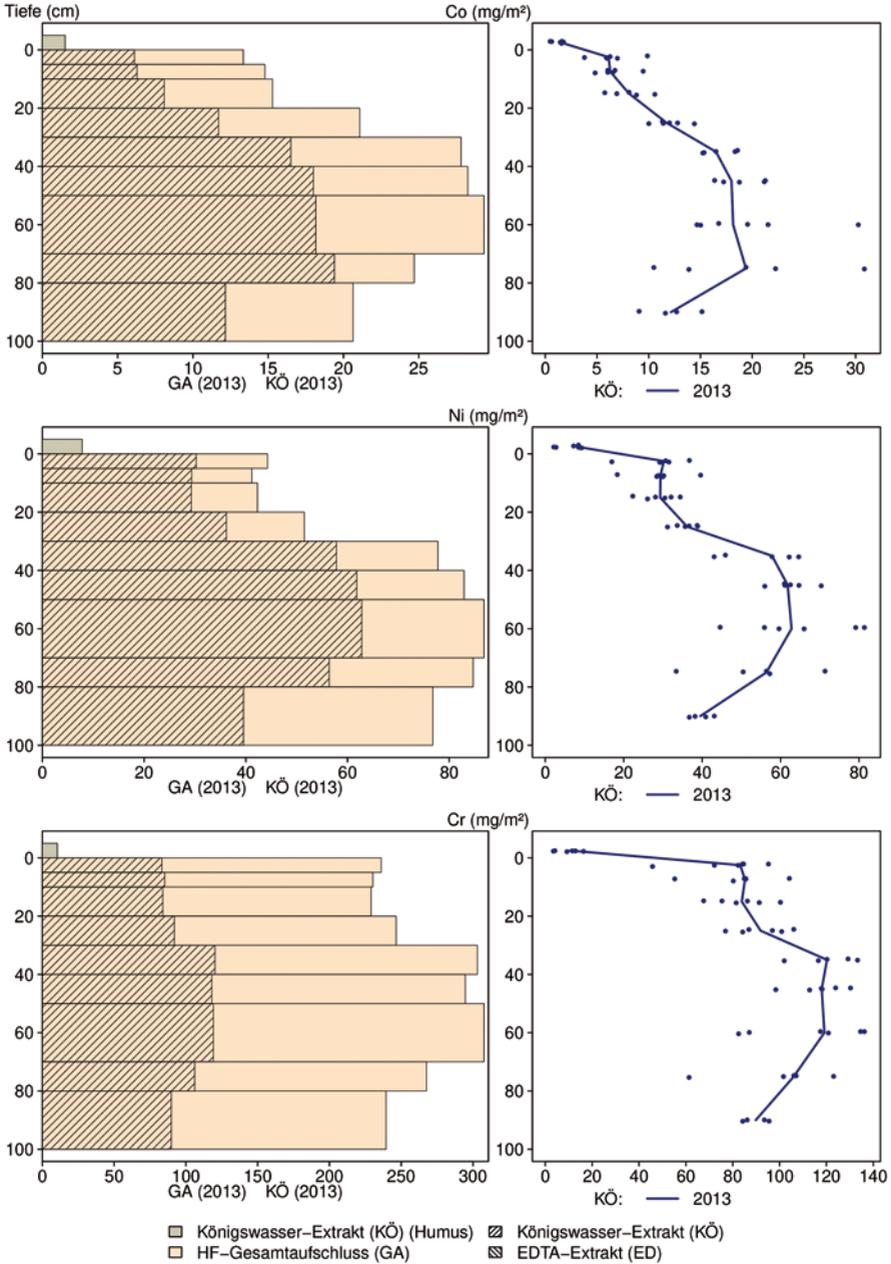
Fürth Odenwald Buche





- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)

Fürth Odenwald Buche



12.5 Fürth Odenwald Fichte (FODFI)

FODFI

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Beerfelden 767C		Hessen		
Wuchsgebiet	UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition		
Odenwald	488200			
Wuchsbezirk	UTM N	452/17/WNW		
Südwestlicher Buntsandstein-Odenwald	5499000			
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	1121	1080	487	452
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	7,9	9,1	14,6	15,8
Monitoringprogramme				
WÖSSH, Level II plot 610				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen 1986, 1999 (WÖSSH, Level II), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 2013, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
-				
weitere Untersuchungen				
Bodenlösung, Deposition, Streufall, Bodenvegetation, Kronenzustand, Baumwachstum, Nadel-/Blattanalyse, LAI				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
unterer Buntsandstein der Gelnhausen-Folge, mit schwach schluffigem, sandigem quartärem Decksediment	Böden aus basenarmem Festgestein		5-30 %, mäßig skeletthaltig	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
feinhumusarmer rohhumusartiger Moder (MRA)	Braunerde, podsolig		Albic Endoskeletal Podzol (Anoarenic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
3.5.13.23	ziemlich frisch, schwach mesotroph		104	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5	-			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
122	14,4/0,9		mäßige Niederdurchforstung	
sonstiges: Meteorologie und Luftqualität an der Luftmesstelle Fürth/Odw. (HLNUG)				

Profilbeschreibungen (nach KA5)

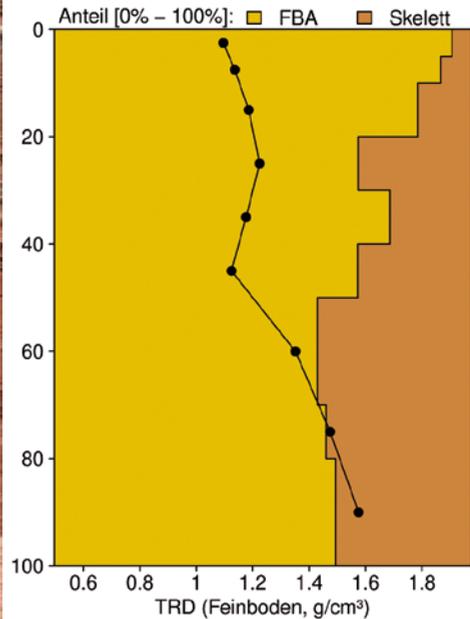
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/Horizont
L	-9.5 - -7.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,6
Of	-7.5 - -2	0	Vn	h7	Ld0	c0	12,1
Oh	-2 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	5,2
Ahe	0 - 2	4	SI2	h3	Ld1	c0	3,1
Bsh	2 - 8	7	SI2	h3	Ld1	c0	8,9
Bv	8 - 67	19	SI3	h2	Ld3	c0	66,9
IICv	67 - 100	30	SI2	h1	Ld4	c0	25,4
IIICv	100 - 120	33	Lts	h0	Ld5	c0	12,1
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							104,3
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							125,2

Schwender 14.4.2013

FODFI



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2013

FODFI

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	75,7	8,0	20,2	10,8	0,37	29,6	16,4	29,7	4,26	3,61
Of	-	-	81,0	17,3	40,3	17,3	0,71	24,3	27,5	76,0	3,68	2,97
Oh	-	-	56,4	25,9	68,7	19,1	0,78	24,5	34,9	91,3	3,47	2,81
0 - 5	8,3	39,5	24,5	4,6	21,0	18,1	0,83	21,9	69,1	80,5	3,68	2,98
5 - 10	5,5	38,0	13,2	3,3	17,0	12,7	0,62	20,8	70,7	65,9	3,69	3,10
10 - 20	4,5	69,5	13,4	4,7	28,9	20,0	0,93	21,4	116	105	3,92	3,39
20 - 30	4,1	45,2	7,1	2,4	21,3	13,4	0,60	22,3	88,1	75,2	4,23	3,78
30 - 40	4,5	38,0	5,8	1,8	22,6	11,3	0,53	21,2	83,4	71,9	4,42	4,05
40 - 50	5,2	25,9	3,5	1,1	21,2	6,6	0,37	18,0	72,4	66,8	4,51	4,21
50 - 70	6,4	41,9	6,3	1,8	39,6	7,5	0,56	13,4	132	133	4,53	4,28
70 - 80	7,9	20,9	3,2	1,1	25,3	2,1	0,22	9,6	70,9	63,6	4,54	4,24
80 - 100	6,6	46,4	6,8	2,6	53,5	2,9	0,40	7,1	160	115	4,50	4,16
Σ L-100cm		365	297	74,5	380	142	6,9		942	973		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Fichten-Reinbestand wurde auf einem tiefgründigen lehmigen Sandboden mit mäßigem Skelettgehalt begründet. Der Boden ist sehr homogen, was die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte zeigt, die mit Variationskoeffizienten zwischen 10 und 30 % vergleichsweise gering ist.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2013 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei mäßig weitem C/N-Verhältnis bis in 40 cm Tiefe und mittlerem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte sind gering.

Für Phosphor (P) lag der Vorrat 2013 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 942 t/ha im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen.

Der mit zunehmender Tiefe stark abnehmende Schwefel (S)-Vorrat lag mit einem Vorrat von 973 kg/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median und über dem Vorrat der Buchenfläche FODBU in unmittelbarer Nähe.

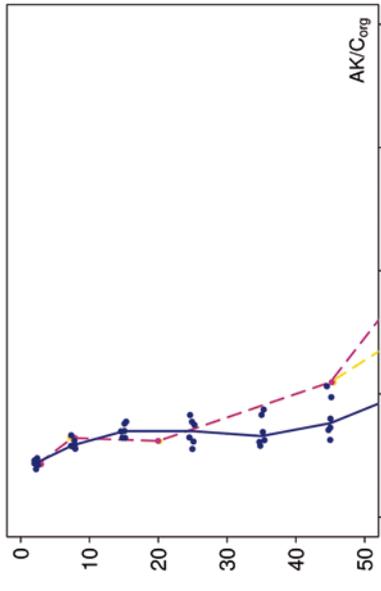
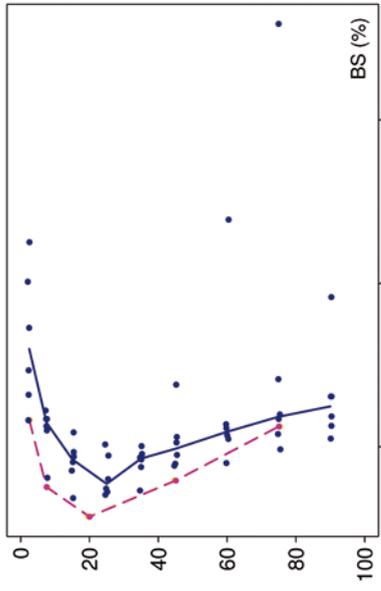
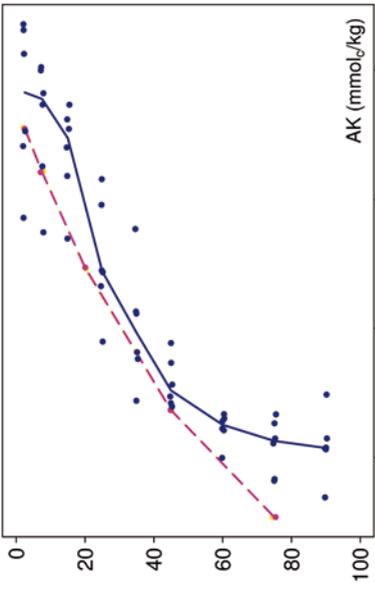
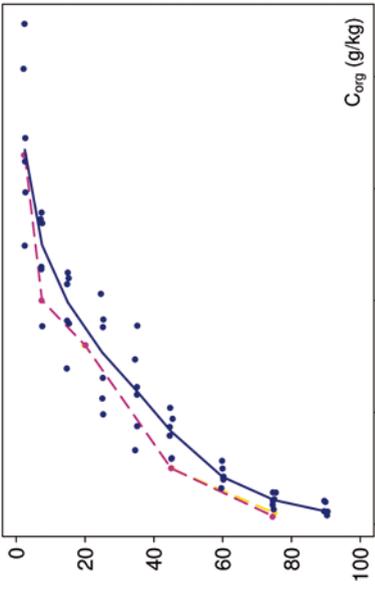
Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs der ersten beiden Inventuren wird auf die Veränderungen der Bodenvorräte an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Entsprechendes gilt auch für die bodenchemischen Indikatorvariablen.

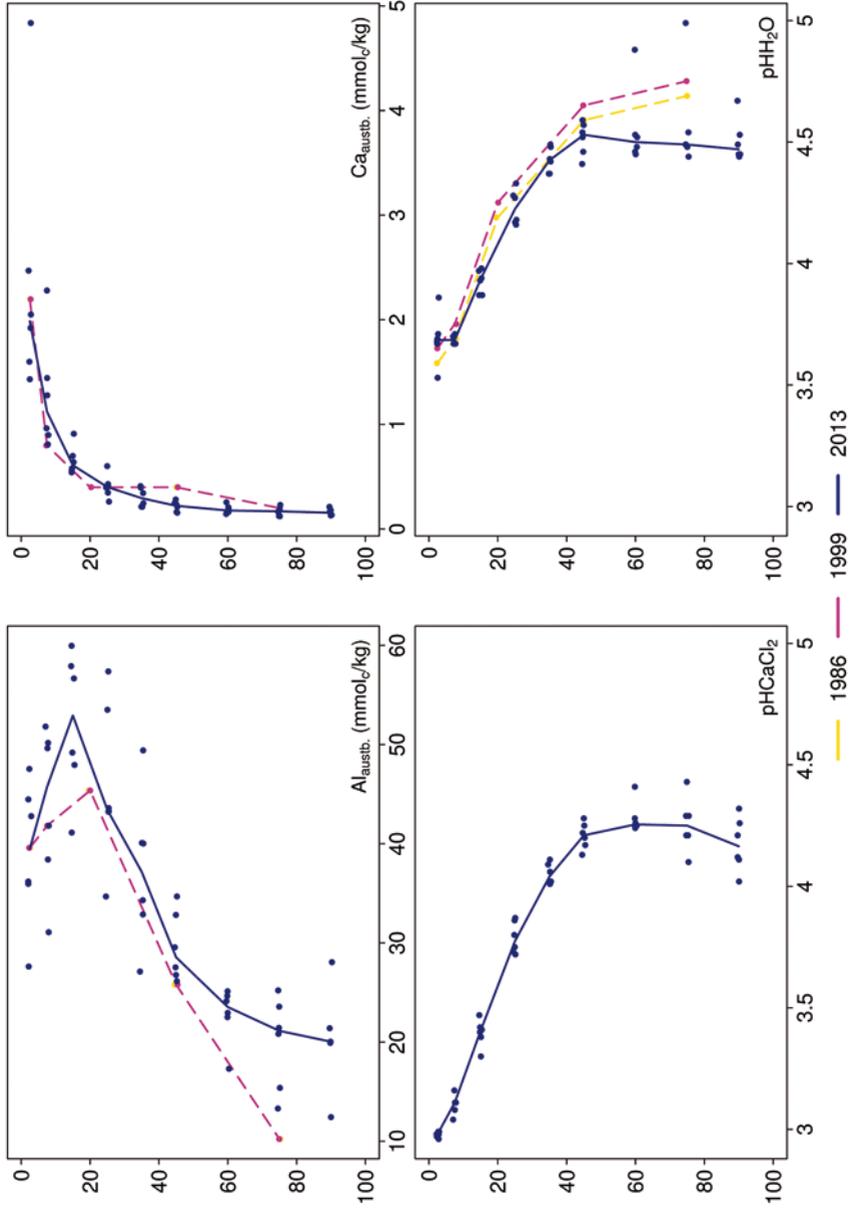
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 20 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 10 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Er ist somit in 0-20 cm Tiefe stärker versauert als der Boden der Fläche FODBU.

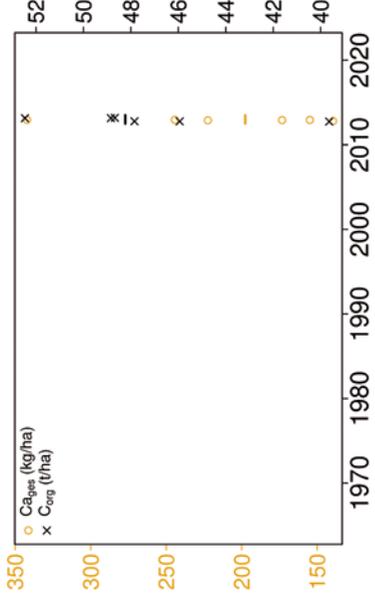
Fürth Odenwald Fichte

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

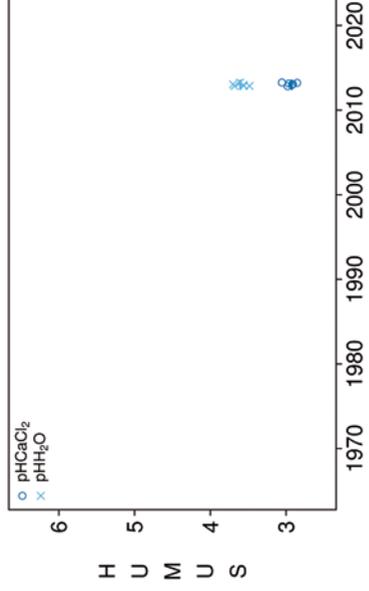




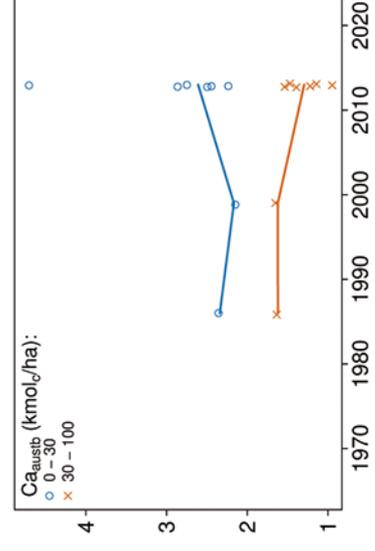
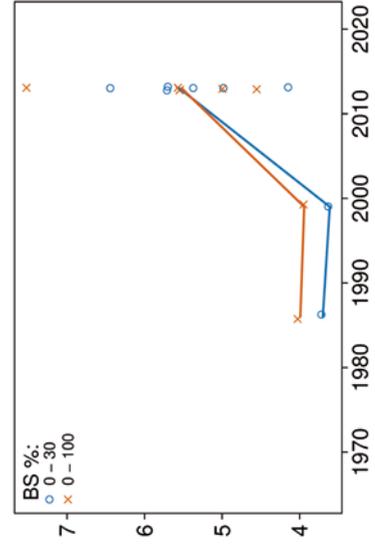
Vorrats- und pH-Änderungen



Fürth Odenwald Fichte



M I N E R A L B O D E N



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2013)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	5,71	0,10	5,58	1,18	0,40	0,04	0,13	0,15	0,029	0,51	6,77	3,06	2,40	21,43	8,34
5	10	6,93	0,09	7,05	1,40	0,50	0,05	0,13	0,12	0,029	0,57	7,60	1,56	2,53	16,92	7,75
10	20	7,86	0,08	7,20	1,48	0,56	0,06	0,11	0,10	0,023	0,65	7,84	0,95	2,51	13,09	7,85
20	30	8,89	0,08	7,27	1,47	0,57	0,06	0,10	0,08	0,021	0,69	8,19	0,73	2,64	9,06	9,08
30	40	9,71	0,08	7,53	1,52	0,61	0,08	0,09	0,08	0,019	0,92	8,64	0,66	3,33	6,70	9,93
40	50	11,12	0,08	8,27	1,77	0,71	0,11	0,09	0,08	0,018	1,28	9,75	0,73	4,26	5,78	13,22
50	70	11,07	0,08	8,73	2,00	0,82	0,14	0,08	0,08	0,018	1,68	10,61	0,74	5,47	4,09	15,03
70	80	9,75	0,07	9,25	2,31	0,83	0,21	0,07	0,07	0,018	1,68	10,74	0,73	5,42	3,51	13,22
80	100	8,66	0,05	9,41	2,54	0,79	0,16	0,08	0,05	0,018	1,43	10,76	0,72	4,72	3,43	10,27

□ bis 25%-Quantil

□ 25 %-Quantil - Med.

□ Med. - 75 %-Quantil

□ 75 %-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2013)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	19	31	16	16	18	36	25	21	51	17	16	22	17	18	14
5	10	19	23	15	15	18	18	28	15	33	19	15	16	17	10	18
10	20	13	16	9	10	13	23	18	11	23	17	9	10	13	33	14
20	30	14	16	8	10	12	18	19	20	31	10	9	13	13	18	27
30	40	15	18	11	13	14	35	23	23	25	20	10	15	17	14	20
40	50	12	16	10	10	14	43	22	27	31	28	11	16	26	7	27
50	70	11	17	7	11	11	50	11	13	17	15	7	9	13	9	11
70	80	12	37	12	20	11	48	13	32	24	7	9	10	11	10	21
80	100	13	51	13	24	16	15	34	48	15	15	11	18	10	17	17

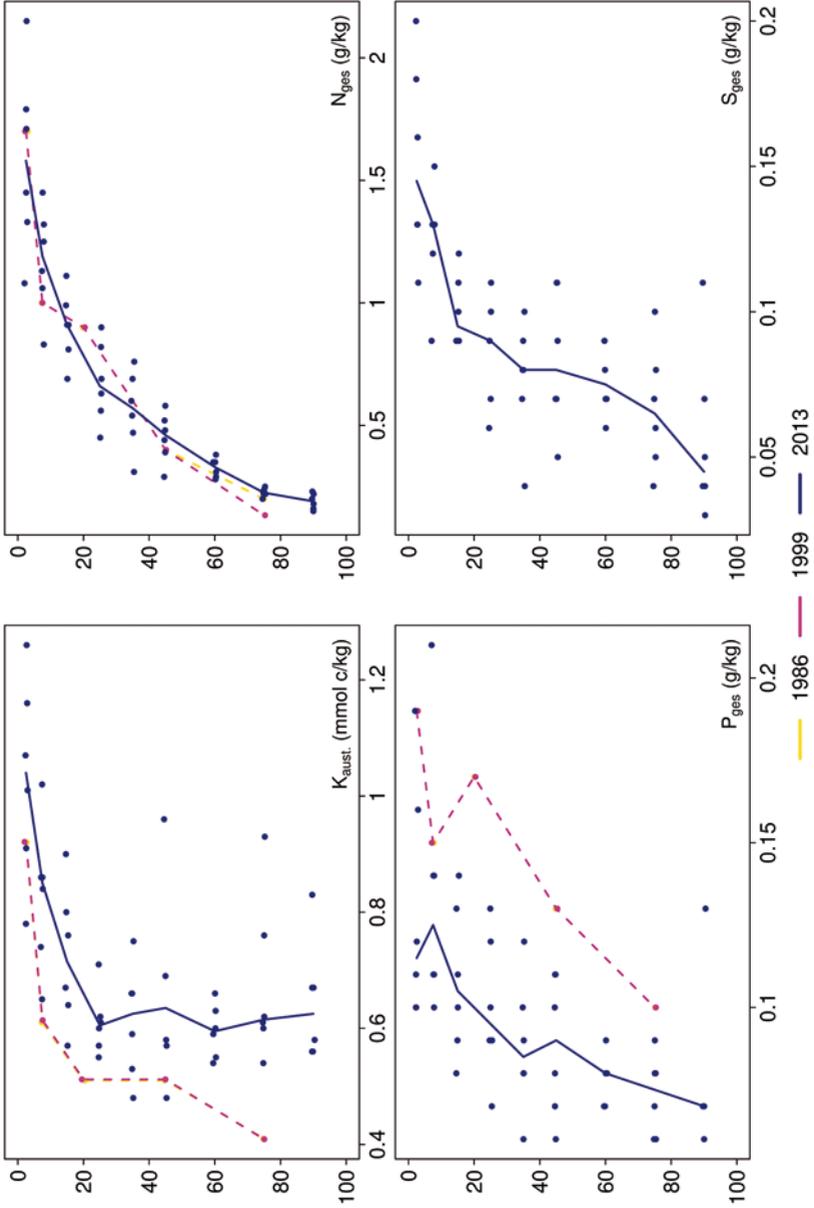
□ 0-20 %

□ 20-50 %

□ >50 %

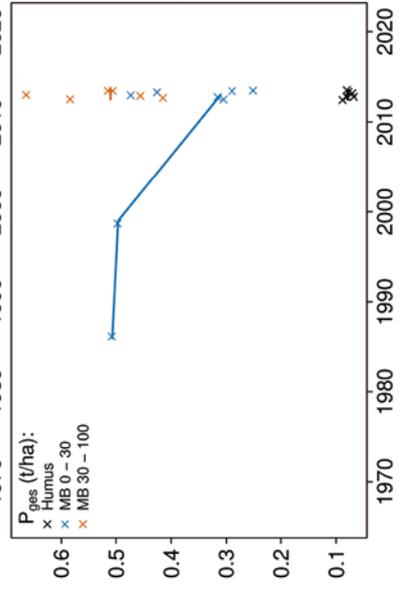
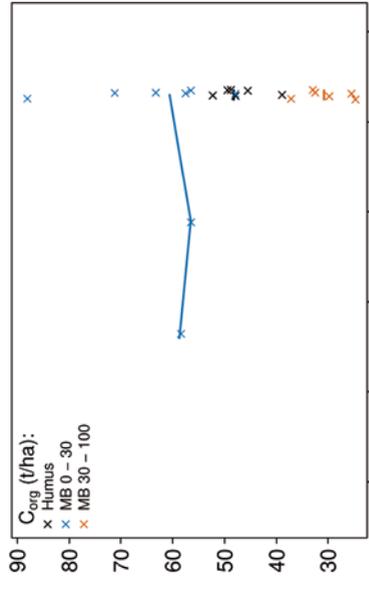
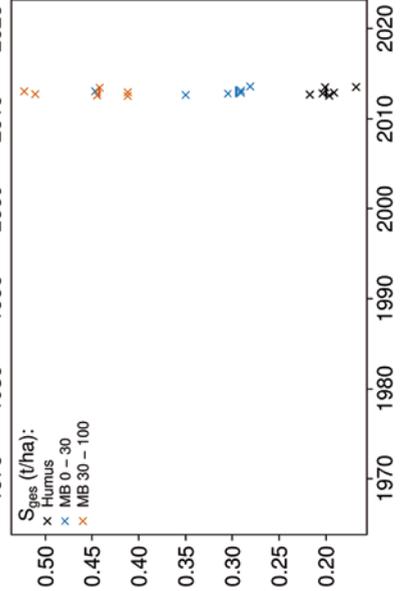
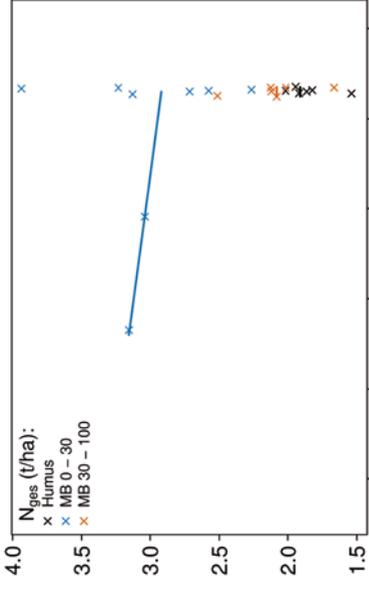
Fürth Odenwald Fichte

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Fürth Odenwald Fichte

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden dieser Fläche ist ein tiefgründiger, lehmiger Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

FODFI Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) und Kupfer (Cu) eine leichte, für Cadmium (Cd) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

In 0-5 cm Tiefe wird zudem der halbe Vorsorgewert der BBodSchV von Pb überschritten.

Die Hintergrundwerte für die Humusaufgabe von Waldböden (Bommaré et al. 2021) werden für Chrom (Cr), Cu, Nickel (Ni) und Pb überschritten. Für Pb liegen sie auch im Mineralboden über diesem Wert.

In der Humusaufgabe liegen die Messwerte für Pb auch über dem kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Die Pb-Gehalte liegen bis in 20 cm Tiefe über dem Median der Gehalte aller Versuchsflächen und nehmen mit zunehmender Tiefe auf sehr niedrige Werte ab. Für Cu zeigen sich ebenfalls erhöhte Werte bis in 5 cm Tiefe (25 %-Quartil – Median), bei sehr niedrigen Gehalten in größerer Tiefe. Die Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, Nickel (Ni)- und Zink (Zn)-Gehalte sind im Oberboden sehr niedrig, und steigen mit zunehmender Tiefe auf Werte zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median an. Für Cd sind sie im gesamten Profil sehr niedrig und liegen in größerer Tiefe fast ausnahmslos unter der Bestimmungsgrenze.

In der Humusaufgabe liegen die Cu-, Co-, Cr- und Ni-Gehalte im oberen Quartil, für Pb über dem Median und für Zn nur geringfügig unter dem Median. Nur für Cd sind die Gehalte sehr gering.

Über eine Veränderung der Schwermetall-Gehalte kann keine Aussage gemacht werden, da nur von einer Inventur Messwerte vorliegen.

Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Pb, Co, Cr, Cu und Ni beeinflusst, was durch die Überschreitung der Hintergrundwerte und des kritischen Levels für Pb zu sehen ist. Die stark erhöhten Pb- und die leicht erhöhten Cu-Werte im Oberboden zeigen, dass zudem eine Verlagerung dieser Elemente aus der Humusaufgabe in den Mineralboden stattgefunden hat. Da die Pb-Gehalte im oberen Mineralboden niedriger, in der Humusaufgabe aber viel höher als im Boden der unmittelbar benachbarten Buchenfläche FODBU ist, wurde hier Pb offensichtlich weniger stark in den Mineralboden verlagert, was an der mächtigeren Humusaufgabe (rohhumusartiger Moder statt Moder) liegen könnte. Die insgesamt höheren Vorräte in der Humusaufgabe zeigen, dass wegen der ganzjährigen Benadelung der Bäume und der größeren Interzeptionsfläche des Bestandes offensichtlich mehr Schwermetalle aus der Luft ausgekämmt werden konnten.

Bewertung Schwermetalle (2013)

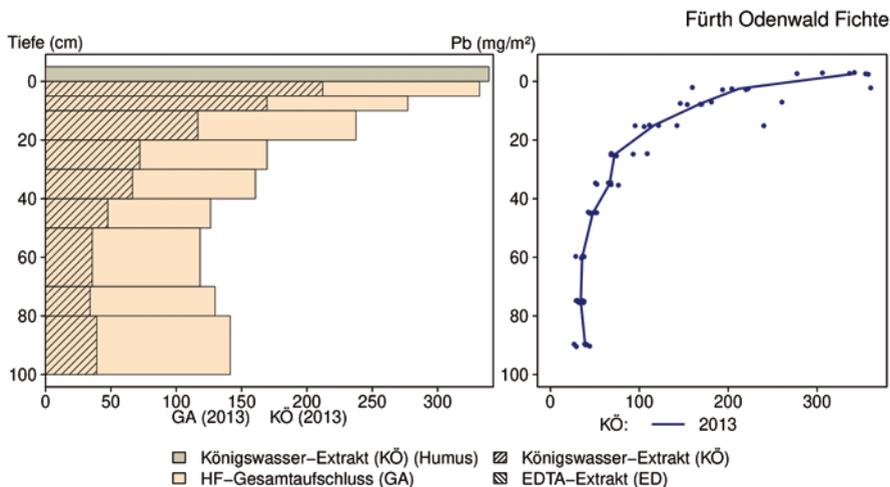
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,03	0,51	6,77	3,06	2,40	21,43	8,34
5	10	0,03	0,57	7,60	1,56	2,53	16,92	7,75
10	20	0,02	0,65	7,84	0,95	2,51	13,09	7,85
20	30	0,02	0,69	8,19	0,73	2,64	9,06	9,08
30	40	0,02	0,92	8,64	0,66	3,33	6,70	9,93
40	50	0,02	1,28	9,75	0,73	4,26	5,78	13,22
50	70	0,02	1,68	10,61	0,74	5,47	4,09	15,03
70	80	0,02	1,68	10,74	0,73	5,42	3,51	13,22
80	100	0,02	1,43	10,76	0,72	4,72	3,43	10,27
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

FODFI

> Vorsorgewert

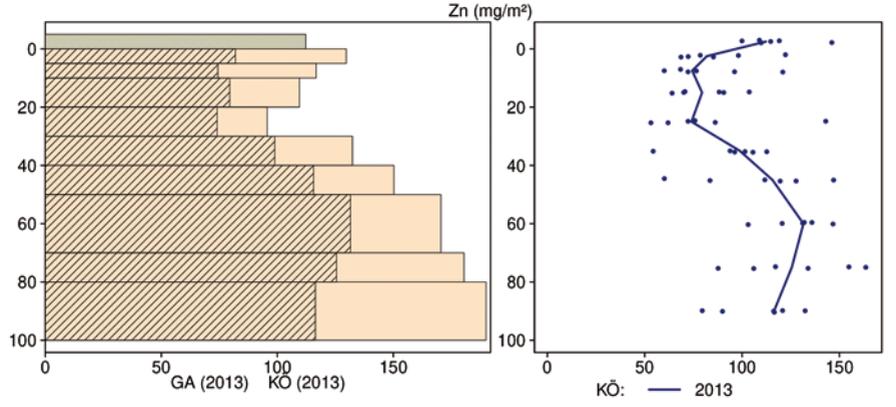
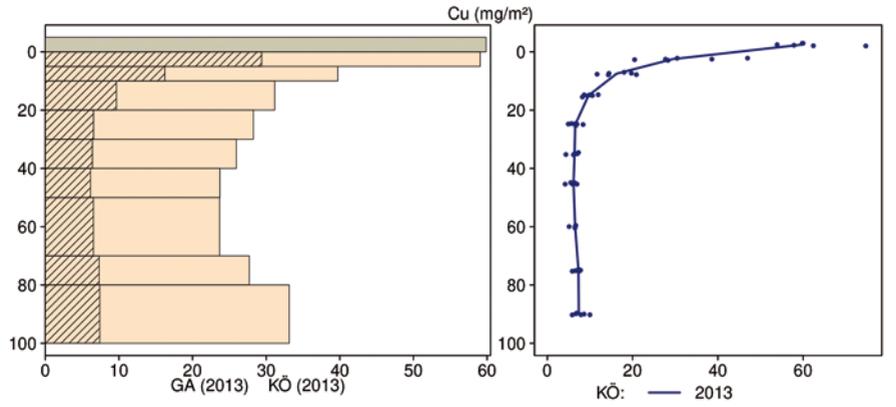
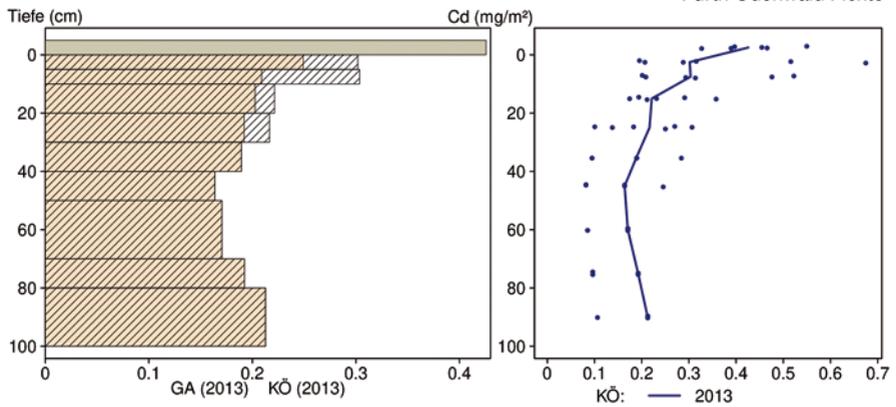
> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte

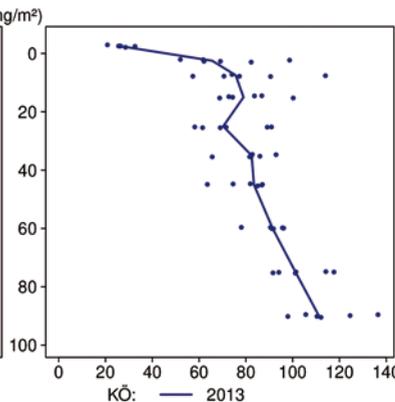
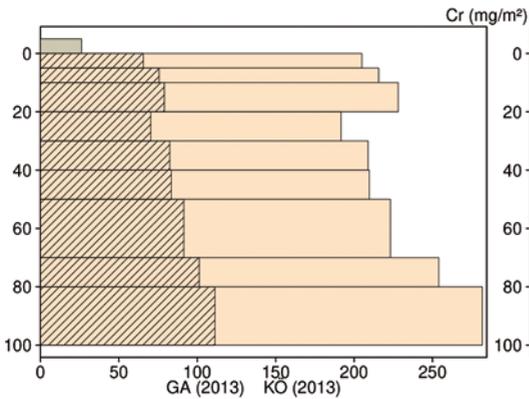
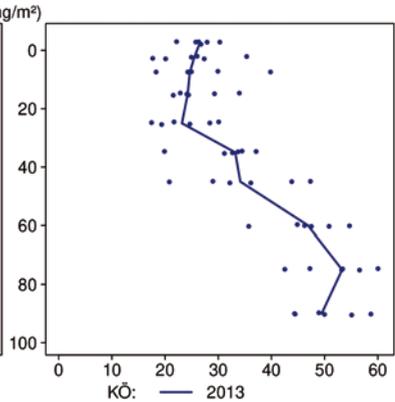
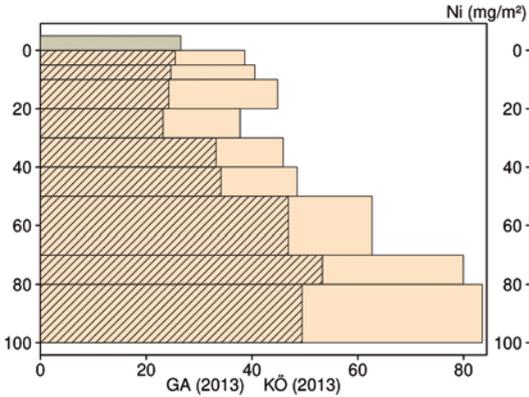
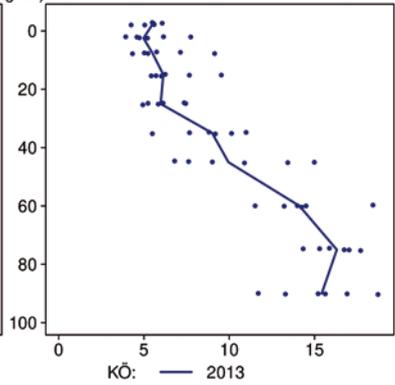
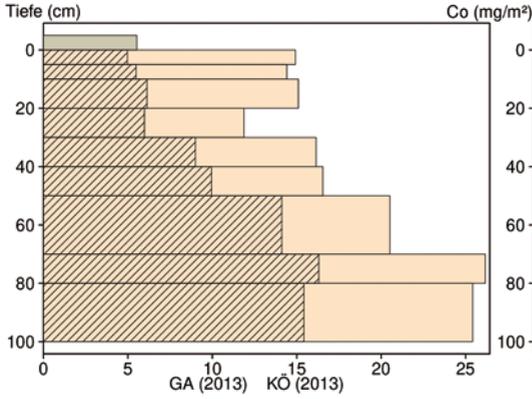


FODFI

Fürth Odenwald Fichte



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)

12.6 Fuhrberg Kiefer (FUKI)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Fuhrberg 296j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Ostniedersächsischen Tiefland		559300		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N	38/0/-	
Süd-Heide		5826900		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
schwach subkontinental	682	683	325	307
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,9	10	15,3	16,4
Monitoringprogramme				
BDF-F 4 (Standard), bis 2007 BDF-F 4 (intensiv)				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1988 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1994+B255, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1994, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1994-2004, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenvegetation, Kronenzustand, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviale Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		skelettfrei	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
rohumusartiger Moder (MR)	Podsol		-	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
35.2+.5.3tki	ziemlich frisch, schwach mesotroph		158	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Kiefer	-		Pfeifengras-Moorbirken-Stieleichenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
70	8,9/0,9		mäßige Niederdurchforstung	
sonstiges: -				

Profilbeschreibungen (nach KA5)

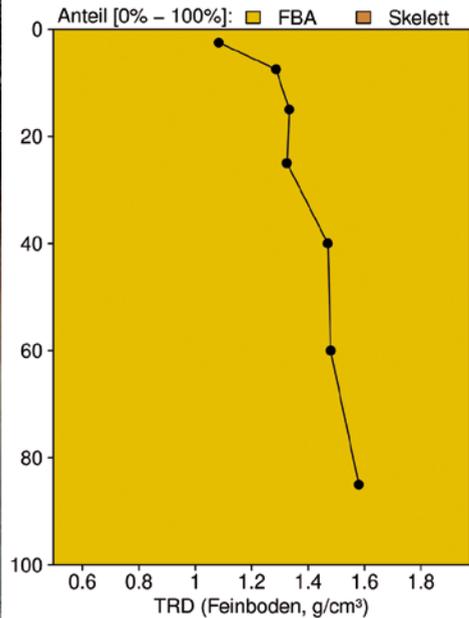
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-9.5 - -7.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,6
Of	-7.5 - -0.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	15,4
Oh	-0.5 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	1,3
Ae	0 - 2	0	fSms	h2	Ld3	c0	3,0
Bh	2 - 15	0	fSms	h4	Ld4	c0	26,0
fAe	15 - 20	0	fSms	h2	Ld3	c0	7,5
fBh	20 - 30	0	fSms	h4	Ld4	c0	20,0
fBhs	30 - 40	0	fSms	h3	Ld4	c0	17,0
Bvs	40 - 50	0	fSms	h0	Ld4	c0	14,0
Bsv	50 - 70	0	fSms	h0	Ld3	c0	28,0
rGo	70 - 170	0	fSms	h0	Ld3	c0	140,0
rGro-Cv	170 - 200	0	fSms	h0	Ld3	c0	42,0
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							157,5
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							177,8

Melms 25.3.2014

FUKI



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2014

FUKI

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	101	12,7	29,9	12,3	0,36	33,7	18,4	31,4	4,39	3,66
Of	-	-	114	18,5	30,7	28,7	0,89	32,3	32,6	103	3,51	2,84
Oh	-	-	14,9	3,2	5,8	5,3	0,17	30,6	6,5	21,7	3,32	2,69
0 - 5	9,2	22,9	17,7	2,8	11,8	13,8	0,39	35,7	36,7	56,2	3,85	3,00
5 - 10	8,2	27,9	15,4	2,7	13,7	16,5	0,43	38,4	51,7	63,0	3,87	3,06
10 - 20	6,4	50,1	18,5	2,9	20,1	26,1	0,65	40,2	94,6	87,4	3,95	3,19
20 - 30	5,0	55,5	12,5	2,1	17,1	22,0	0,60	37,0	243	91,9	4,07	3,49
30 - 50	4,8	98,2	22,0	3,7	32,6	34,1	1,00	34,2	587	180	4,30	3,80
50 - 70	7,2	43,5	14,5	2,1	22,7	12,6	0,39	32,6	217	88,9	4,58	4,12
70 - 100	10,9	42,3	23,6	4,5	30,9	9,0	0,29	31,5	172	93,4	4,73	4,27
100 - 150	13,2	52,6	32,6	4,7	54,1	8,7	0,28	30,7	233	104	4,94	4,38
150 - 200	11,6	57,0	27,8	4,7	57,9	7,0	0,26	27,4	253	65,0	4,96	4,38
Σ L-100cm		341	354	55,3	215	181	5,2		1460	817		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Kiefern-Reinbestand wurde auf einem tiefgründigen, sehr armen Sandboden begründet, der weitgehend skelettfrei ist. Die Fläche liegt im Absenkungstrichter mehrerer Horizontalfilterbrunnen. Entsprechend ist der mittlere Grundwasserstand von ehemals ca. 1 m auf etwa 4 m abgesunken (Puhlmann 1999, Ahrends 2008) und der Standort heute als sehr schwach grundwasserbeeinflusst anzusprechen (t-Variante). Je nach Fördermengen und Niederschlagsverhältnissen sind in den einzelnen Jahren erhebliche Schwankungen der Grundwasserstände möglich (Ringe et al. 2003, Stüber et al. 1999).

Der Boden ist sehr homogen, was das AK/Corg-Verhältnis zeigt, das bei allen Inventuren eng zusammen liegt. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte ist vergleichsweise groß, was auf die sehr niedrigen Gehalte zurückzuführen ist, die im unteren Quartil der Gehalte aller Flächen liegen.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2014 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei weitem bis sehr weitem C/N-Verhältnis im gesamten Profil. Zwischen 2004 und 2014 ist ein Trend zu abnehmenden N- und Kohlenstoff (C)-Vorräten im Oberboden zu sehen. In der Humusaufgabe und im unteren Mineralboden veränderten sie sich nur wenig.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte sind im gesamten Profil gering. Im Oberboden hat der Ca-Vorrat im ganzen Untersuchungszeitraum, insbesondere zwischen 2004 und 2014, weiter abgenommen. In der Humusaufgabe und im Unterboden veränderte er sich nur wenig. Für Kalium stieg der Vorrat im Mineralboden zwischen 2004 und 2014 leicht an.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2014 mit 1460 t/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1994 und 2014 hat er sich nur wenig verändert.

Die mit zunehmender Tiefe abnehmenden Schwefel (S)-Gehalte lagen 2014 mit einem Vorrat von 817 kg/ha im unteren Quartil, wobei sich hohe Anteile im Tiefenbereich der Bhs- und Bs-Horizonte (30-50 cm) befanden. Im Unterboden hat der S-Vorrat zwischen 1994 und 2004, im Oberboden zwischen 2004 und 2014 stark abgenommen.

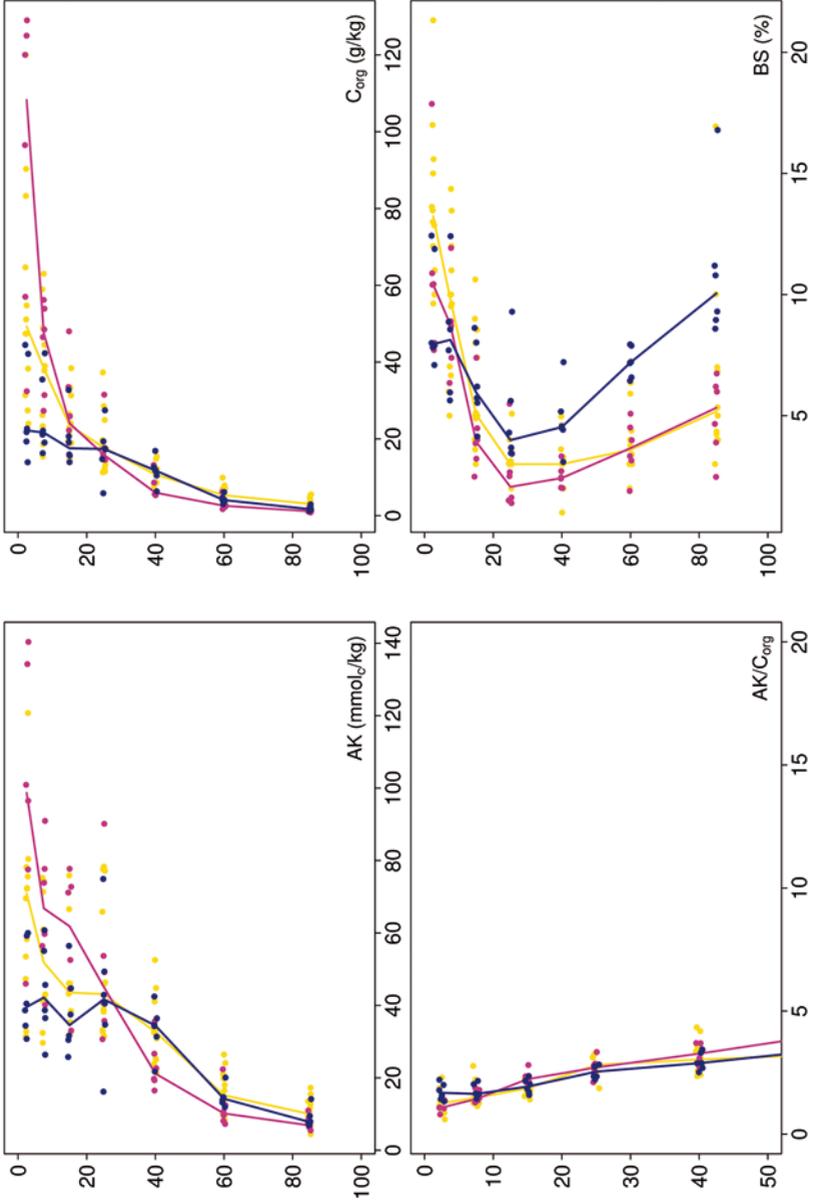
Säure-Base-Status und -Dynamik

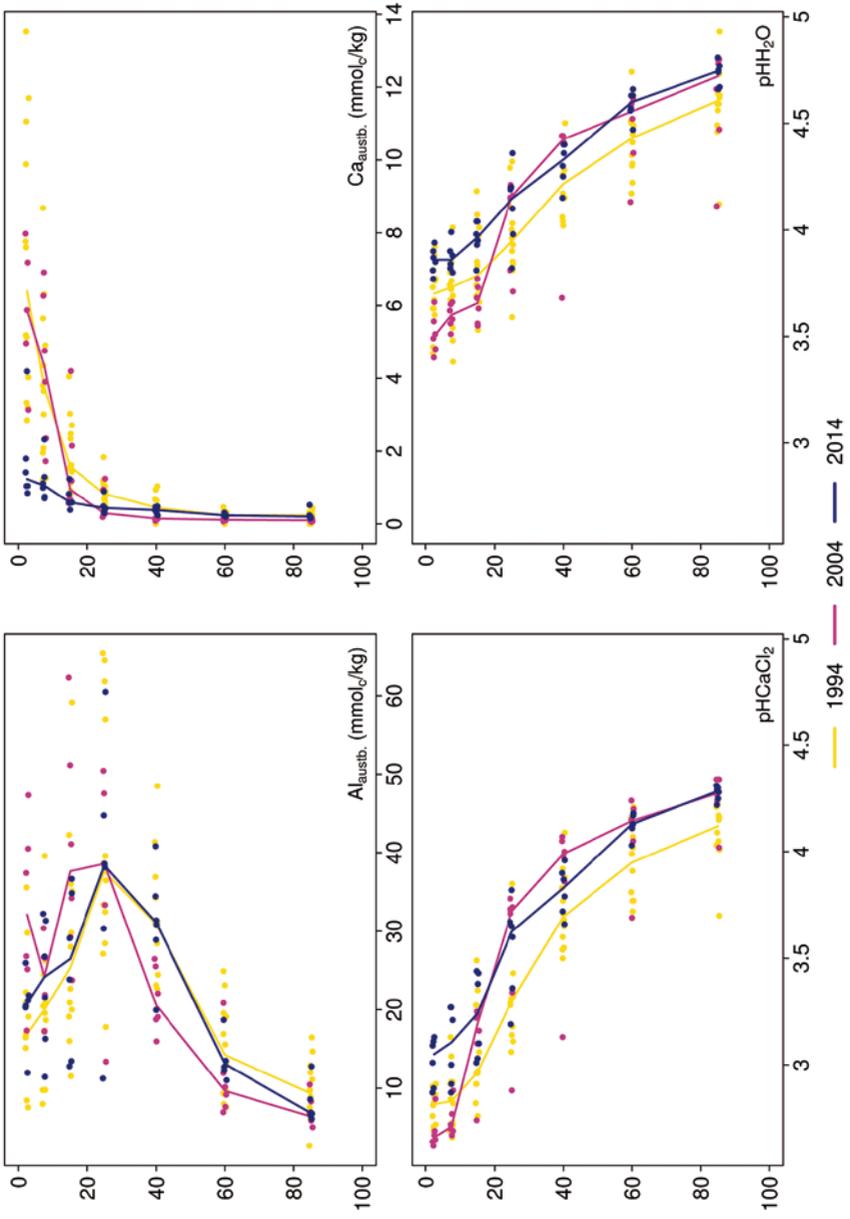
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 30 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996).

An der tiefgründigen Versauerung im gesamten Profil hat sich im Untersuchungszeitraum wenig geändert. Nur im Oberboden hat die Basensättigung weiter abgenommen.

Fuhrberg Kiefer

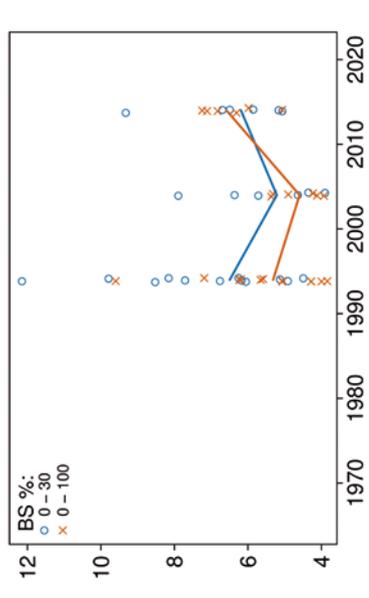
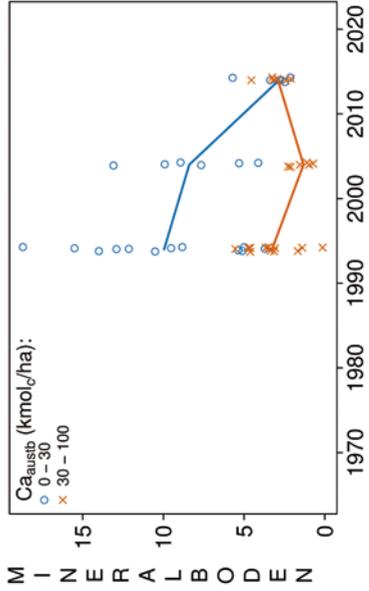
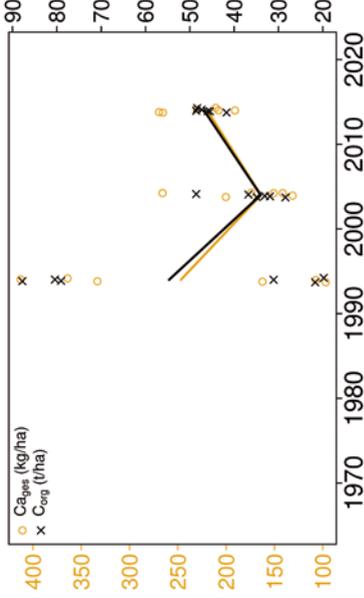
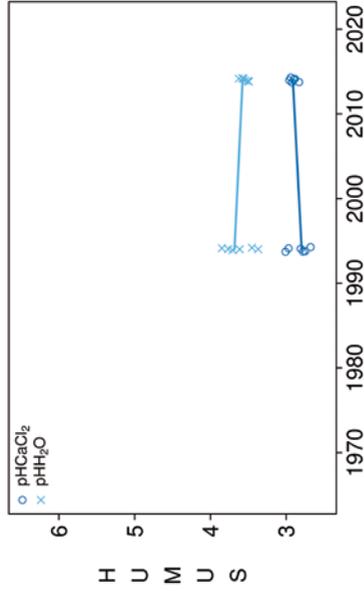
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)





Fuhrberg Kiefer

Vorrats- und pH-Änderungen



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2014)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,95	0,04	0,50	0,10	0,05	0,00	0,07	0,11	0,059	0,10	1,30	1,08	0,52	12,56	5,64
5	10	1,15	0,03	0,46	0,09	0,04	0,00	0,08	0,10	0,058	0,08	1,29	0,67	0,43	9,60	2,90
10	20	1,23	0,02	0,40	0,09	0,04	0,00	0,07	0,07	0,039	0,07	1,24	0,39	0,35	7,05	2,05
20	30	2,78	0,03	0,62	0,11	0,08	0,00	0,19	0,07	0,030	0,13	2,29	0,31	0,63	5,10	2,48
30	50	3,49	0,04	0,86	0,16	0,15	0,01	0,20	0,06	0,019	0,22	2,57	0,35	1,12	2,87	3,28
50	70	2,36	0,05	0,98	0,18	0,16	0,01	0,07	0,03	0,007	0,23	1,93	0,23	1,01	1,53	2,42
70	100	1,76	0,05	0,71	0,21	0,17	0,01	0,04	0,02	0,003	0,22	1,67	0,23	0,93	1,26	2,03
100	150	1,66	0,05	0,76	0,26	0,21	0,01	0,03	0,01	0,003	0,26	1,77	0,37	1,10	1,45	2,53
150	200	2,14	0,06	1,10	0,40	0,35	0,01	0,03	0,01	0,004	0,43	2,46	0,73	1,75	1,82	3,55

□ bis 25%-Quartil

□ 25%-Quartil - Med.

□ Med. - 75 %-Quartil

□ 75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2014)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	21	50	9	11	21	22	32	43	46	13	18	27	18	28	39
5	10	28	25	19	14	39	23	26	36	40	28	22	13	18	22	18
10	20	38	25	24	10	45	21	36	36	24	38	32	36	37	20	34
20	30	45	37	34	28	54	27	51	43	58	60	41	41	63	20	47
30	50	31	15	15	11	17	14	35	24	33	21	24	31	25	21	40
50	70	23	16	48	8	7	15	35	16	26	8	21	15	12	16	25
70	100	27	25	20	25	27	17	26	18	47	23	26	34	20	12	28
100	150	15	15	17	16	23	12	11	23	38	25	17	23	23	13	18
150	200	13	22	20	15	22	21	22	14	36	28	18	31	23	20	22

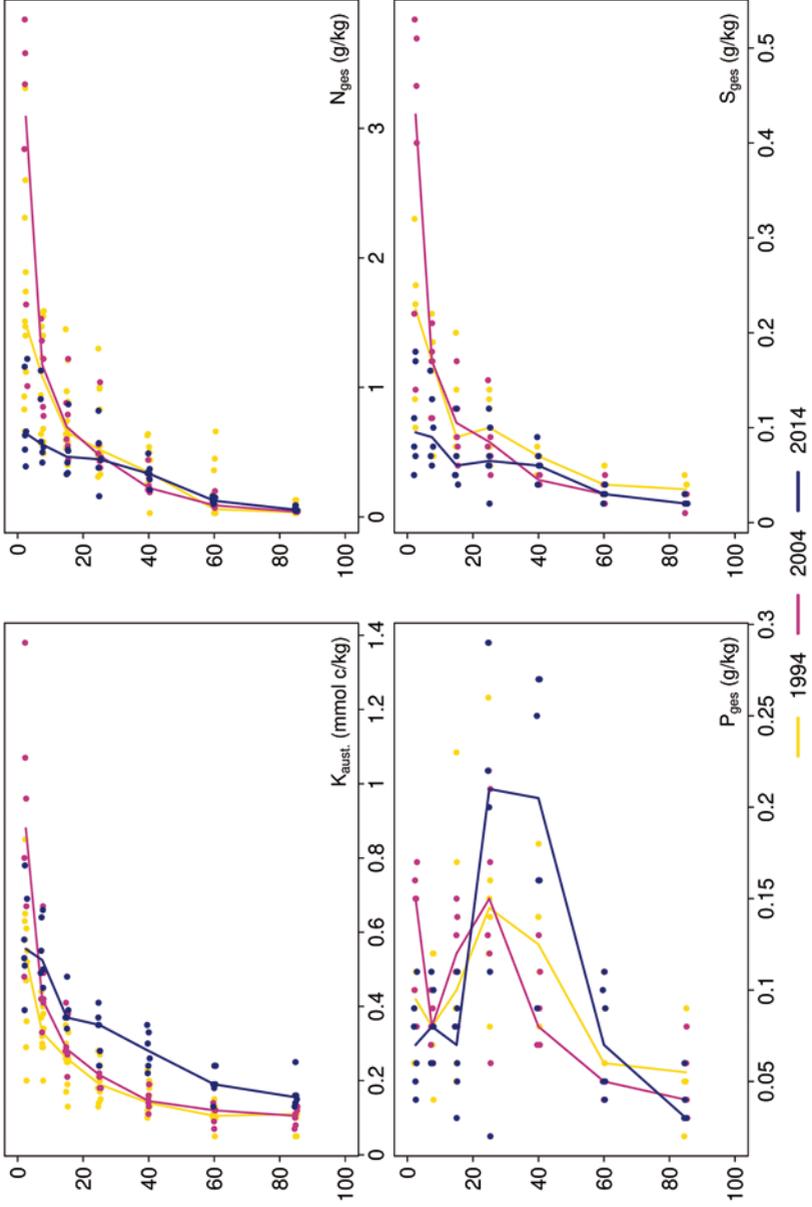
□ 0-20%

□ 20-50%

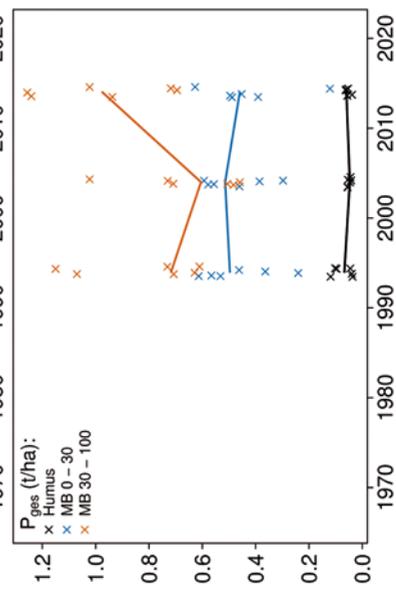
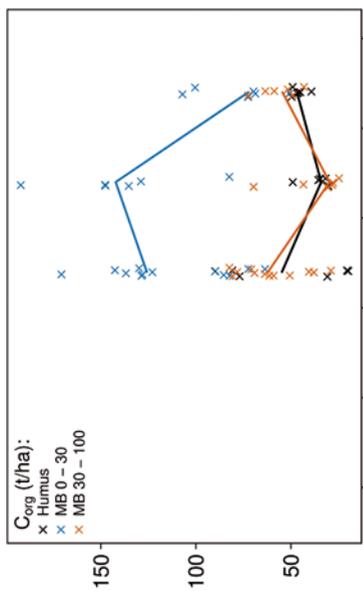
□ >50%

Fuhrberg Kiefer

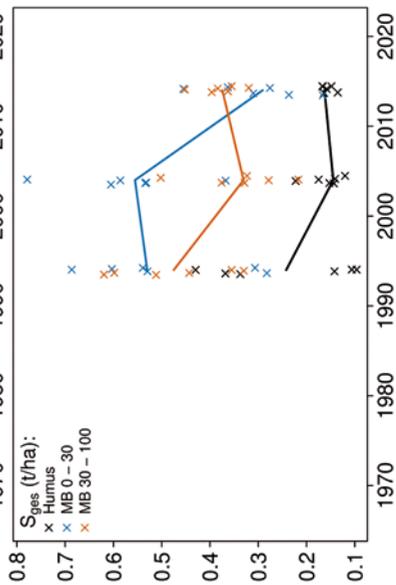
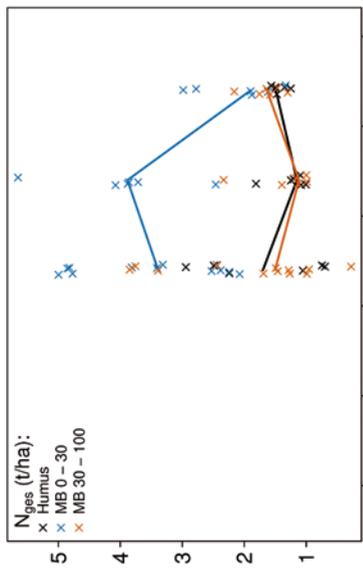
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Fuhrberg Kiefer



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Cadmium (Cd) und Blei (Pb) eine mittlere, für Kupfer (Cu) eine leichte und für Zink (Zn) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

In der Humusaufgabe überschreiten die Messwerte für Pb zudem den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht. Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden nicht überschritten.

In der Humusaufgabe werden die Hintergrundwerte für Waldböden (Bommaré et al. 2021) für Cd und Pb überschritten. Im Mineralboden liegen alle Messwerte unter diesem Wert.

Im Oberboden liegen die Cd-Gehalte bis in 10 cm Tiefe, die Pb-Gehalte bis in 5 cm Tiefe über dem Median der Gehalte aller Flächen. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie auf sehr niedrige Werte ab. Für alle anderen Schwermetalle sind sie sehr niedrig (unteres Quartil).

In der Humusaufgabe wurden sehr hohe Cd-Werte (oberstes Quartil) und höhere Pb- und Zn-Werte (25 %-Quartil – Median) gefunden, während die Gehalte aller anderen Schwermetalle sehr niedrig sind.

Zwischen 1994 und 2004 haben die Cd-, Pb-, Cu- und Zn- Vorräte in der Humusaufgabe stark abgenommen. Danach haben sie sich bis 2014 nur noch wenig verändert. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur von einer Inventur (2014) Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Pb und Cd kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb auch den kritischen Level überschreiten. Cd fällt zudem durch sehr hohe Werte auf. Im Mineralboden sind die Gehalte von Cd und Pb ebenfalls erhöht. Im Untersuchungszeitraum haben die Pb- und Cd-Vorräte in der Humusaufgabe abgenommen und sind offensichtlich in den Oberboden verlagert worden, da hier 2014 erhöhte Gehalte bis in 20 cm Tiefe gefunden werden konnten. Das Ausmaß dieser Verlagerung ist für Cd ausgeprägter als für Pb.

Bewertung Schwermetalle (2014)

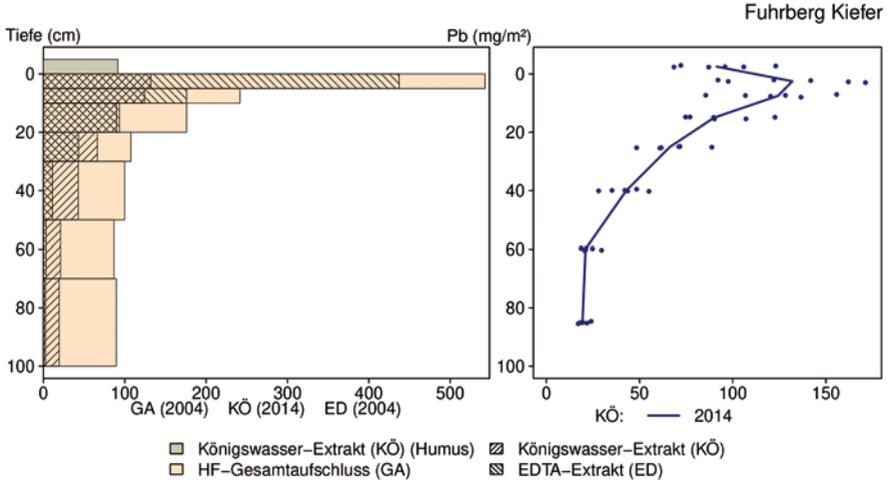
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,06	0,10	1,30	1,08	0,52	12,56	5,64
5	10	0,06	0,08	1,29	0,67	0,43	9,60	2,90
10	20	0,04	0,07	1,24	0,39	0,35	7,05	2,05
20	30	0,03	0,13	2,29	0,31	0,63	5,10	2,48
30	50	0,02	0,22	2,57	0,35	1,12	2,87	3,28
50	70	0,01	0,23	1,93	0,23	1,01	1,53	2,42
70	100	0,00	0,22	1,67	0,23	0,93	1,26	2,03
100	150	0,00	0,26	1,77	0,37	1,10	1,45	2,53
150	200	0,00	0,43	2,46	0,73	1,75	1,82	3,55
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

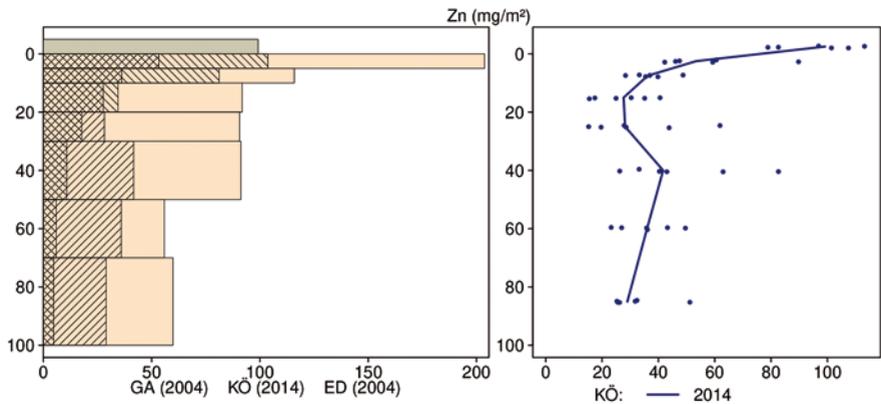
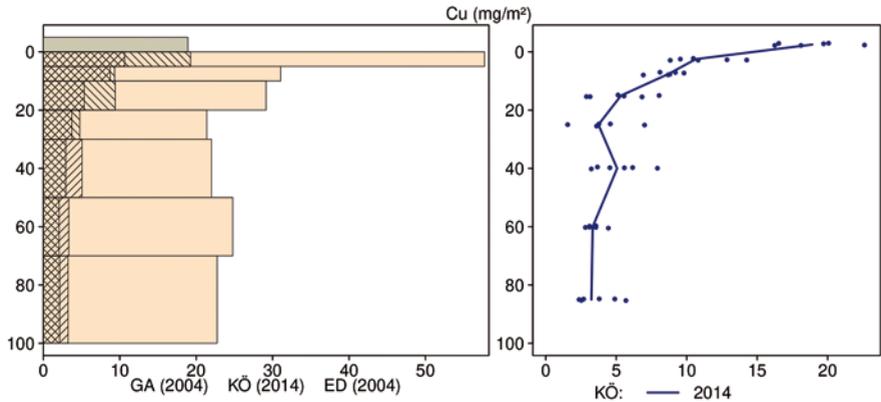
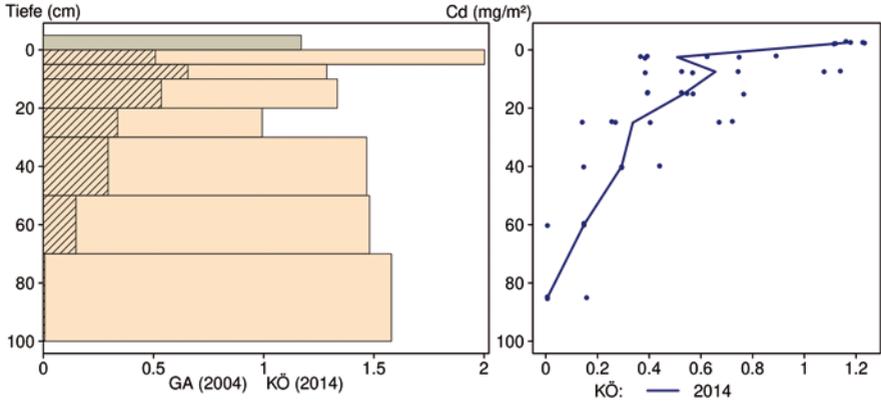
FUKI

> Vorsorgewert

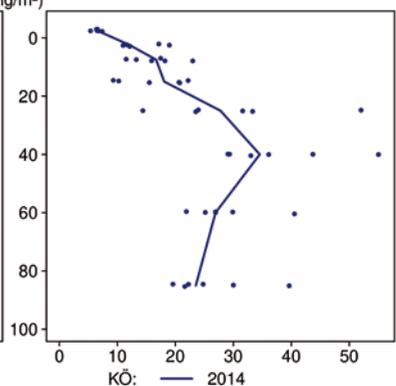
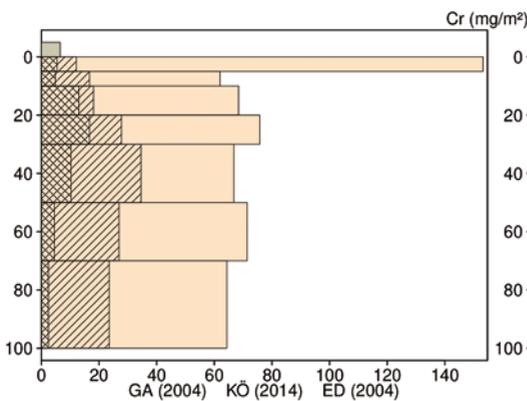
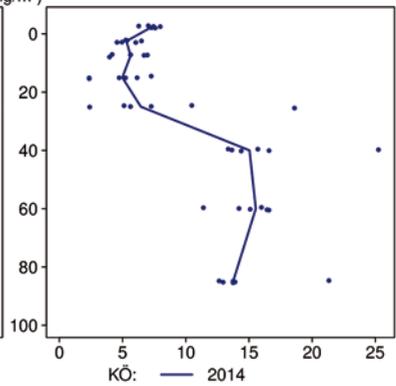
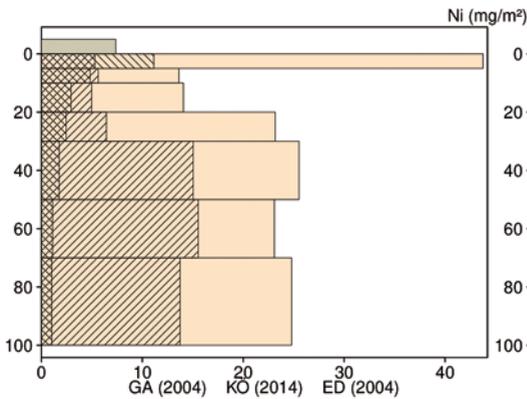
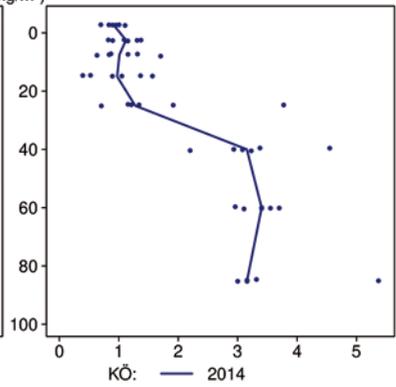
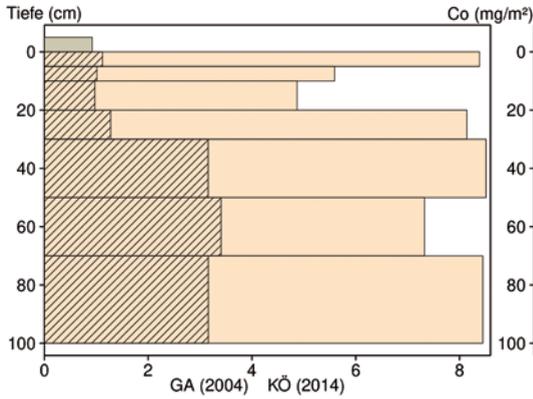
> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte





- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- EDTA-Extrakt (ED)



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 EDTA-Extrakt (ED)

12.7 Görde Eiche (GDEI)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Görde 140j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Ostniedersächsischen Tiefland	623500			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	48/0/-		
Ost-Heide	5887100			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
schwach subkontinental	641	660	301	311
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
schwach subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,4	9,5	15	16
Monitoringprogramme				
BDF-F 13 (Standard)				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische und mikrobiologische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1992, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1993, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1993-2003, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenvegetation, Kronenzustand, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviatile Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		±15 %, sehr skeletttarm	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
feinhumusreicher rohumusartiger Moder (MRR)	Podsol-Braunerde		Podzol	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
42.3+3.3f h	ziemlich frisch, mesotroph		123	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Traubeneiche	Buche, Fichte		Drahtschmielen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
129	4,7/3,3		mäßige Hochdurchforstung	
sonstiges: -				

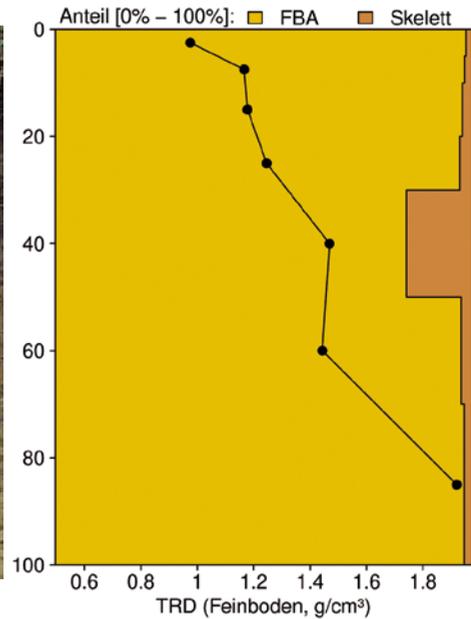
Profilbeschreibungen (nach KA5)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-8 - -7	0	Vb	h7	Ld0	c0	1,8
Of	-7 - -5	0	Vb	h7	Ld0	c0	4,4
Oh	-5 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	13,0
Ahe	0 - 5	5	SI2	h3	Ld1	c0	7,6
Bhs	5 - 10	5	SI2	h1	Ld2	c0	6,2
Bv	10 - 30	5	SI2	h1	Ld2	c0	24,7
Bv	30 - 93	5	SI2	h0	Ld2	c0	77,8
IIIIcV	93 - 180	0	mS	h0	Ld2	c0	87,0
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							123,3
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							142,5

Deutschmann 20.9.2000

GDEI

Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2013

GDEI

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	33,4	5,2	7,0	2,5	0,09	26,8	5,7	7,8	4,72	4,08
Of	-	-	85,9	23,1	29,4	10,1	0,46	22,1	27,6	48,2	4,18	3,44
Oh	-	-	113	89,5	133	24,6	1,16	21,3	108	147	3,93	3,11
0 - 5	11,1	22,9	14,2	9,6	25,7	14,3	0,65	22,0	134	84,9	4,07	3,27
5 - 10	7,6	25,2	11,6	4,7	20,1	10,9	0,50	21,6	169	66,2	4,15	3,47
10 - 20	7,1	38,5	14,3	4,9	28,4	14,8	0,67	22,3	316	94,7	4,42	3,85
20 - 30	7,1	27,1	9,8	2,5	21,7	10,4	0,48	21,5	294	70,3	4,58	4,10
30 - 50	8,4	34,4	13,9	3,0	32,3	8,6	0,45	19,2	468	86,5	4,65	4,27
50 - 70	8,6	25,6	11,0	2,4	27,9	2,8	0,21	13,6	303	63,0	4,72	4,32
70 - 100	9,6	40,3	22,5	4,5	43,8	3,1	0,25	12,4	433	83,1	4,76	4,30
Σ L-100cm		214	330	149	369	102	4,9		2258	752		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Bestand aus Traubeneichen und Fichten stockt auf einem sehr tiefgründigen, skelettarmen Sandboden. Der Boden ist weniger homogen als vergleichbare Böden, was das AK/Corg-Verhältnis im Oberboden zeigt, das hier nicht so eng zusammen liegt wie bei den anderen Sandböden. Auch die Gehalte an Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N), sowie die im Königswasseraufschluss gemessenen Werte, insbesondere von Mangan (Mn) und Schwefel (S), streuen vergleichsweise stark.

Nährelementstatus

Der N-Vorrat war 2013 gering (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei weitem bis mäßig weitem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßigem bis mäßig engem Verhältnis in größerer Tiefe.

Die Calcium (Ca)- und Kalium (K)-Vorräte waren ebenfalls gering, der Magnesium (Mg)-Vorrat mäßig.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2013 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 2258 t/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Vorräte aller Flächen.

Aufgrund der hohen Streuung der Messwerte von C, N, Ca, K, Mg und P lassen sich keine Veränderungen der Vorräte dieser Elemente erkennen.

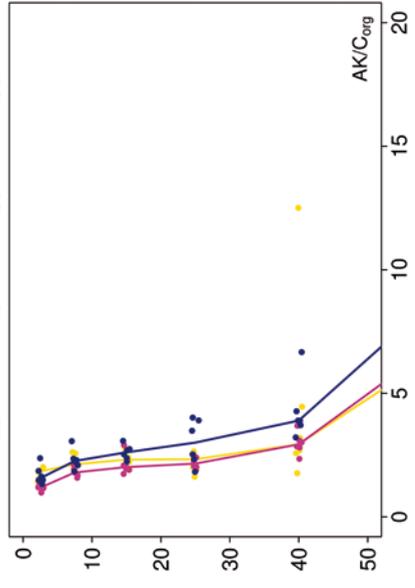
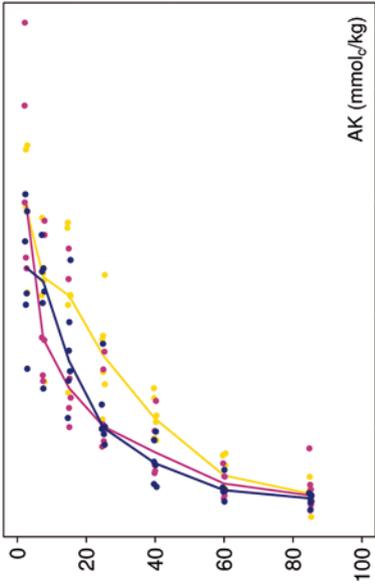
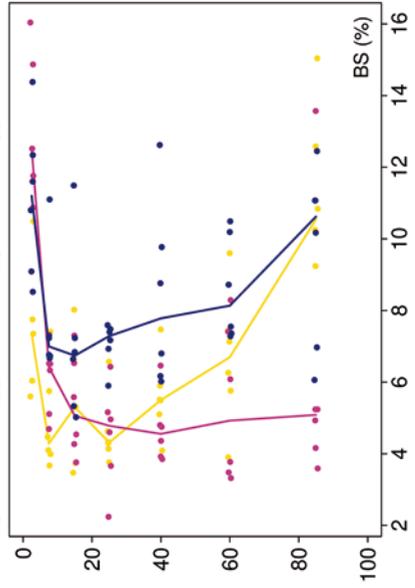
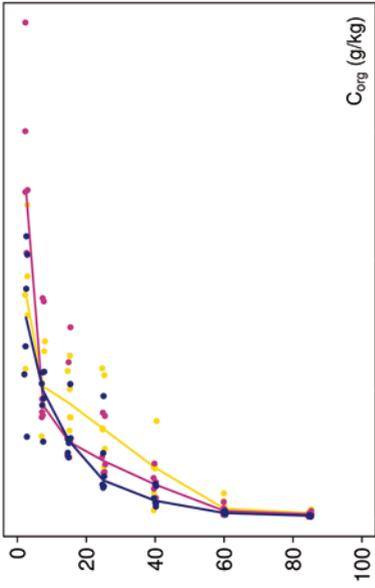
Der Schwefel (S)-Vorrat lag 2013 mit 752 kg/ha im unteren Quartil, wobei hohe Anteile in 0-5 cm Tiefe zu finden waren. Zwischen 1993 und 2013 hat der Schwefel-Vorrat insbesondere im Unterboden stark abgenommen. In der Humusaufgabe ist keine Veränderung festzustellen.

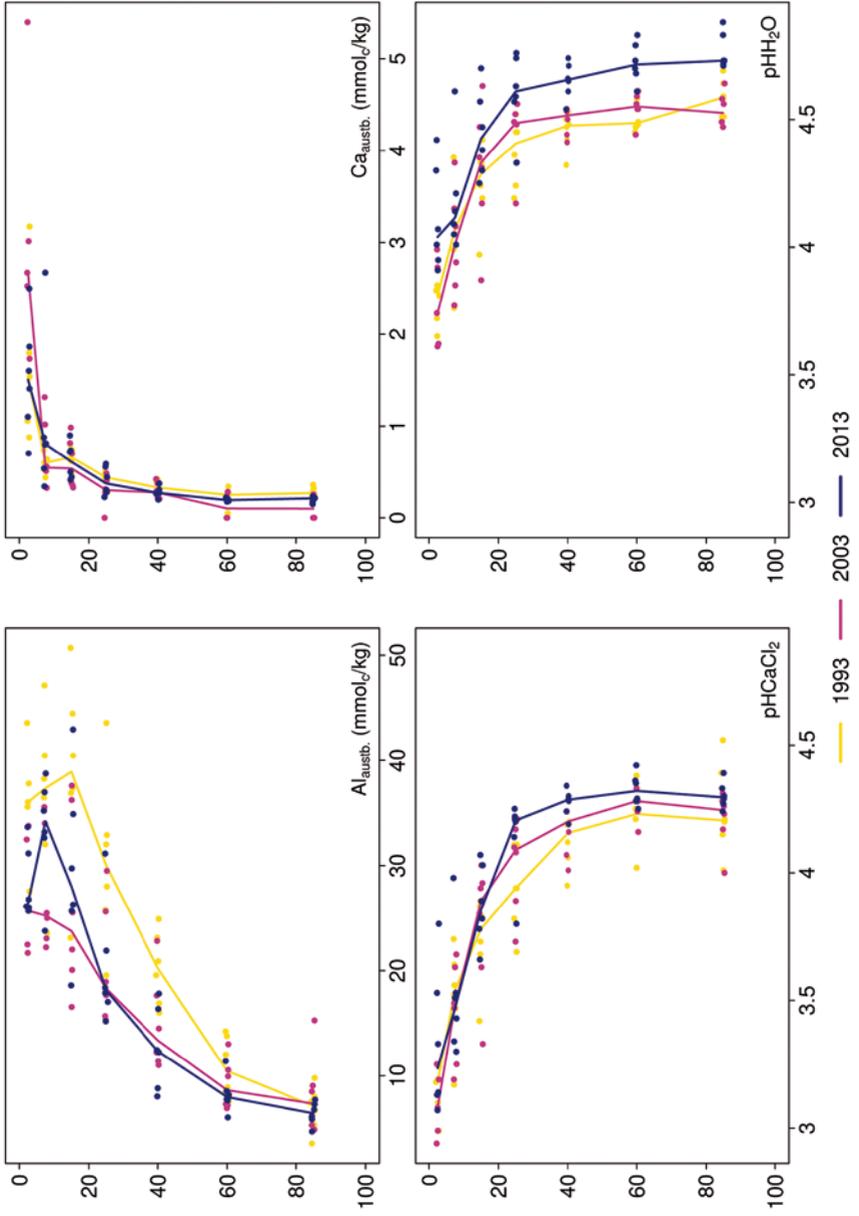
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, und in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Bei der zeitlichen Entwicklung der pH-Werte und der Basensättigung deutet sich eine leichte Zunahme an.

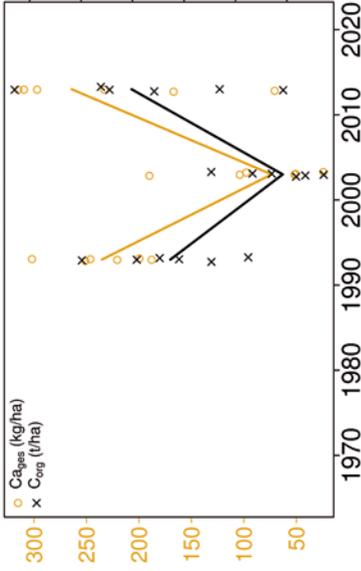
Göhrde Eiche

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

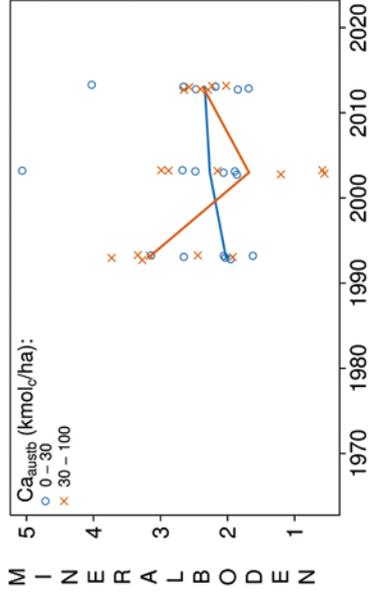
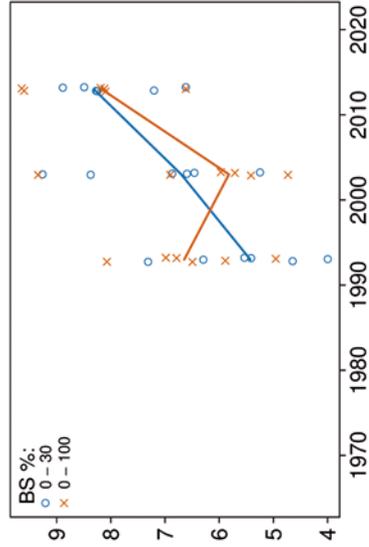
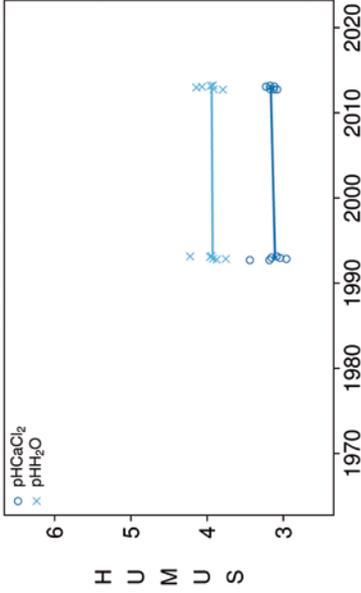




Vorrats- und pH-Änderungen



Göhrde Eiche



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2013)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	3,71	0,18	4,49	0,31	0,28	0,06	0,28	0,18	0,040	0,62	4,55	2,98	2,22	22,70	11,94
5	10	4,26	0,17	4,93	0,31	0,31	0,08	0,29	0,12	0,038	0,72	4,61	2,50	2,40	18,00	12,41
10	20	5,09	0,19	5,11	0,32	0,37	0,11	0,27	0,08	0,048	0,91	4,86	2,58	2,69	12,20	14,48
20	30	5,46	0,19	4,85	0,33	0,40	0,12	0,25	0,06	0,051	1,06	4,74	2,61	3,05	7,48	14,19
30	50	5,17	0,18	4,64	0,34	0,42	0,08	0,19	0,03	0,034	1,17	4,63	2,50	3,45	4,60	12,27
50	70	4,15	0,17	3,87	0,37	0,39	0,07	0,11	0,02	0,025	1,33	3,89	1,76	3,28	3,14	9,11
70	100	3,08	0,14	3,16	0,32	0,30	0,07	0,08	0,01	0,022	1,15	3,23	1,52	2,63	2,49	7,18

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2013)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	23	19	15	7	22	68	10	33	29	26	15	13	16	20	25
5	10	7	13	9	7	11	75	15	18	23	22	9	21	10	17	19
10	20	9	8	10	6	11	43	19	28	13	14	8	13	10	12	17
20	30	13	9	14	13	12	41	20	42	15	5	11	20	15	40	12
30	50	15	11	12	7	9	41	27	25	30	9	14	41	9	27	17
50	70	20	13	12	11	18	16	20	23	13	14	14	15	15	13	12
70	100	20	16	17	14	16	15	29	17	14	22	18	14	16	15	13

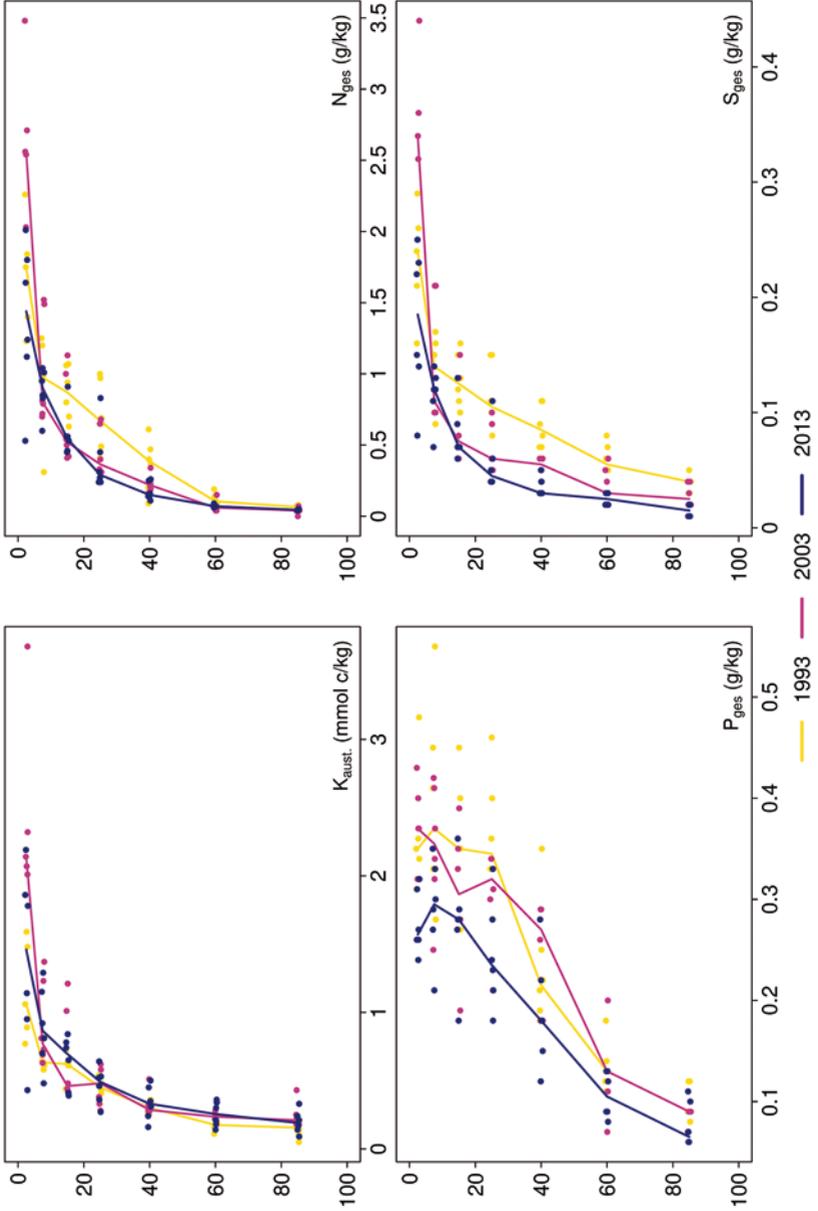
0-20 %

20-50 %

>50 %

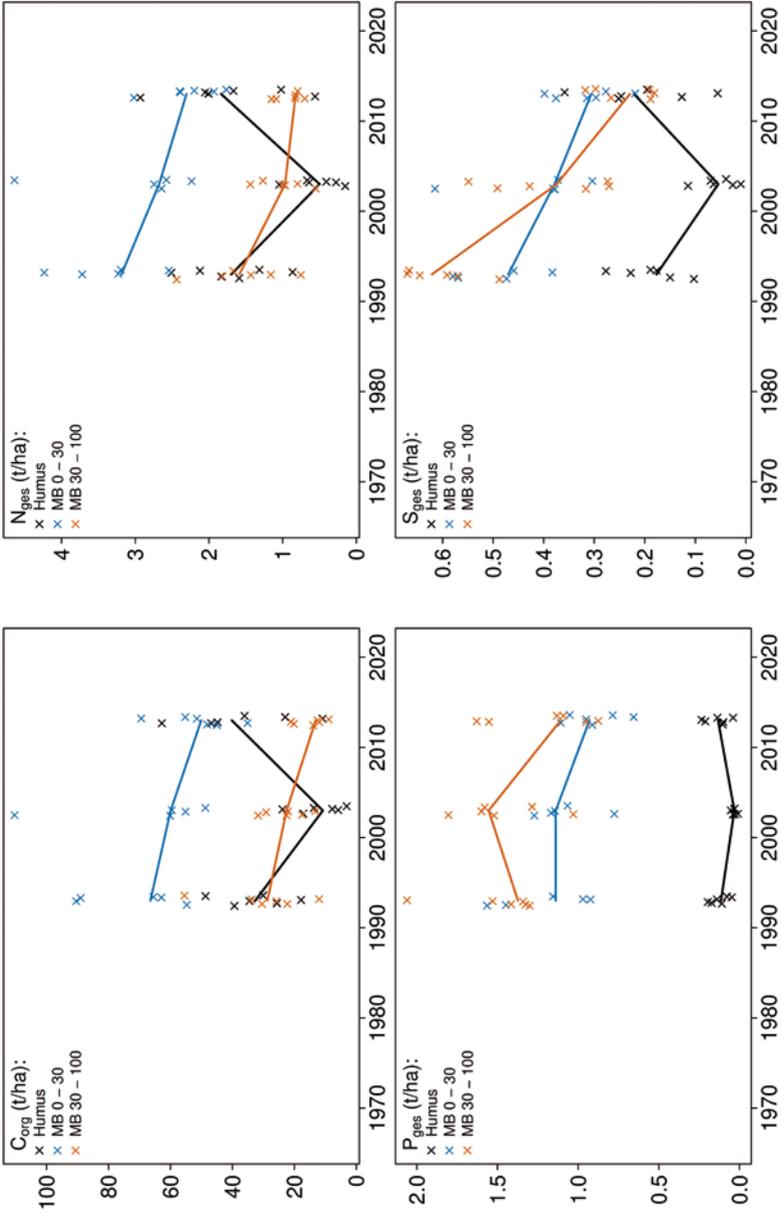
Göhrde Eiche

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Göhrde Eiche

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine mittlere, für Cadmium (Cd) und Kupfer (Cu) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen in 0-5 cm Tiefe zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. Kritische Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, werden nicht überschritten.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Cu und Pb über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie nicht überschritten.

Bis in 20 cm Tiefe sind die Pb-Gehalte mit Werten, die über dem Median der Gehalte aller Versuchsflächen liegen, vergleichsweise hoch. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie stark ab. Die Cd-, Cu- und Zink (Zn)-Gehalte sind bis in 50 cm Tiefe mit Werten zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median ebenfalls erhöht und in größerer Tiefe niedrig. Für Kobalt (Co) und Nickel (Ni) sind sie im Oberboden sehr niedrig und steigen mit zunehmender Tiefe leicht an. Die Chrom (Cr)-Gehalte sind im gesamten Profil sehr niedrig.

In der Humusaufgabe sind nur die Pb-Gehalte erhöht (25 %-Quartil – Median). Die Gehalte aller anderen Schwermetalle liegen im unteren Quartil der Gehalte aller Flächen.

In der Humusaufgabe haben sich die Vorräte aller Schwermetalle nur wenig verändert. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es für die Inventuren in den Jahren 2003 und 2013 keine vergleichbaren Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Pb und Cu kontaminiert, da die Hintergrundwerte überschritten werden. Im oberen Mineralboden sind die Gehalte von Pb ebenfalls erhöht, was auf eine Verlagerung aus der organischen Auflage in den Mineralboden hindeutet. An der Belastung der Humusaufgabe mit Schwermetallen hat sich im Untersuchungszeitraum nur wenig geändert.

Bewertung Schwermetalle (2013)

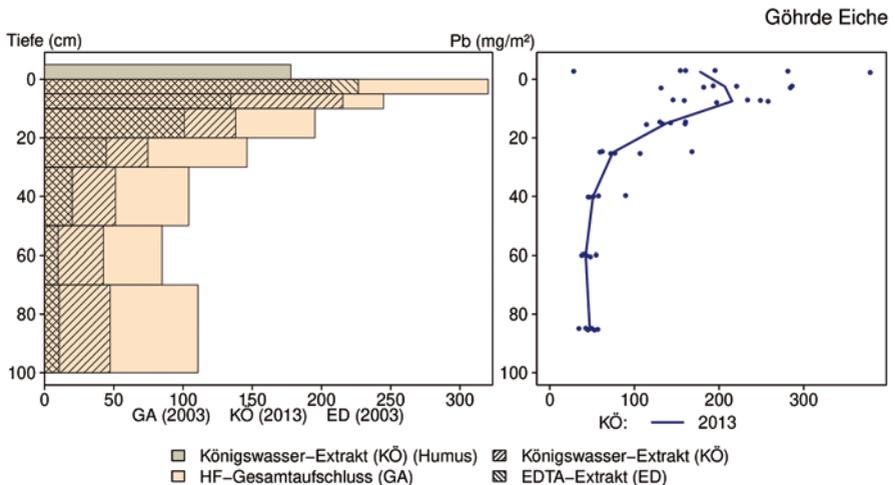
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,04	0,62	4,55	2,98	2,22	22,70	11,94
5	10	0,04	0,72	4,61	2,50	2,40	18,00	12,41
10	20	0,05	0,91	4,86	2,58	2,69	12,20	14,48
20	30	0,05	1,06	4,74	2,61	3,05	7,48	14,19
30	50	0,03	1,17	4,63	2,50	3,45	4,60	12,27
50	70	0,02	1,33	3,89	1,76	3,28	3,14	9,11
70	100	0,02	1,15	3,23	1,52	2,63	2,49	7,18
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

GDEI

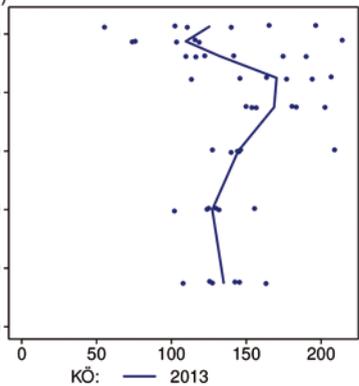
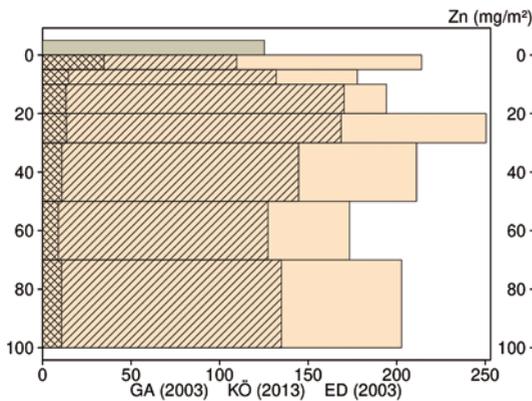
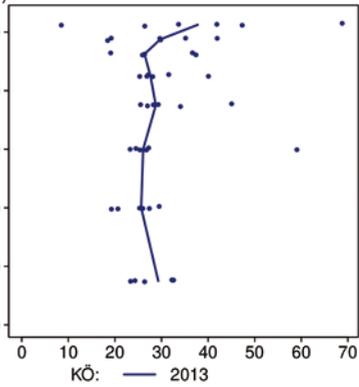
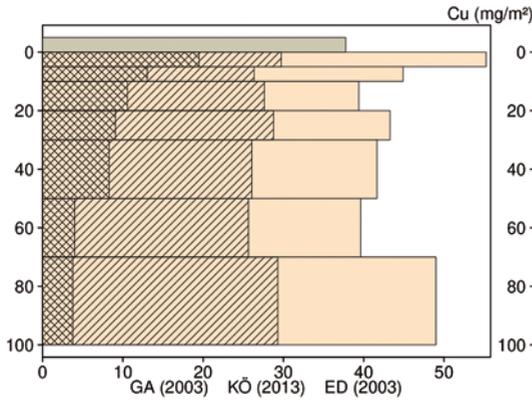
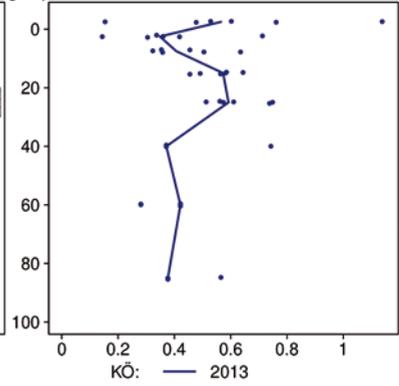
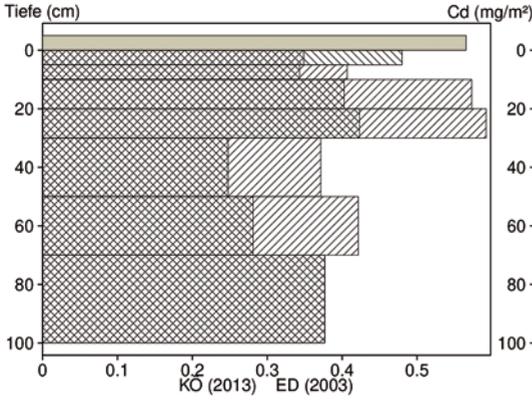
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

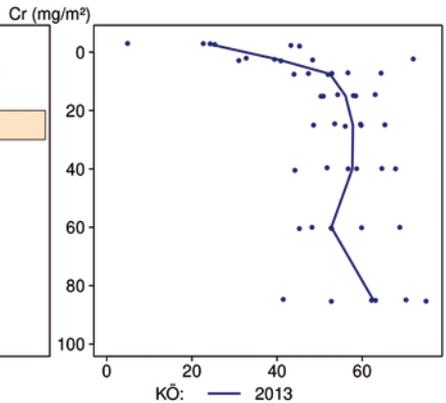
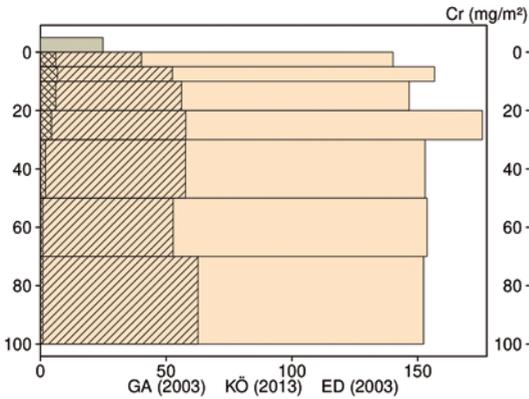
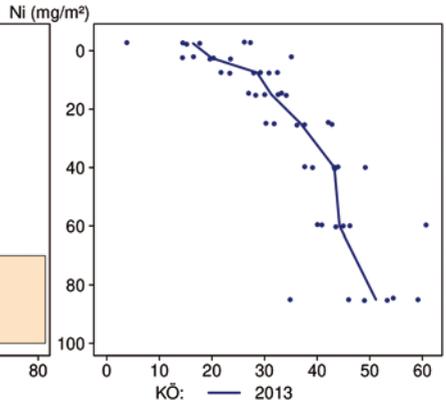
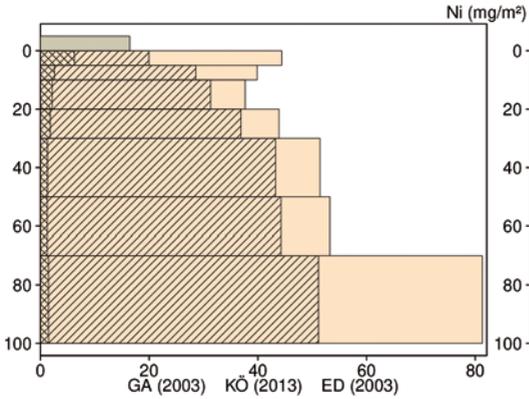
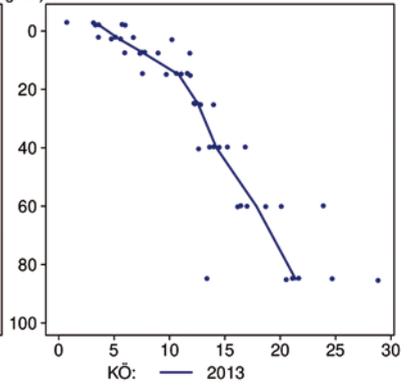
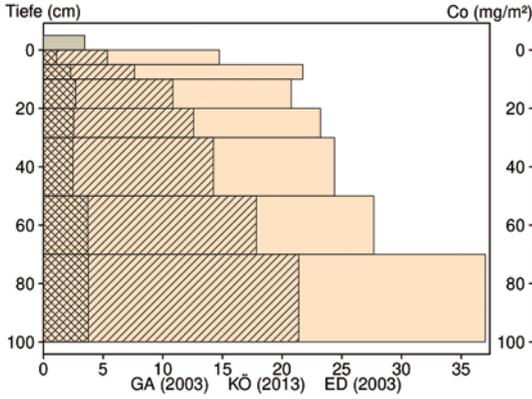
Schwermetallvorräte



GDEI



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 EDTA-Extrakt (ED)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)

12.8 Hils Kamm (HIKA)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Grünenplan 190a2		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Weserbergland	547200			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	460/24/WSW		
Unteres Weser-Leine-Bergland	5755900			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	1005	996	448	424
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,8	7,9	13	14,1
Monitoringprogramme				
BDF-F 16 (Standard)				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1983 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, 1998-2008, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), 1998-2008, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1998-2008, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenvegetation, Kronenzustand, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
Kreidesandstein	Böden aus basenarmem Festgestein		>50 %, sehr skelettreich	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusreicher Rohhumus (ROR)	Podsol		-	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
24.3.-2.2 I	mäßig frisch, mesotroph		61 (bis 47 cm)	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
131	-		-	
sonstiges: Die Fläche wurde 2009 stillgelegt				

Profilbeschreibungen (nach KA5)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-22.9 - -20.9	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,6
Of	-20.9 - -15.2	0	Vn	h7	Ld0	c0	12,5
Oh	-15.2 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	39,5
Ahe	0 - 5	18	Su4	h2	Ld1	c0	8,6
Ae	5 - 35	18	Su4	h1	Ld1	c0	49,2
IIAe	35 - 47	88	Su4	h1	Ld1	c0	2,9
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							60,7
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							116,4

Deutschmann 13.5.1999

HIKA

Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2008

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	44,6	6,4	8,4	5,8	0,20	28,7	9,0	16,9	4,51	3,77
Of	-	-	122	24,8	35,1	25,2	1,14	22,2	40,2	117	4,07	3,10
Oh	-	-	169	46,2	83,0	44,3	1,66	26,6	59,3	213	3,45	2,69
0 - 5	19,9	66,2	207	30,8	23,7	63,0	2,10	29,9	78,2	270	3,68	2,77
5 - 10	17,5	43,7	111	16,7	12,8	29,5	0,99	29,8	49,6	126	3,68	2,83
10 - 20	14,8	30,1	59,9	9,5	9,6	17,7	0,63	28,0	46,6	79,7	3,78	2,93
20 - 30	13,4	17,0	26,3	4,5	7,0	7,5	0,31	24,6	50,1	40,6	3,85	3,12
30 - 50	11,5	28,7	32,5	5,9	12,3	8,9	0,40	22,4	124	59,6	3,85	3,17
50 - 70	10,9	91,0	160	25,9	24,1	18,5	0,71	26,2	203	95,5	3,68	2,98
Σ L-70cm		277	931	171	216	220	8,1		660	1018		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Fichten-Reinbestand stockt auf einem stark schluffigen, sehr skelettreichen und flachgründigen Sandboden. Der Boden ist sehr inhomogen, was die große Streuung der Messwerte zeigt.

Zur Berechnung der Elementvorräte mussten die Feinbodenvorräte aus den Messwerten der benachbarten Flächen Hils Mulde alt (HIMA) und Hils Mulde jung (HIMJ) verwendet werden, da eine Beprobung mit Stechzylindern zur Bestimmung des Grobbodenanteils und der Trockenraumdichte wegen des hohen Skelettgehalts nicht möglich war.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2008 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei einem hohen Kohlenstoff (C)-Vorrat, weshalb das C/N-Verhältnis im gesamten Profil weit bis mäßig weit ist. Zwischen 1998 und 2008 haben die C- und N-Vorräte in der Humusaufgabe stark abgenommen und sind im Oberboden entsprechend angestiegen.

Für Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Kalium (K) lagen die Vorräte im gesamten Profil bis 1 m Bodentiefe im mittleren, mäßigen bzw. im geringen Bereich. Eine Veränderung der Vorräte ist nicht zu erkennen.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2008 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 660 t/ha im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1998 und 2008 hat der Vorrat zudem noch weiter abgenommen.

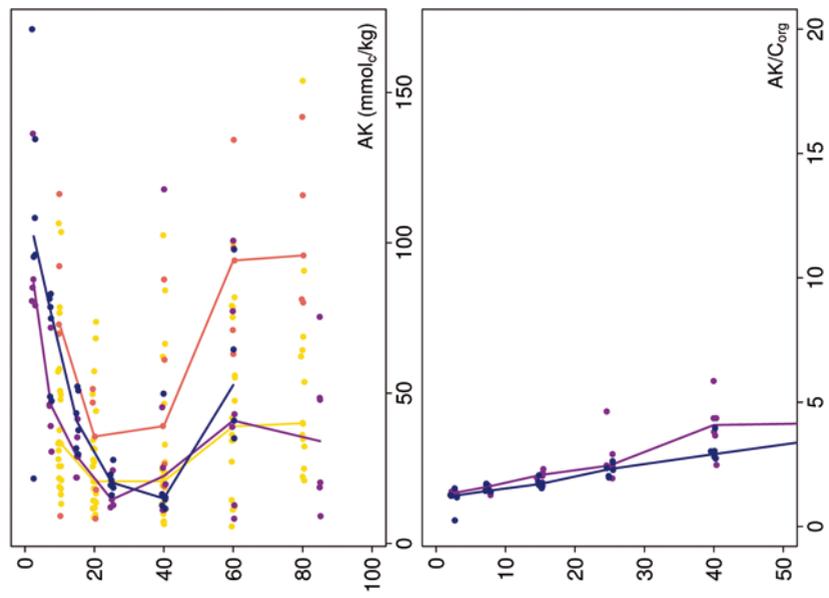
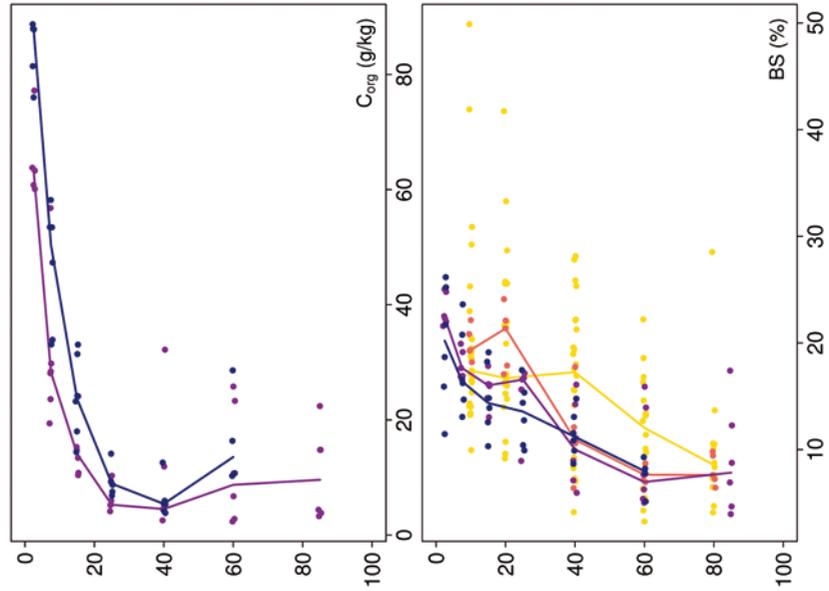
Der Schwefel (S)-Vorrat lag 2018 mit 1018 kg/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median. Zwischen 1998 und 2008 hat der S-Vorrat in der Humusaufgabe stark abgenommen und ist im Oberboden entsprechend angestiegen.

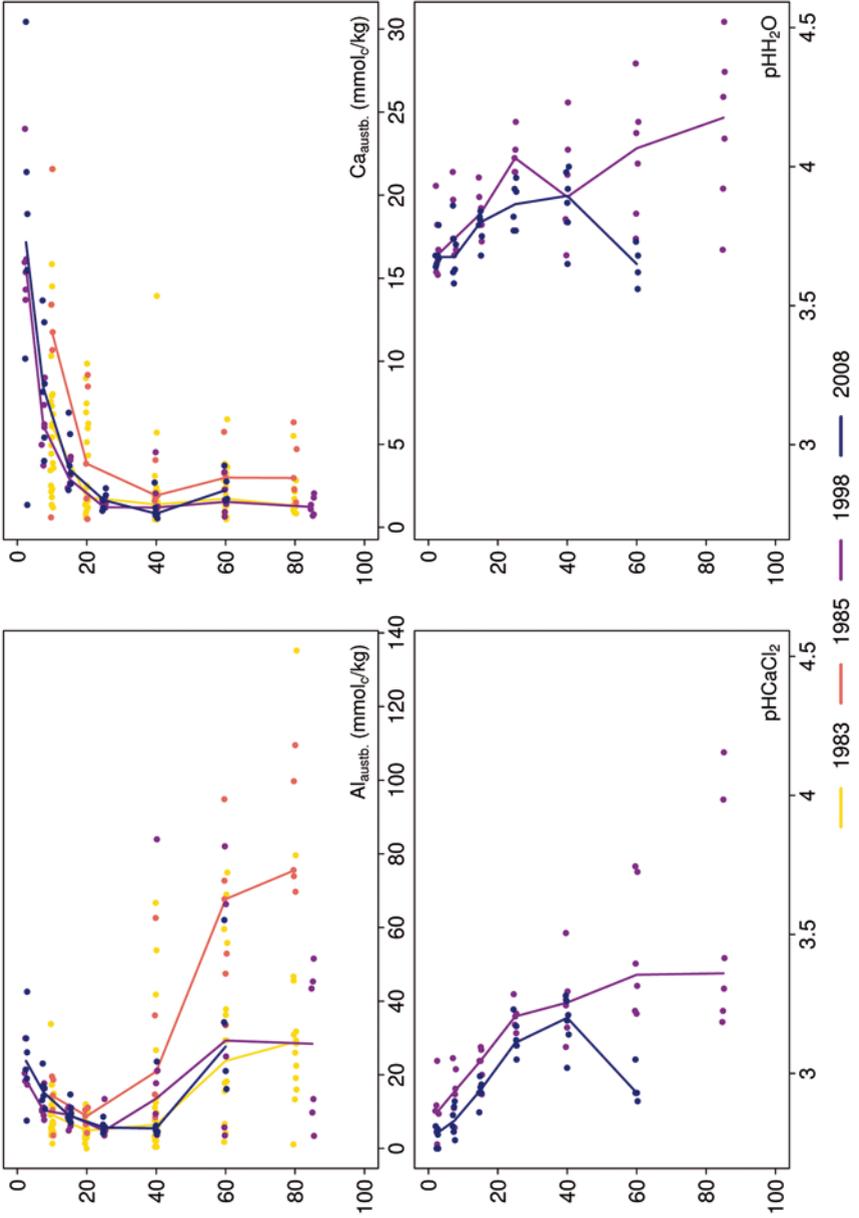
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 20 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, und in größerer Tiefe sowohl dem Aluminium- als auch dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend sehr basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Aus den Wiederholungsinventuren ergeben sich aufgrund der hohen Variabilität der Messwerte kaum Anzeichen, die auf eine Veränderung hindeuten.

Hils Kamm

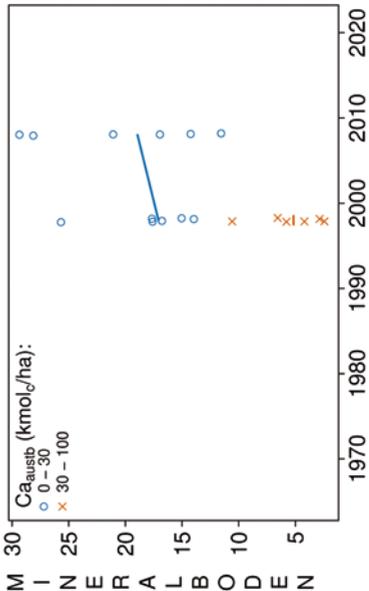
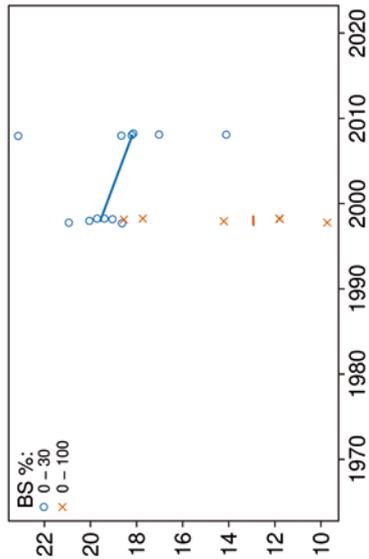
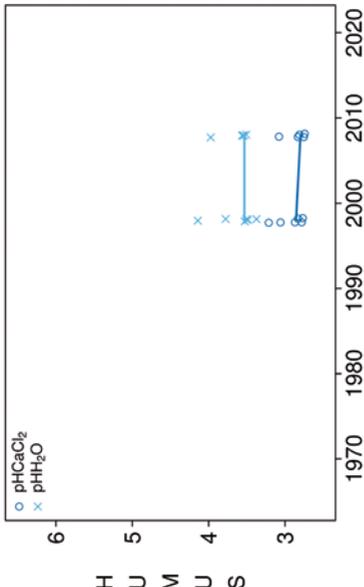
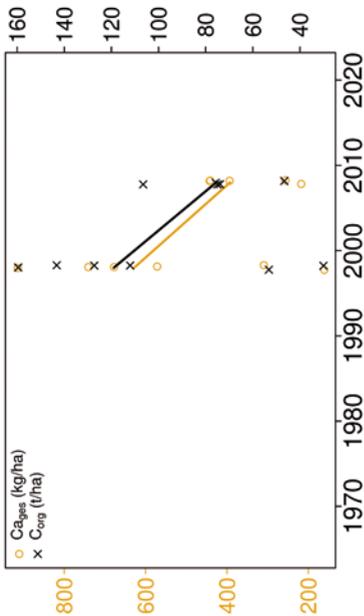
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)





Vorrats- und pH-Änderungen

Hils Kamm



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe

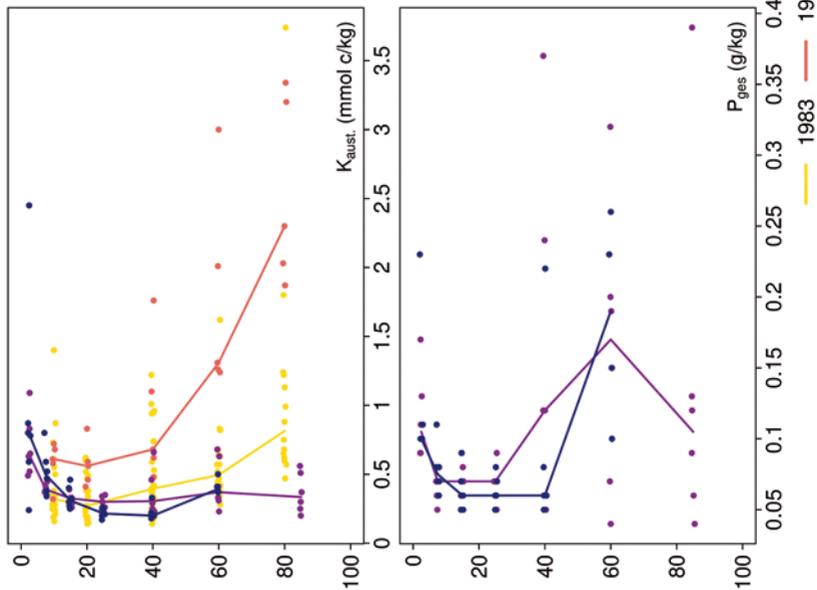
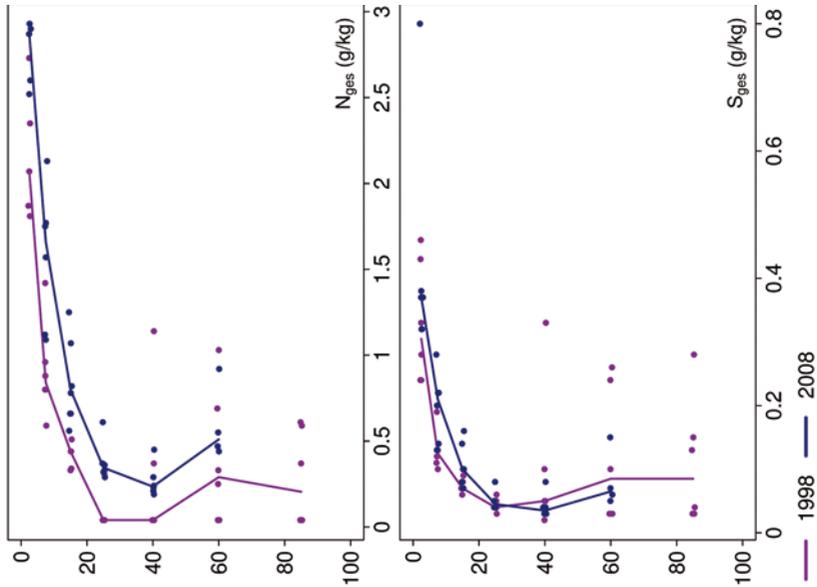
keine Werte vorhanden

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe

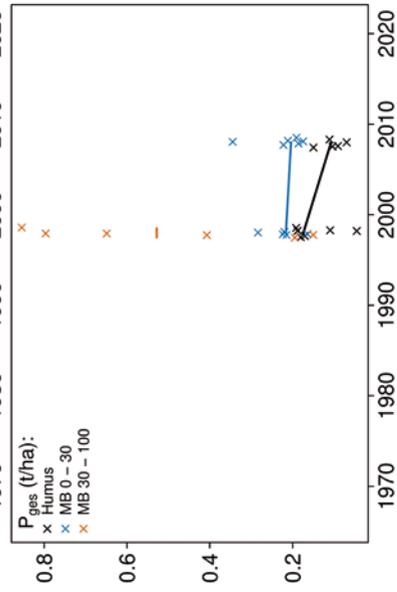
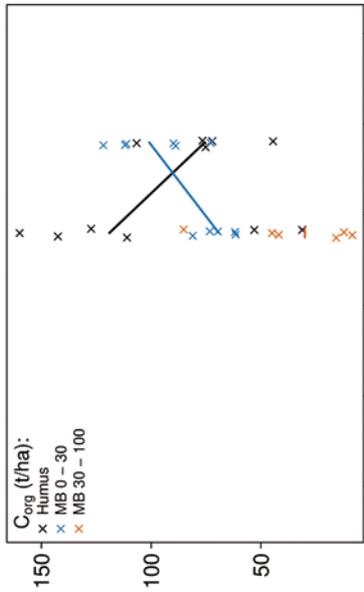
keine Werte vorhanden

Hils Kamm

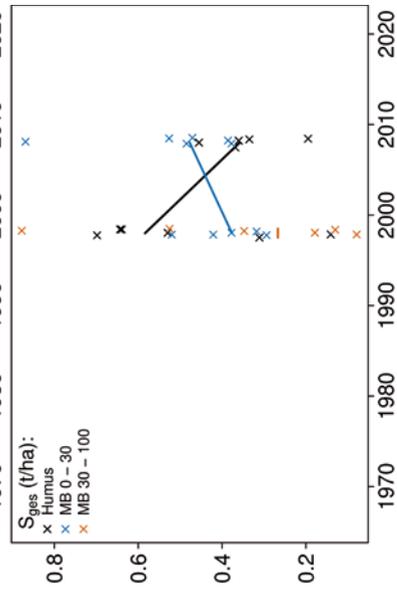
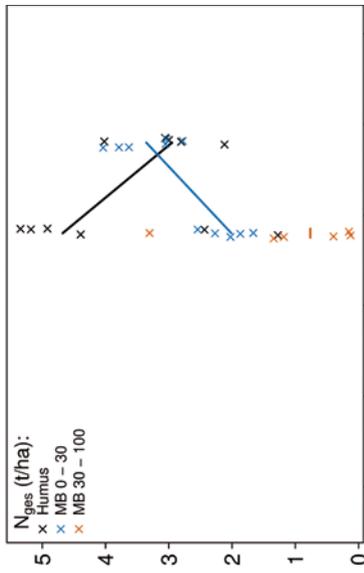
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Hils Kamm



Schwermetalle

Der Boden dieser Fläche ist ein stark schluffiger, sehr skeletthaltiger Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Da vom Mineralboden dieser Fläche keine Messwerte von Königswasser-Extrakten vorliegen, können nur die Messwerte der Gesamtaufschlüsse betrachtet werden. Die Konzentrationen in Gesamtaufschlüssen sind für alle Schwermetalle bis auf Chrom (Cr), mit denen von Königswasser-Extrakten annähernd vergleichbar. Die Cr-Gehalte können deshalb nur für die Humusaufgabe bewertet werden.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) und Cadmium (Cd) eine mittlere, für Zink (Zn) eine leichte und für Kupfer (Cu) und Nickel (Ni) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen in 0-5 cm Tiefe zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. In der Humusaufgabe sind die Pb-Gehalte fast dreimal so hoch wie der kritische Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Ferner liegen die Gehalte der Humusaufgabe für alle Schwermetalle über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Und auch im Mineralboden werden sie für Cd, Pb und Cu überschritten.

Im Oberboden sind die Pb- und Cd-Gehalte mit Werten im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen hoch, und nehmen mit zunehmender Tiefe bis in 50 cm Tiefe stark ab. In größerer Tiefe schließt sich eine Schicht mit höheren Gehalten an. Die Cu-, Ni- und Zn-Gehalte zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die von Cd und Pb, allerdings auf sehr viel niedrigerem Niveau. Die Kobalt (Co)-Werte sind mit Gehalten im unteren Quartil bis in 50 cm Tiefe gering, in 50- 70 cm höher.

In der Humusaufgabe sind die Cd-, Cu-, Ni-, Pb- und Zn-Gehalte sehr hoch (oberes Quartil). Für Co sind sie mit Gehalten zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil niedriger, für Cr liegen keine Werte vor.

Zwischen 1998 und 2008 haben die Cd- und Zn-Vorräte in der Humusaufgabe abgenommen, während sie sich für Cu, Co, Ni und Pb nur wenig verändert haben. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für die Inventur von 2008 Messwerte gibt.

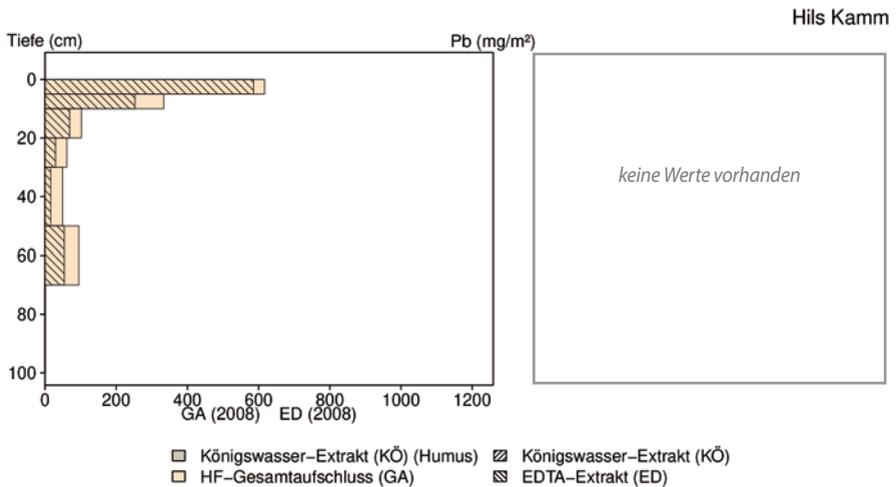
Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Cd, Cu, Ni, Pb und Zn kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte, und für Pb sogar den kritischen Level stark überschreiten. Im oberen Mineralboden sind die Gehalte dieser Schwermetalle ebenfalls erhöht, und überschreiten für Pb sogar den halben Vorsorgewert der BBodSchV. In der Humusaufgabe haben die Cd- und Zn- Vorräte abgenommen und sind offensichtlich in den Oberboden verlagert worden, da hier 2008 erhöhte Gehalte bis in 20 cm Tiefe gefunden werden konnten. Jedoch muss auch Pb in den Mineralboden verlagert worden sein, da die Gehalte bis in 10 cm Tiefe wesentlich höher sind als in größerer Tiefe. Der Vergleich mit den tiefer gelegenen Flächen Hils Mulde alt (HIMA) und Hils Mulde jung (HIMJ) in unmittelbarer Nähe zeigt eine wesentlich höhere Belastung des Bodens dieser

sich in Kammlage befindenden Fläche. Dies kann auf die insbesondere im Herbst und Winter höheren Niederschlagsmengen und die häufigeren Nebellagen zurückgeführt werden, weil dadurch mehr Stoffe aus der Luft deponiert werden können. Interessant ist auch die schwermetallreichere Schicht in größerer Tiefe, die nur im Boden dieser Fläche zu finden ist.

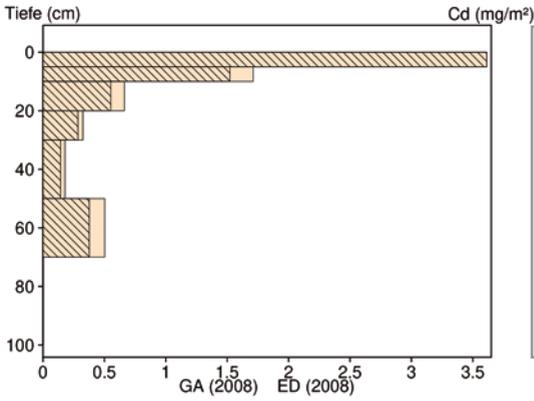
Bewertung Schwermetalle



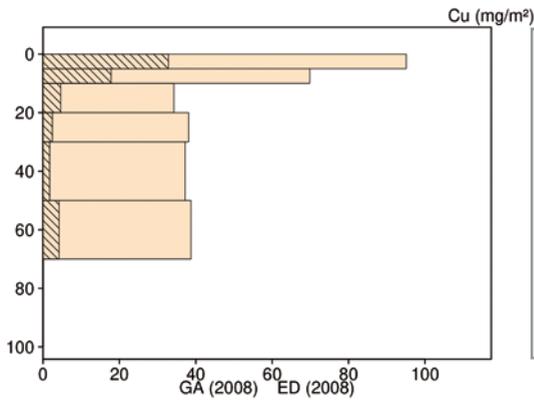
Schwermetallvorräte



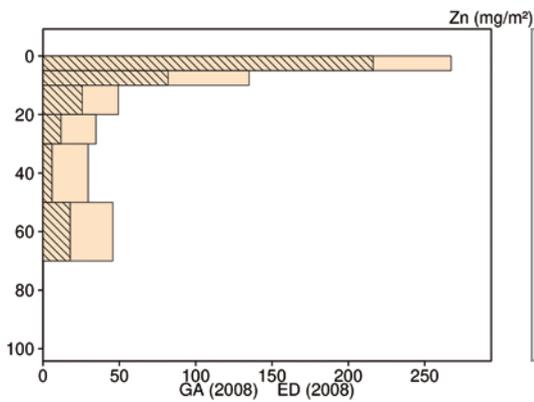
HIKA



keine Werte vorhanden

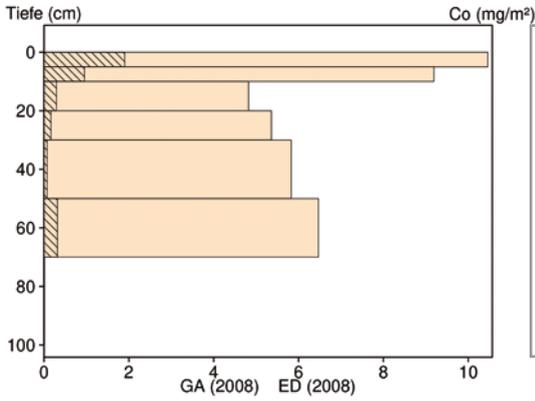


keine Werte vorhanden

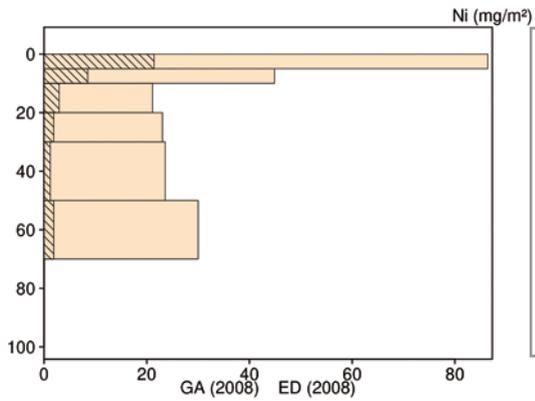


keine Werte vorhanden

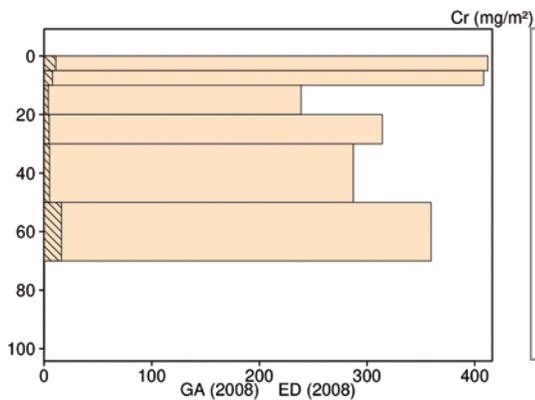
- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)



keine Werte vorhanden



keine Werte vorhanden



keine Werte vorhanden

- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- EDTA-Extrakt (ED)

12.9 Hils Mulde alt (HIMA)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Grünenplan 79b		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Weserbergland	551000			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	210/6/WSW		
Unteres Weser-Leine-Bergland	5752700			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
<i>1961-1990</i>	<i>1961-1990</i>	<i>1991-2020</i>	<i>1961-1990</i>	<i>1991-2020</i>
schwach subatlantisch	882	876	387	376
<i>1991-2020</i>	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
schwach subatlantisch	<i>1961-1990</i>	<i>1991-2020</i>	<i>1961-1990</i>	<i>1991-2020</i>
	8,2	9,3	14,5	15,6
Monitoringprogramme				
BDF-F 17 (Standard)				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1983 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, 1998-2008, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), 1998-2008, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1998-2008, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenvegetation, Kronenzustand, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
Kreidesandstein	Böden aus basenarmem Festgestein		>50 %, sehr skelettreich	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
rohhumusartiger Moder (MR)	Braunerde, stark podsolig		-	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
19.3.2.3 t	ziemlich frisch, mesotroph		101 (bis 65 cm)	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
137	-		-	
sonstiges: Die Fläche wurde 2009 stillgelegt				

Profilbeschreibungen (nach KA5)

Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-11.1 - -9.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	2,9
Of	-9.5 - -5.4	0	Vn	h7	Ld0	c0	9,0
Oh	-5.4 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	14,0
Ahe	0 - 5	18	Uls	h2	Ld2	c0	9,0
Bhv	5 - 11	18	Uls	h0	Ld2	c0	9,8
Bv	11 - 50	18	Uls	h0	Ld2	c0	64,0
IIBv-Cv	50 - 65	38	Uls	h0	Ld2	c0	18,6
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							101,4
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							127,4

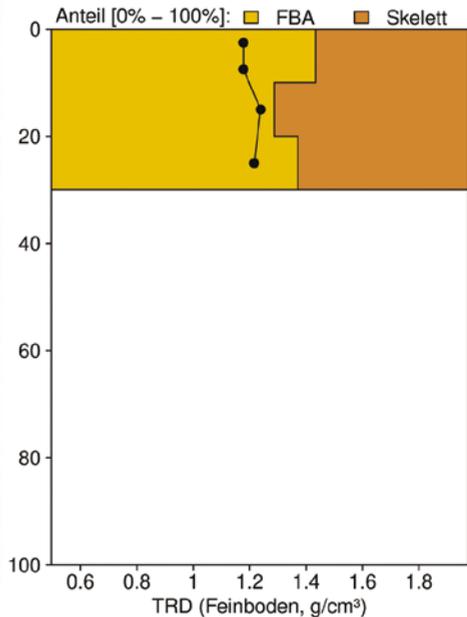
Deutschmann 13.5.1999

HIMA



Foto stammt aus einer neueren Inventur und spiegelt nicht 1:1 die Profilbeschreibung wieder

Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2008

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	6,5	0,6	1,8	0,6	0,01	47,0	0,6	1,2		
Of	-	-	73,8	12,6	28,2	14,7	0,57	25,9	19,7	64,6	3,89	3,04
Oh	-	-	147	40,4	107	32,8	1,25	26,2	44,1	164	3,44	2,77
0 - 5	13,3	35,0	66,6	7,2	20,3	20,3	0,77	26,5	50,0	95,0	3,59	2,89
5 - 10	9,7	25,6	27,3	3,7	15,4	10,8	0,42	25,9	42,5	58,1	3,65	3,04
10 - 20	6,7	47,6	29,3	5,4	25,1	11,6	0,45	25,8	66,2	75,0	3,78	3,25
20 - 30	5,6	51,2	19,9	4,9	30,0	11,0	0,45	24,4	76,5	83,7	3,98	3,48
30 - 50	6,2	80,6	22,8	7,1	62,3	14,0	0,66	21,1	150	148	4,21	3,76
50 - 70	7,8	67,8	17,0	6,7	76,4	7,1	0,44	16,2	134	111	4,41	3,92
70 - 100	9,3	35,7	11,1	4,6	49,5	1,4	0,15	9,8	65,5	39,0	4,56	3,90
Σ L-100cm		344	421	93,3	416	124	5,2		649	840		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Fichten-Reinbestand stockt auf einem stark schluffigen, sehr skelettreichen, flachgründigen Sandboden. Der Boden ist sehr inhomogen, was die große Streuung der Messwerte zeigt.

Da eine Beprobung mit Stechzylindern zur Bestimmung des Grobbodenanteils und der Trockenraumdichte nur bis in 30 cm Tiefe möglich war, wurden die Feinbodenvorratsdaten für größere Tiefen aus den Messwerten der benachbarten Fläche Hils Mulde jung (HIMJ) abgeleitet.

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Vorräte lagen 2008 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei weitem C/N-Verhältnis bis in 20 cm Tiefe und mäßig weitem bis mittlerem Verhältnis in größerer Tiefe. Zwischen 1998 und 2008 hat der N-Vorrat in der Humusaufgabe und im Mineralboden leicht zugenommen.

Der Vorrat an Magnesium (Mg) war gering, während er für Calcium (Ca) und Kalium (K) mit mäßigen Vorräten höher war. Zwischen 1998 und 2008 hat der K-Vorrat im gesamten Profil, der Ca-Vorrat im Unterboden abgenommen.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2008 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 649 t/ha im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1998 und 2008 kann wegen der stark streuenden, sehr niedrigen P-Messwerte keine Veränderung festgestellt werden.

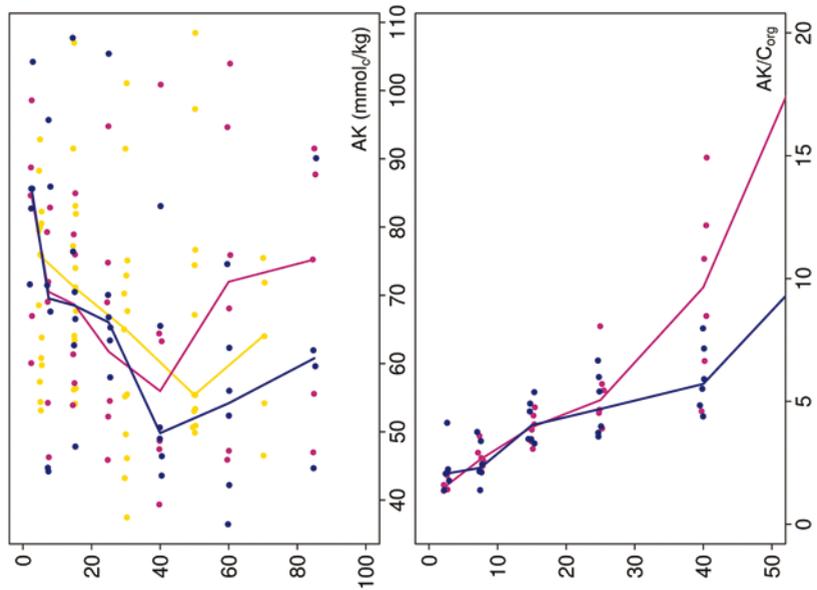
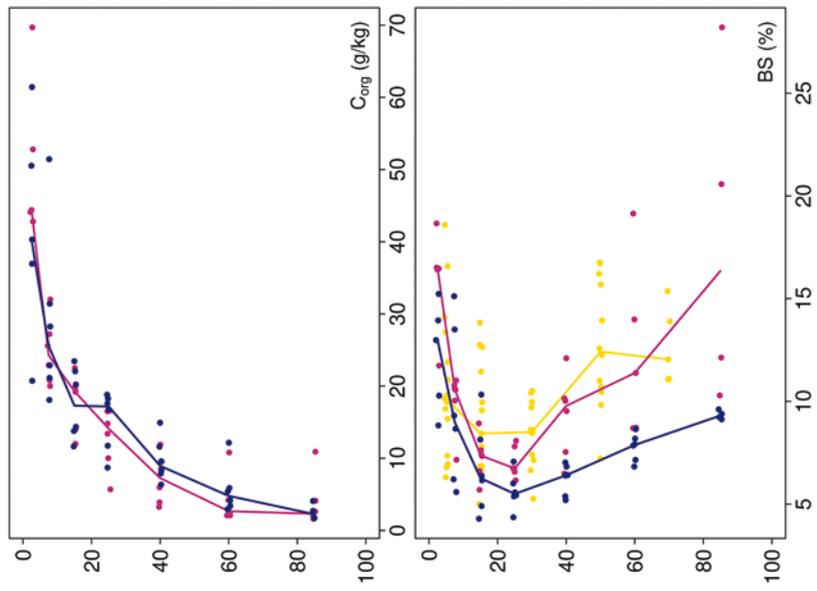
Für Schwefel (S) lag der Vorrat 2008 mit 840 kg/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median. Zwischen 1998 und 2008 hat er im Unterboden stark abgenommen. In der Humusaufgabe und im Oberboden veränderte er sich nur wenig.

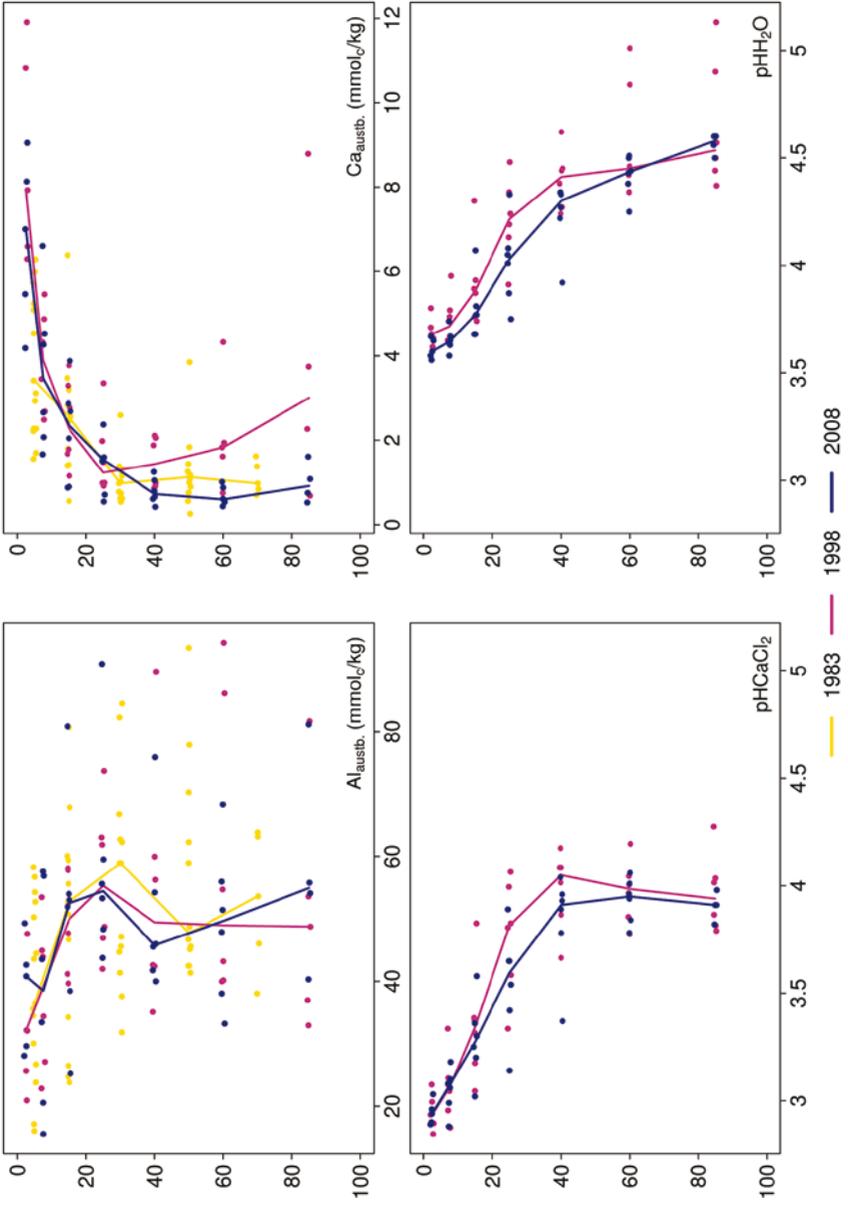
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 20 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, in 20-30 cm Tiefe dem Aluminium- und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Weiter abnehmende Ca-Vorräte und eine Abnahme der Basensättigung weisen auf ein Voranschreiten der Versauerung hin.

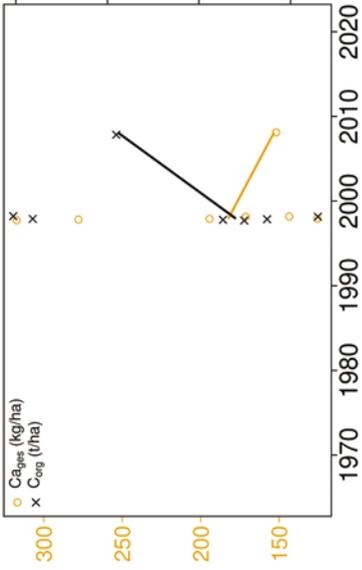
Hils Mulde alt

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

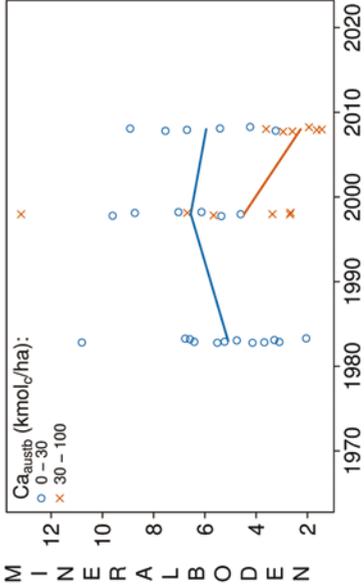
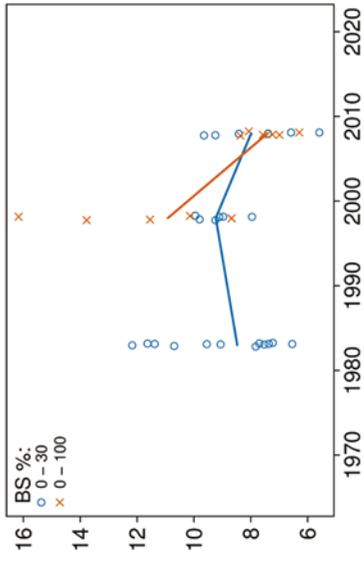
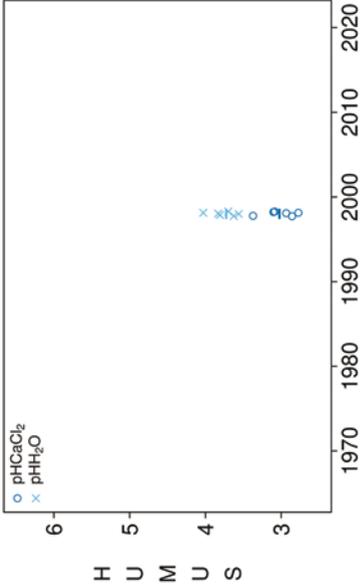




Vorrats- und pH-Änderungen



Hils Mulde alt



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe

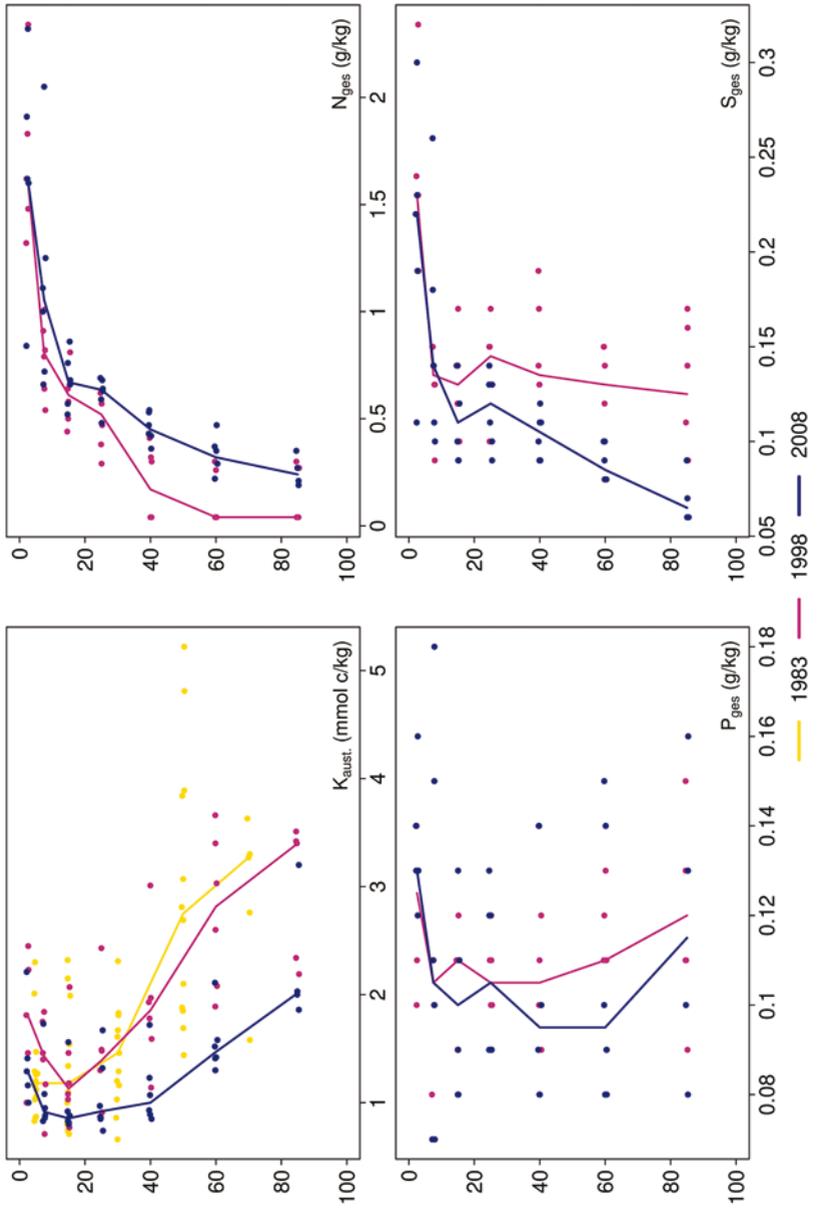
<i>keine Werte vorhanden</i>

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe

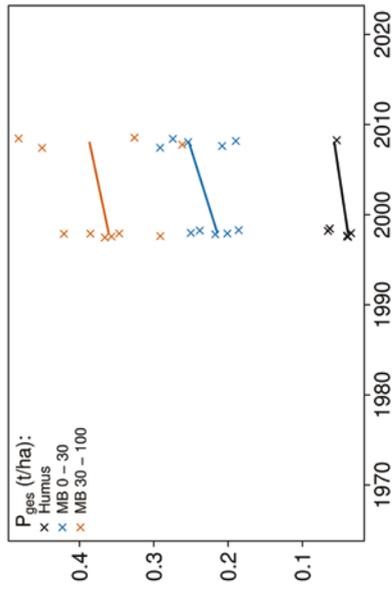
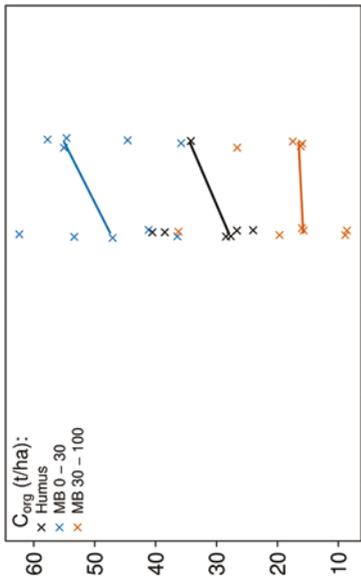
<i>keine Werte vorhanden</i>

Hils Mulde alt

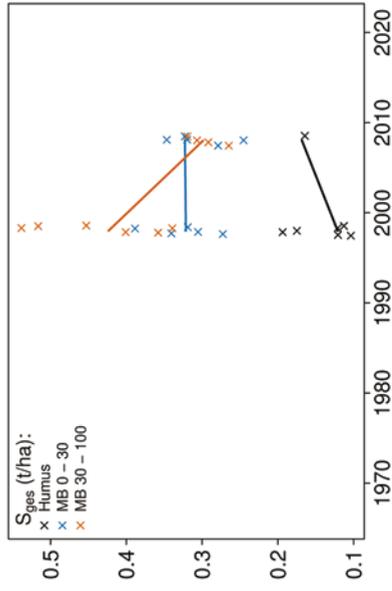
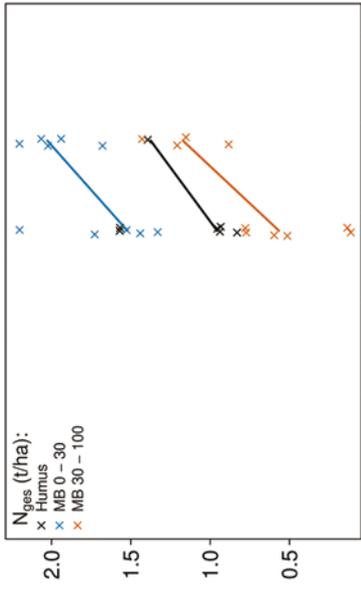
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Hils Mulde alt



Schwermetalle

Der Boden dieser Fläche ist ein stark schluffiger, sehr skeletthaltiger Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Da vom Mineralboden dieser Fläche keine Messwerte von Königswasser-Extrakten vorliegen, können nur die Messwerte der Gesamtaufschlüsse betrachtet werden. Die Konzentrationen in Gesamtaufschlüssen sind für alle Schwermetalle bis auf Chrom (Cr) mit denen von Königswasser-Extrakten annähernd vergleichbar. Die Cr-Gehalte können deshalb nur für die Humusaufgabe bewertet werden.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine leichte Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen in 0-5 cm Tiefe zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. In der Humusaufgabe sind die Pb-Gehalte fast doppelt so hoch wie der kritische Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht. Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Pb und Zink (Zn) über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie für Pb bis in 10 cm Tiefe überschritten.

Im Oberboden sind die Pb- und Cd-Gehalte mit Werten im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen vergleichsweise hoch. Für Pb nehmen sie mit zunehmender Tiefe stark ab, während sie für Cd nur bis in 20 cm Tiefe abnehmen und danach wieder auf ähnlich hohe Werte wie in 0-5 cm Tiefe ansteigen. Die Cu-, Nickel (Ni)- und Zn-Gehalte liegen im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil. Die Kobalt (Co)-Werte steigen mit zunehmender Tiefe von mittleren bis auf hohe Werte an.

In der Humusaufgabe sind die Cd-, Co- und Pb-Gehalte ebenfalls sehr hoch (oberes Quartil), während sie für Cu, Ni und Zn niedriger sind (zwischen Median und 75 %-Quartil). Für Cr liegen keine Werte vor.

In der Humusaufgabe haben die Vorräte aller Schwermetalle zwischen 1998 und 2008 zugenommen, während sie im Humus der benachbarten Flächen Hils Kamm (HIKA) und Hils Mulde jung (HIMJ) eher abgenommen haben. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für die Inventur von 2008 Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Cd, Cu, Pb und Zn kontaminiert, deren Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level erheblich überschreiten. Im oberen Mineralboden sind die Gehalte dieser Schwermetalle ebenfalls erhöht und überschreiten für Pb sogar den halben Vorsorgewert der BBodSchV. In der Humusaufgabe haben die Vorräte aller Schwermetalle zwischen 1998 und 2008 zugenommen. Der Vergleich mit den benachbarten Flächen zeigt eine geringere Belastung des Bodens dieser sich in einer Mulde befindenden Fläche im Vergleich zur Kammfläche HIKA und eine höhere Belastung als im Boden der Fläche HIMJ, deren Bestand wesentlich jünger ist. Für die Zunahme der Vorräte aller Schwermetalle in der organischen Auflage, die auf den benachbarten Flächen nicht zu beobachten sind, konnte keine Erklärung gefunden werden.

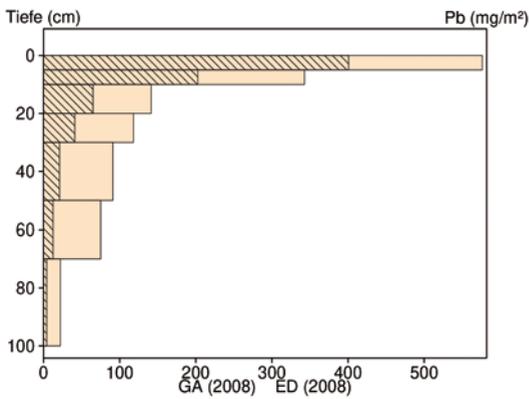
Bewertung Schwermetalle



HIMA

Schwermetallvorräte

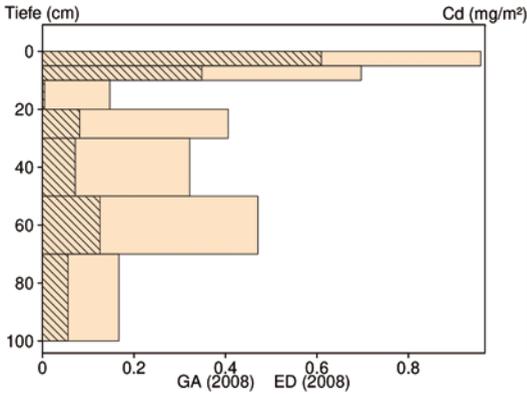
Hils Mulde alt



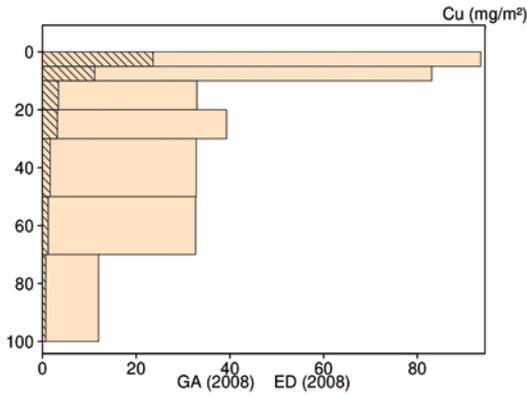
- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)

Hils Mulde alt

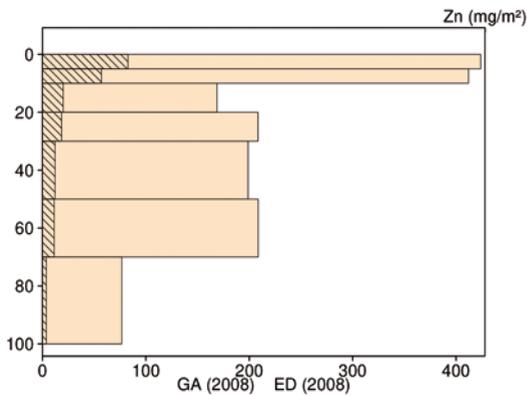
HIMA



keine Werte vorhanden

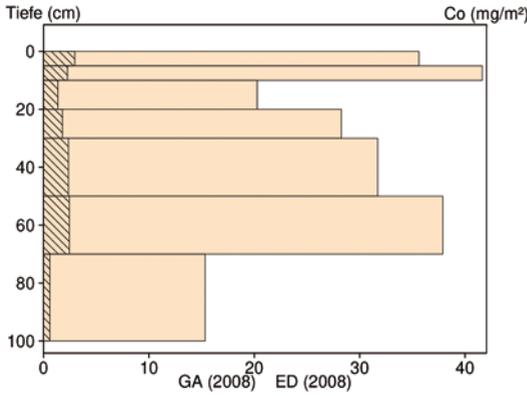


keine Werte vorhanden

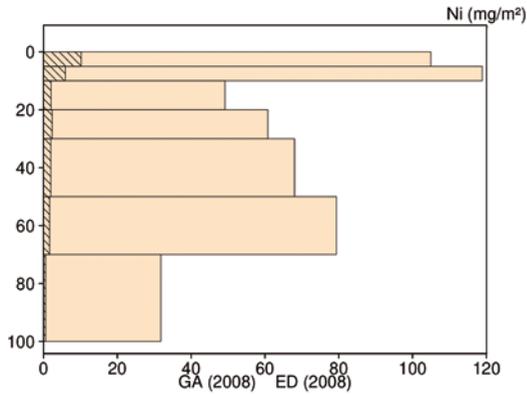


keine Werte vorhanden

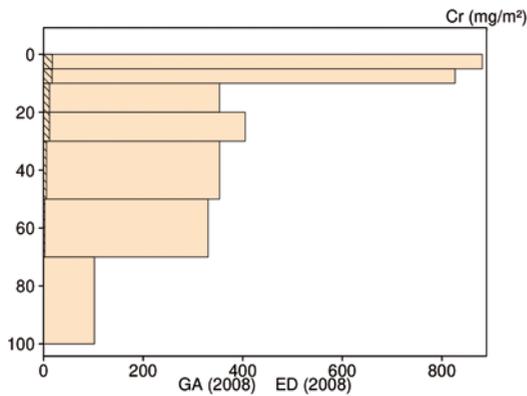
- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)



keine Werte vorhanden



keine Werte vorhanden



keine Werte vorhanden

Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 EDTA-Extrakt (ED)

12.10 Hils Mulde jung (HIMJ)

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Grünenplan 2065j		Niedersachsen		
Wuchsgebiet		UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition	
Weserbergland		554600		
Wuchsbezirk		UTM N	320/6-9/NNO	
Unteres Weser-Leine-Bergland		5750000		
Klima				
Klimafeuchtestufe		Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]
1961-1990		1961-1990	1991-2020	1961-1990 1991-2020
mäßig subatlantisch		924	931	403 396
1991-2020		mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]
schwach subatlantisch		1961-1990	1991-2020	1961-1990 1991-2020
		7,6	8,6	13,8 14,9
Monitoringprogramme				
BDF-F 19 (Standard)				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1983 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1998, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1998, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1998-2008, alle ±10 Jahre				
weitere Untersuchungen				
Bodenvegetation, Kronenzustand, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
Ausgangssubstrat		Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett
Kreidesandstein		Böden aus basenarmem Festgestein		>50 %, sehr skelettreich
Humusform (n. KA5)		Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)
rohhumusartiger Moder (MR)		Podsol-Braunerde		Dystric Endoskeletal Cambisol (Episiltic)
Standortstyp Bundesland		Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)
19.3+.2.3t		ziemlich frisch, mesotroph		93
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)		Kalkung (Menge/Jahr)		
5		-		
Bestand				
Hauptbaumart		Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation
Fichte		Rotbuche		Hainsimsen-Buchenwald
Bestandesalter (2021)		Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung
49		8,6/-0,3		starke Niederdurchforstung
sonstiges: -				

HIMJ

Profilbeschreibungen (nach KA5)

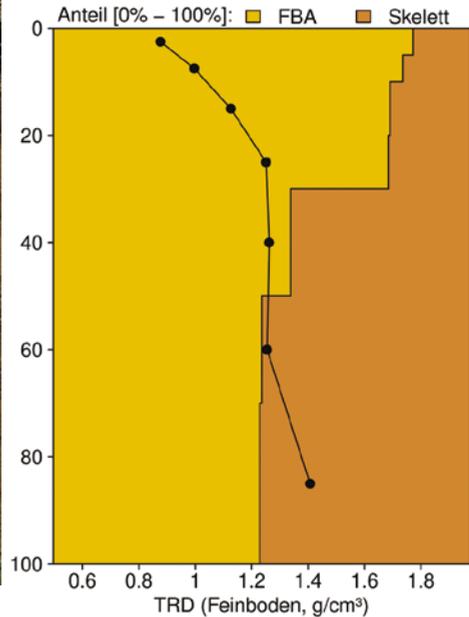
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont	
L	-3 - -2.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	0,9	
Of	-2.5 - -1.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	2,2	
Oh	-1.5 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,9	
Aeh	0 - 7	10	Uls	h2	Ld3	c0	12,6	
Bv	7 - 30	10	Uls	h0	Ld3	c0	37,3	
Cv-Bv	30 - 57	30	Uls	h0	Ld3	c0	34,0	
IIbV-Cv	57 - 77	70	Su3	h0	Ld3	c0	7,8	
IIcV	77 - 100	95	Su3	h0	Ld4	c0	1,4	
Σ bis 100 cm nur Mineralboden								93,1
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage								100,1

HIMJ

Melms 26.4.2018



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2018

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	35,5	5,5	8,7	3,6	0,13	28,3	7,5	11,5	4,39	3,74
Of	-	-	36,0	8,5	12,0	5,4	0,23	23,6	11,9	24,9	3,89	3,19
Oh	-	-	25,6	13,1	21,6	5,6	0,26	21,4	14,7	31,4	3,64	2,96
0 - 5	10,2	48,0	40,2	15,8	31,1	29,6	1,38	21,5	152	191	3,78	3,11
5 - 10	6,8	45,9	19,9	10,3	19,6	17,8	0,80	22,2	133	115	3,93	3,34
10 - 20	6,0	62,4	21,1	10,4	26,9	21,7	1,02	21,2	247	154	4,35	3,76
20 - 30	6,3	51,6	16,8	6,6	29,0	16,4	0,85	19,2	306	152	4,56	4,08
30 - 50	6,6	50,7	16,5	5,5	37,8	13,3	0,77	17,3	359	172	4,58	4,14
50 - 70	7,3	36,5	11,6	5,2	29,8	6,2	0,41	14,8	255	121	4,55	4,07
70 - 100	7,4	22,5	9,2	3,1	18,6	2,4	0,17	14,2	109	54,9	4,55	4,00
Σ L-100cm		317	233	83,9	235	122	6,0		1596	1028		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

HIMJ

Allgemeines

Der Fichten-Reinbestand stockt auf einem stark schluffigen, skelettreichen, mittelgründigen Sandboden. Der Boden ist insbesondere im skelettärmeren Oberboden wesentlich homogener als die Böden der beiden benachbarten Flächen Hils Kamm (HIKA) und Hils Mulde alt (HIMA). Dies zeigen die im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte, deren Streuung mit Variationskoeffizienten zwischen 5 und 20 % vergleichsweise gering ist.

Nährelementstatus

HIMJ

Die Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Vorräte lagen 2018 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei mäßig weitem C/N-Verhältnis bis in 20 cm Tiefe und mittlerem bis mäßig engem Verhältnis in größerer Tiefe. Zwischen 1998 und 2018 haben die C- und N-Vorräte im Oberboden leicht zugenommen, während sie in der Humusaufgabe zwischen 2008 und 2018 geringfügig abgenommen haben und sich im Unterboden kaum veränderten.

Die Vorräte an Magnesium (Mg), Calcium (Ca) und Kalium (K) waren 2018 gering. Zwischen 1998 und 2018 haben sich die Mg- und K-Vorräte im gesamten Profil nur wenig verändert, während der Ca-Vorrat in der Humusaufgabe weiter abgenommen hat.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2018 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1596 t/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median der Vorräte aller Flächen. Im Vergleich zu den benachbarten Flächen HIKA und HIMA ist er damit fast dreimal so hoch. Zwischen 1998 und 2018 hat sich der P-Vorrat nur wenig geändert.

Für Schwefel (S) lag der Vorrat 2018 mit 1048 kg/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median, wobei hohe Anteile in 0-10 cm Tiefe und geringere in größerer Tiefe zu finden waren. Zwischen 2008 und 2018 hat der S-Vorrat in der Humusaufgabe ab und im Oberboden zugenommen. Im Unterboden ist für diesen Zeitraum eine starke Abnahme zu sehen. Vor 2008 kann keine Veränderung festgestellt werden.

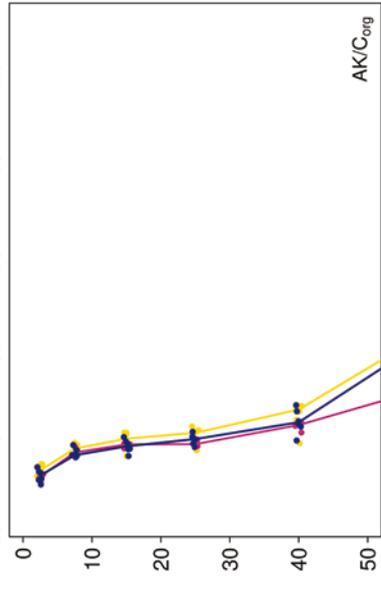
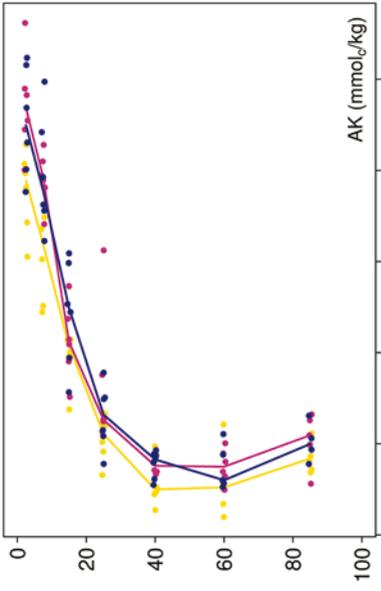
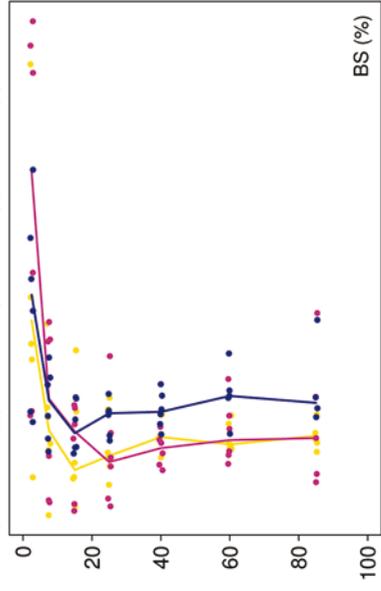
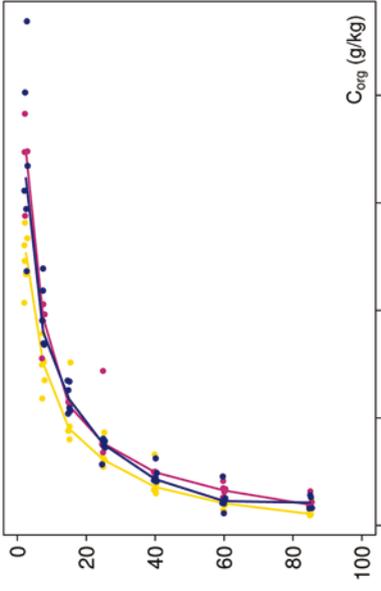
Säure-Base-Status und -Dynamik

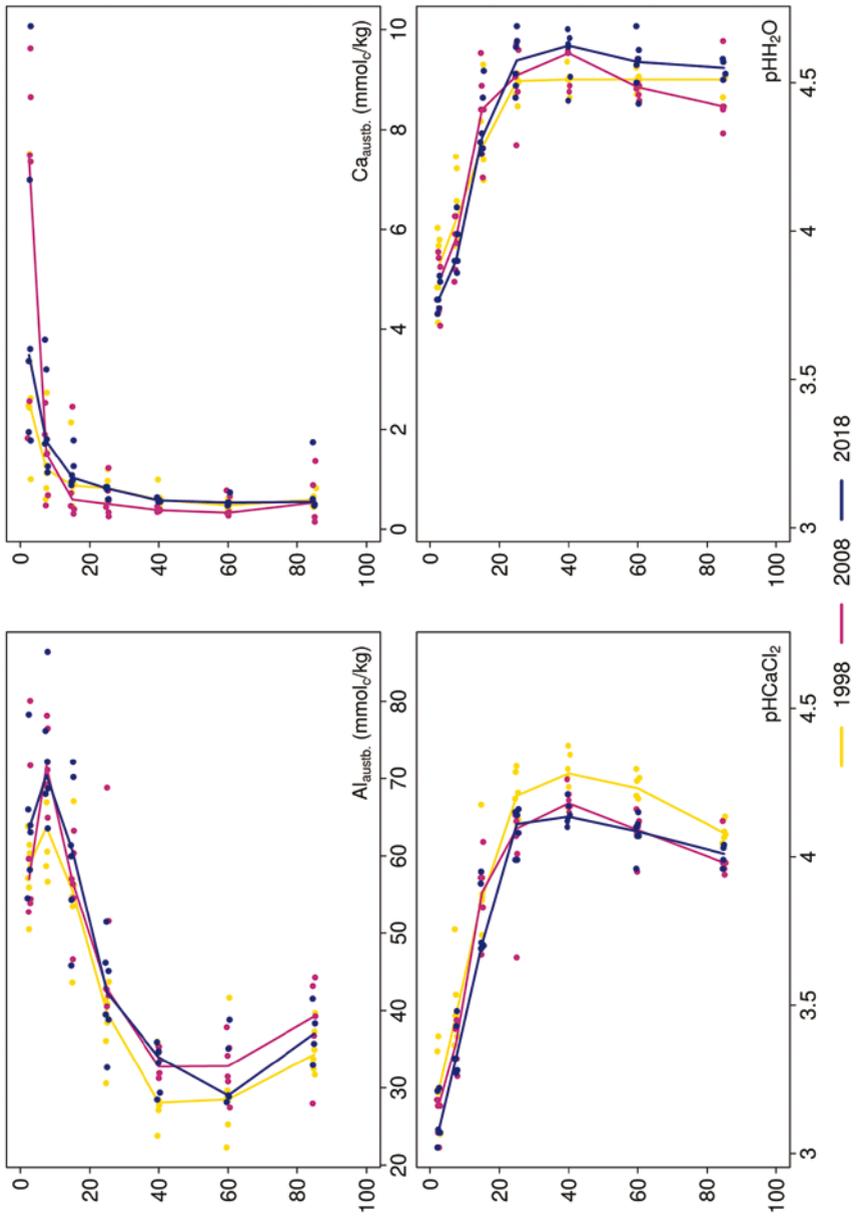
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 10 cm Tiefe dem Aluminium- und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Der Boden ist nicht so tiefgründig versauert wie der Boden der Fläche Hils Mulde alt (HIMA) oder gar der Fläche Hils Kamm (HIKA), wo die Versauerung am weitesten fortgeschritten ist, was die pH-Werte und die Basensättigung belegen.

Aus den Wiederholungsinventuren ergeben sich keine Anzeichen hinsichtlich einer Veränderung.

Hills Mulde jung

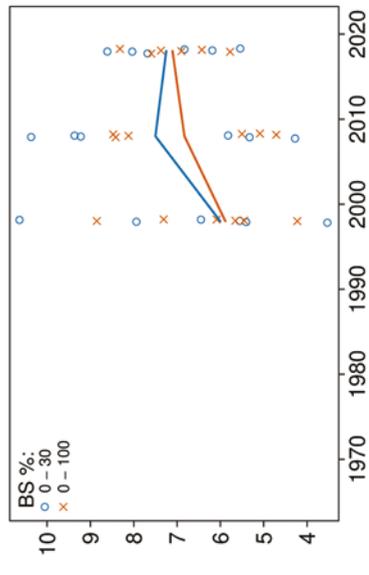
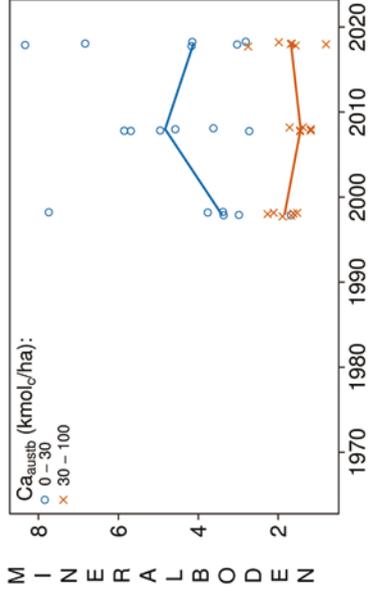
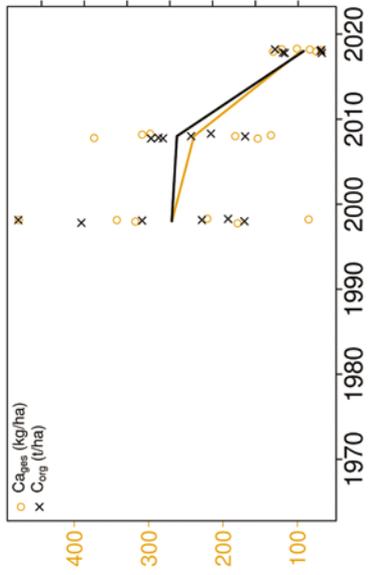
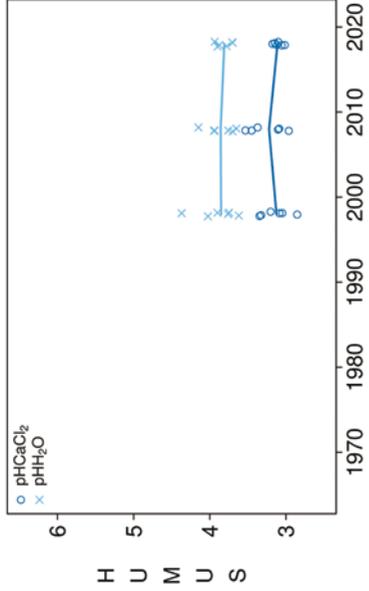
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)





Hils Mulde jung

Vorrats- und pH-Änderungen



Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2018)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	8,74	0,46	10,68	1,04	0,87	0,08	0,35	0,44	0,091	1,43	12,28	6,04	4,30	74,41	20,54
5	10	10,82	0,46	14,18	1,11	1,19	0,14	0,29	0,25	0,076	1,96	14,67	4,32	5,42	49,61	23,48
10	20	12,95	0,49	13,46	1,16	1,41	0,31	0,27	0,17	0,077	3,18	15,49	3,70	6,46	30,03	26,69
20	30	13,92	0,51	12,93	1,20	1,54	0,40	0,27	0,14	0,071	4,04	15,73	3,25	7,27	15,65	28,32
30	50	13,59	0,51	13,19	1,27	1,72	0,39	0,25	0,12	0,060	4,61	16,05	3,51	8,56	9,95	28,34
50	70	13,09	0,45	14,94	1,58	1,89	0,35	0,20	0,10	0,052	5,60	19,09	4,66	10,00	9,37	26,53
70	100	14,40	0,42	16,59	1,93	2,16	0,31	0,20	0,10	0,050	5,48	21,07	5,20	10,65	9,59	26,93

□ bis 25%-Quartil

□ 25 %-Quartil - Med.

□ Med. - 75 %-Quartil

□ 75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2018)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	6	12	13	7	9	18	12	20	17	8	5	16	7	19	8
5	10	7	5	5	8	8	19	7	13	16	11	5	9	7	11	8
10	20	8	4	6	10	9	20	8	10	15	14	6	8	5	17	4
20	30	8	2	8	11	8	13	11	9	14	10	10	12	8	15	6
30	50	9	8	5	7	8	16	13	6	12	9	5	8	6	18	8
50	70	10	19	8	10	9	13	14	20	13	8	12	15	8	10	11
70	100	8	13	6	11	8	24	6	9	14	8	10	9	10	4	6

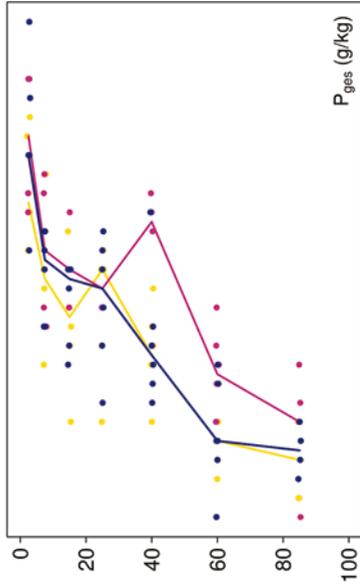
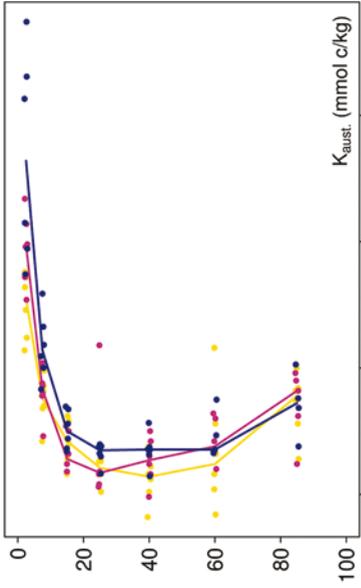
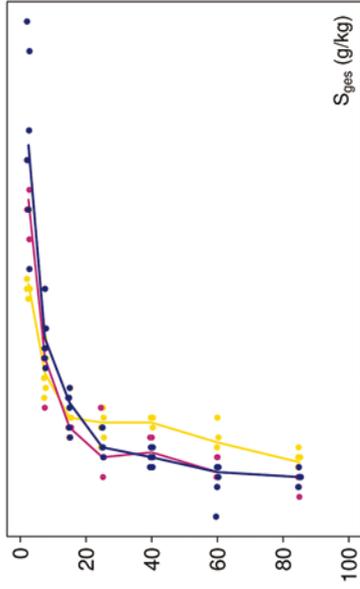
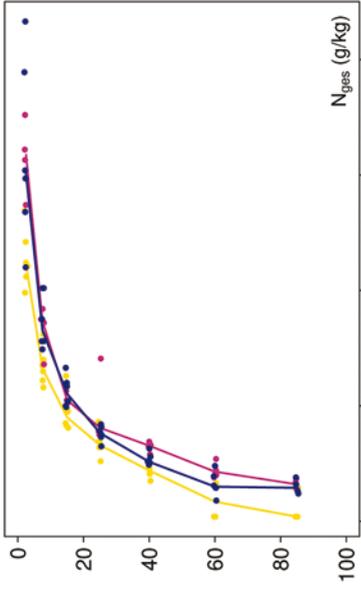
□ 0-20 %

□ 20-50 %

□ >50 %

Hils Mulde jung

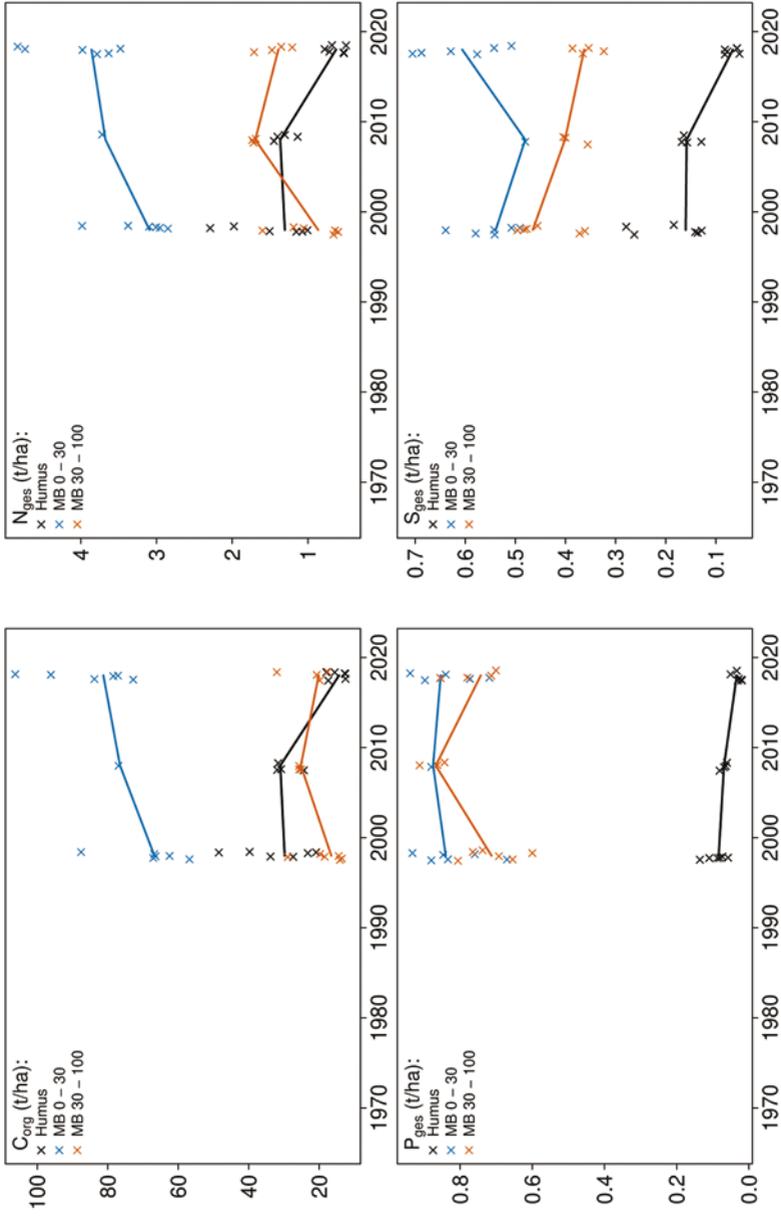
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



— 1998 — 2008 — 2018

Hils Mulde jung

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden dieser Fläche ist ein stark schluffiger, skeletthaltiger Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine mittlere und für Cadmium (Cd) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm). Die Pb-Gehalte liegen in 0-5 cm Tiefe zudem über dem Vorsorgewert der BBodSchV und in 5-10 cm über dem halben Vorsorgewert.

Und auch in der Humusaufgabe sind die Pb-Gehalte geringfügig höher als der kritische Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Kupfer (Cu) und Pb über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommarez et al. 2021). Im Mineralboden werden sie für Cu, Chrom (Cr) und Pb überschritten.

Im Oberboden sind die Pb- und Cd-Gehalte mit Werten im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen vergleichsweise hoch. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie stark ab. Die Cu- und Zink (Zn)-Gehalte liegen im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil. Für Kobalt (Co), Cr und Nickel (Ni) steigen sie mit zunehmender Tiefe von Werten, die zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median liegen, auf Werte über dem Median stark an.

In der Humusaufgabe liegen die Gehalte fast aller Schwermetalle über dem Median. Nur für Cd und Zn unterschreiten sie diesen Wert.

Zwischen 1998 und 2008 und 2008 und 2018 haben die Cd-Vorräte in der Humusaufgabe stark abgenommen. Bei Pb, Co, Cu, Ni und Zn zeigt sich zwischen 1998 und 2008 bereits ein minimaler Trend zu abnehmenden Werten, während zwischen 2008 und 2018 eine deutliche Abnahme zu sehen ist. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für die Inventur von 2018 Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch anthropogen eingetragenes Cu und Pb kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb auch den kritischen Level überschreiten. Im oberen Mineralboden sind die Gehalte an Cd und Pb ebenfalls erhöht und überschreiten für Pb sogar den Vorsorgewert der BBodSchV. Im Untersuchungszeitraum haben die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusaufgabe abgenommen. Cd und Pb sind dabei offensichtlich in den Oberboden verlagert worden, da hier 2018 erhöhte Vorräte für Pb bis in 20 cm und für Cd bis in 5 cm Tiefe gefunden wurden. Der Vergleich mit den in der Nähe liegenden Versuchsflächen Hils Kamm (HIKA) und Hils Mulde alt (HIMA) zeigt eine geringere Belastung des Bodens dieser Fläche. Die geringere Belastung dieser Fläche ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Fichten wesentlich jünger (48 statt 136 bzw. 130 Jahre) sind und die Bäume über eine kürzere Zeit und in geringerem Maße Schwermetalle aus der Luft auskämmen konnten.

Bewertung Schwermetalle (2018)

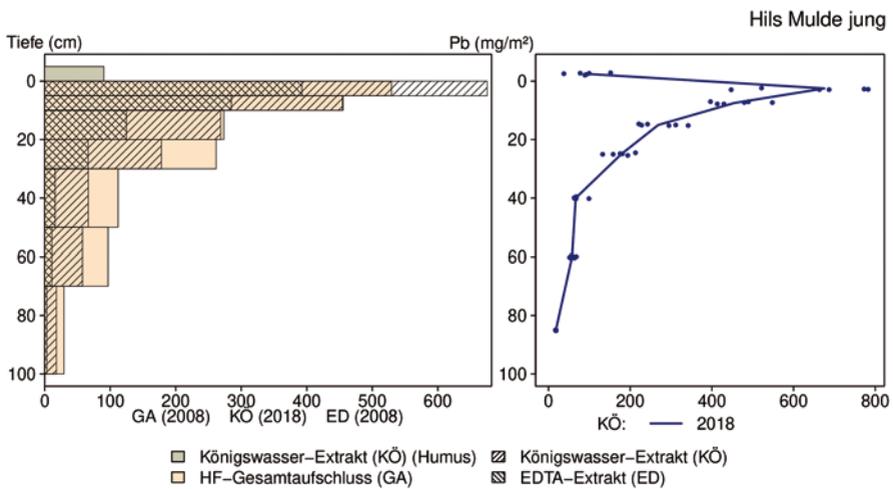
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,09	1,43	12,28	6,04	4,30	74,41	20,54
5	10	0,08	1,96	14,67	4,32	5,42	49,61	23,48
10	20	0,08	3,18	15,49	3,70	6,46	30,03	26,69
20	30	0,07	4,04	15,73	3,25	7,27	15,65	28,32
30	50	0,06	4,61	16,05	3,51	8,56	9,95	28,34
50	70	0,05	5,60	19,09	4,66	10,00	9,37	26,53
70	100	0,05	5,48	21,07	5,20	10,65	9,59	26,93
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

HIMJ

> Vorsorgewert

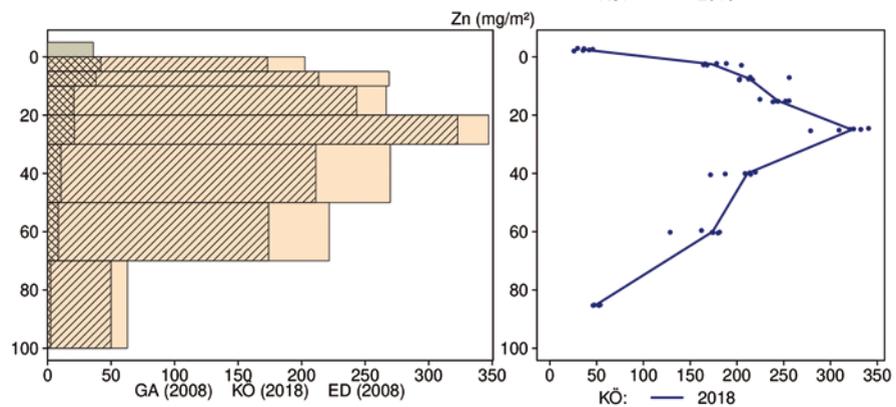
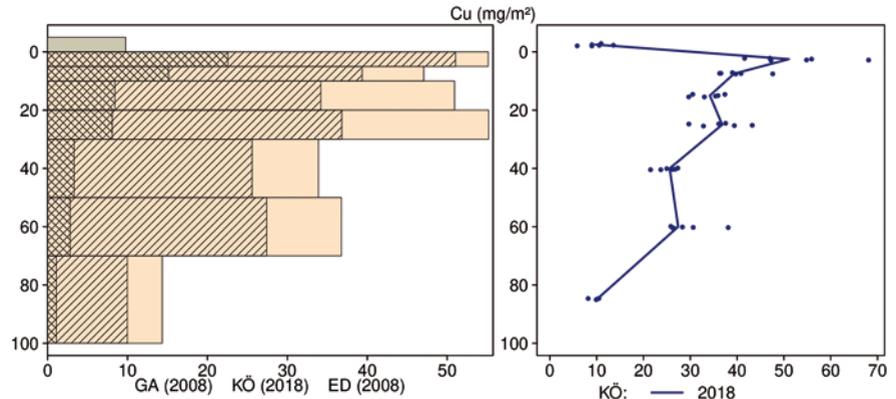
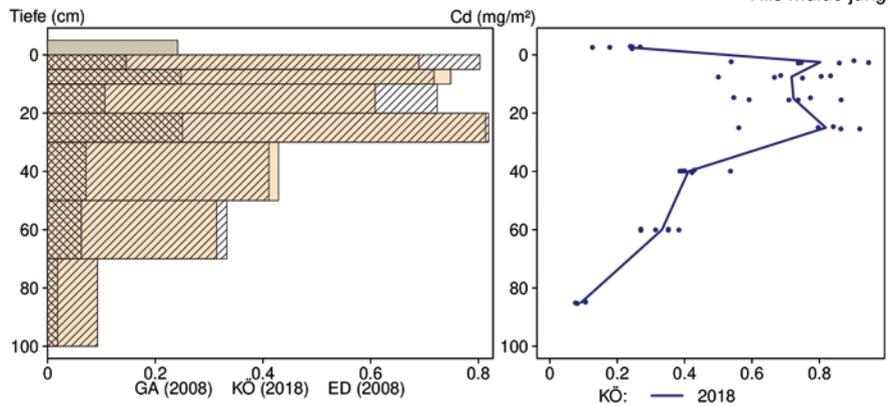
> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte



HIMJ

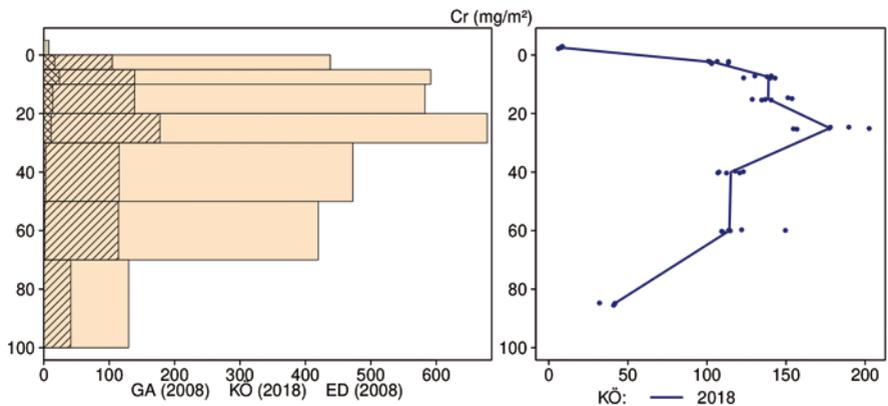
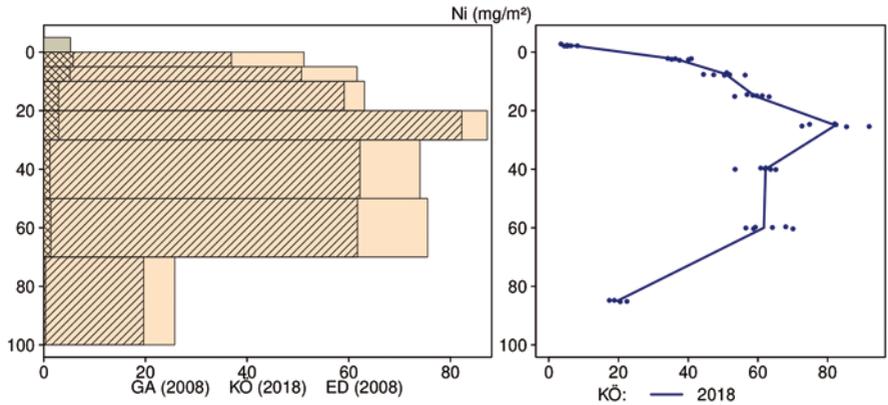
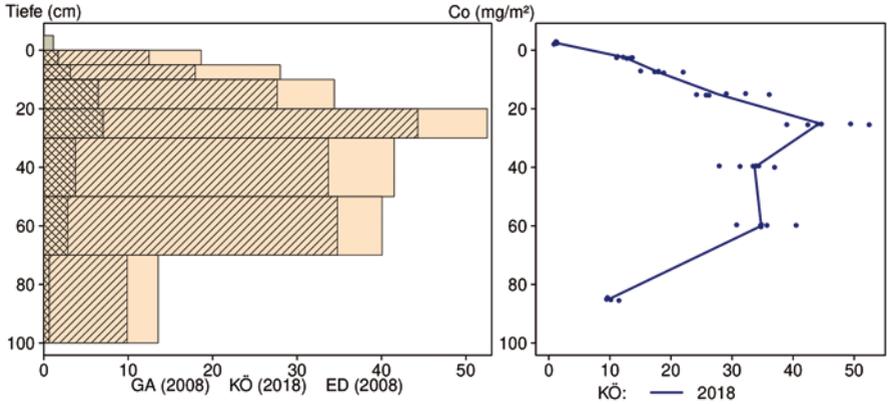
Hils Mulde jung



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▩ EDTA-Extrakt (ED)

Hils Mulde jung

HIMJ



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)

12.11 Klötze Douglasie (KLDG)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Altmark 4508		Sachsen-Anhalt		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Ostnieders.-altmärkisches Altmoränenland		648100		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N	107/0/-	
Klötzer Hochfläche		5827700		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
mäßig subkontinental	572	609	276	295
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,4	9,5	15	16,1
Monitoringprogramme				
Level II plot 1503, BDF 05.2 Sachsen-Anhalt				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 2012, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
-				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviatile Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		<10 %, skelettarm	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
feinhumusreicher rothumusartiger Moder (MRR)	Braunerde-Podsol		Anoanthrombric Albic Podzol (Aric, Endolamellic, Pantoarenic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
ZaS77,TM2	ziemlich frisch, schwach mesotroph		110	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Douglasie	-		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
55	18/0,3		mäßige Hochdurchforstung	
sonstiges: Erfassung der Luftqualität an der Station Zartau (LUESA)				

Profilbeschreibungen (nach KA5)

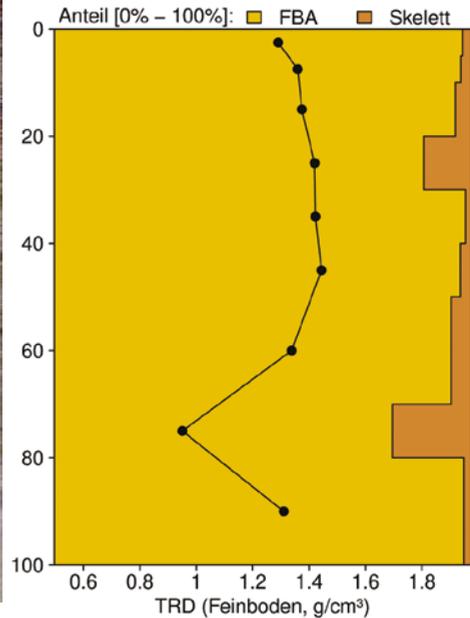
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-7.5 - -7	0	Vn	h7	Ld0	c0	0,9
Of	-7 - -4	0	Vn	h7	Ld0	c0	6,6
Oh	-4 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	10,4
Ahe	0 - 2	2	Su2	h3	Ld1	c0	3,1
rApBsh	2 - 8	4	Su2	h2	Ld2	c0	8,1
rApBvs	8 - 19	10	Su3	h1	Ld2	c0	16,8
Bvs	19 - 38	30	Su3	h0	Ld2	c0	22,6
IIBbs+iICv-Bv	38 - 72	5	mSfs	h0	Ld2	c0	32,3
IIBbs+iICv	72 - 100	2	mSfs	h0	Ld2	c0	27,4
IIBbs+iICv	100 - 200	2	mSfs	h0	Ld2	c0	98,0
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							110,4
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							128,3

KLDG

Steinicke 7.8.2012



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2012

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	12,7	1,5	2,5	1,4	0,03	42,1	1,8	2,6	4,40	3,86
Of	-	-	128,7	24,9	33,3	22,8	0,86	26,6	41,0	96,0	3,66	3,07
Oh	-	-	92,4	85,8	120,1	22,1	1,01	21,9	80,4	125,7	3,51	2,97
0 - 5	6,1	29,7	17,7	3,8	10,4	14,3	0,72	19,9	93,4	91,5	3,77	3,24
5 - 10	5,0	27,7	12,6	2,7	8,7	12,1	0,61	19,9	88,2	80,2	3,94	3,46
10 - 20	5,1	43,1	19,5	4,0	13,9	18,1	0,91	19,8	150,6	131,0	4,15	3,76
20 - 30	6,7	27,7	19,5	2,3	9,1	10,2	0,56	18,3	110,2	86,3	4,40	4,05
30 - 40	7,9	11,1	11,0	1,0	4,7	3,6	0,20	17,5	47,7	33,9	4,49	4,19
40 - 50	7,2	8,2	6,0	0,7	4,3	2,1	0,13	16,2	40,2	24,6	4,54	4,23
50 - 70	6,0	9,7	5,9	1,1	7,4	1,5	0,13	12,2	60,9	24,4	4,60	4,25
70 - 80	6,7	5,8	3,2	0,7	4,9	0,5	0,02	26,8	35,3	11,2	4,61	4,22
80 - 100	7,1	4,9	2,9	0,7	4,7	0,3	0,01	43,9	28,9	9,7	4,59	4,17
100 - 150	10,3	5,2	4,6	1,3	5,5	0,4	0,01	35,0	37,3	12,0	4,64	4,16
150 - 200	23,5	8,4	22,0	4,5	11,1	0,4	0,01	64,3	70,6	20,2	4,81	4,23
Σ L-100cm		168	332	129	224	109	5,19		779	717		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Douglasien-Reinbestand wurde auf einem sandigen Substrat mit geringem bis mittlerem Schluff-Anteil begründet. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte ist für einen Sandboden mit geringem Skelettanteil vergleichsweise groß, was auf die insgesamt sehr niedrigen Gehalte zurückzuführen ist, die meist im unteren Quartil der Gehalte aller Flächen liegen.

Da nur von einer Inventur Messwerte vorliegen, können keine Aussagen über eine Veränderung des Bodenzustands gemacht werden.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2012 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei einem mittleren bis mäßig engem C/N-Verhältnis bis in 80 cm Tiefe.

Die Calcium (Ca)- und Kalium (K)-Vorräte waren gering, der Magnesium (Mg)-Vorrat mäßig. Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2012 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1048 t/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Vorräte aller Flächen.

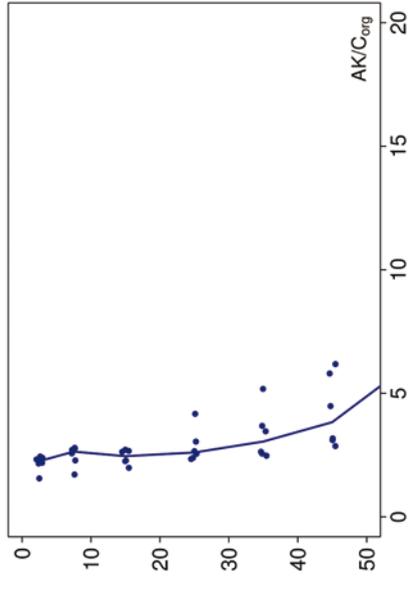
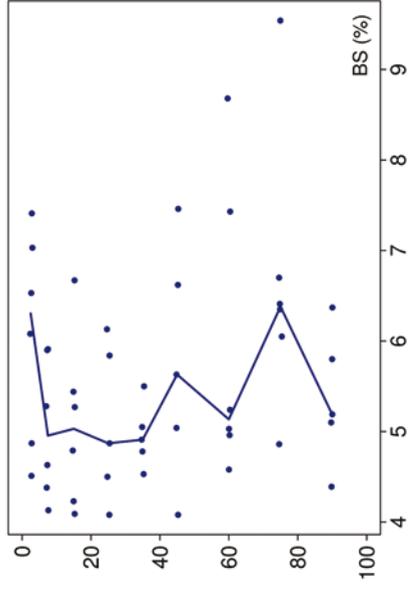
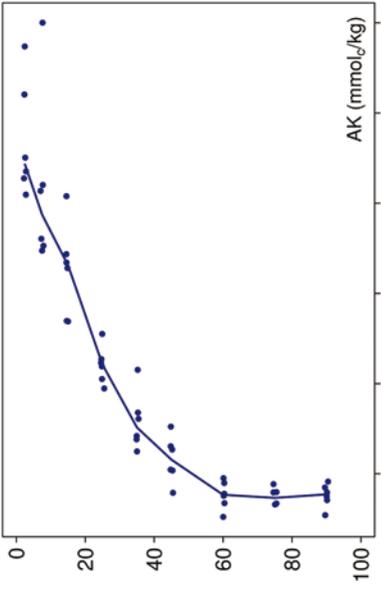
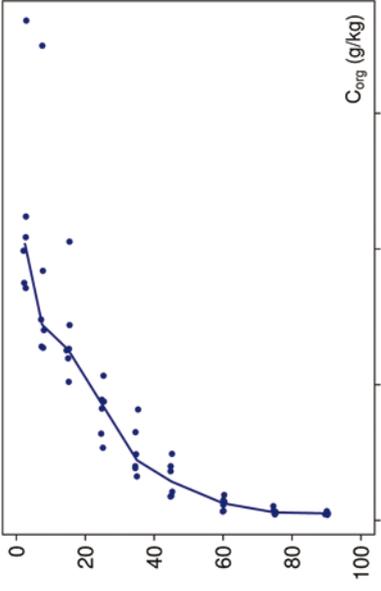
Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 717 kg/ha im unteren Quartil, bei mittleren Gehalten bis in 20 cm Tiefe und sehr geringen Gehalten in größerer Tiefe.

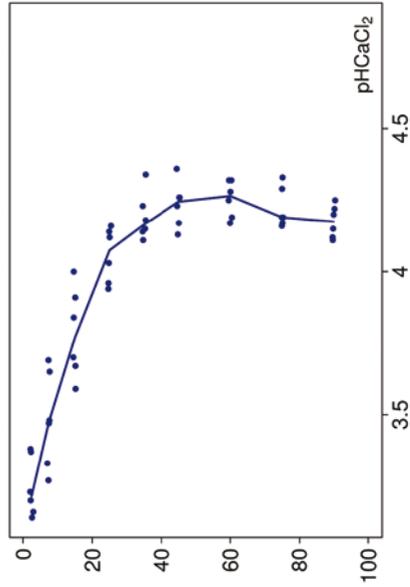
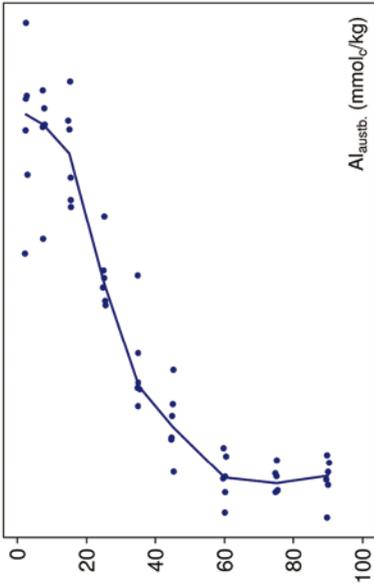
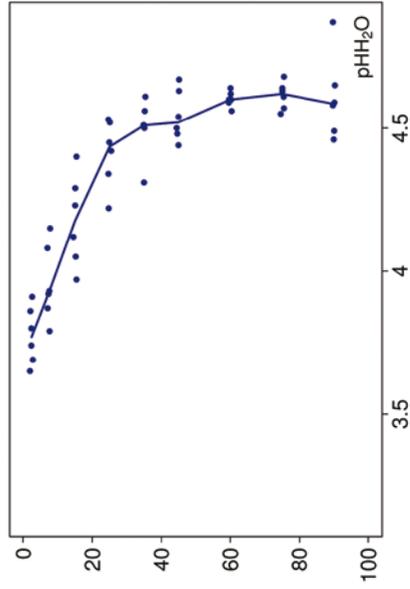
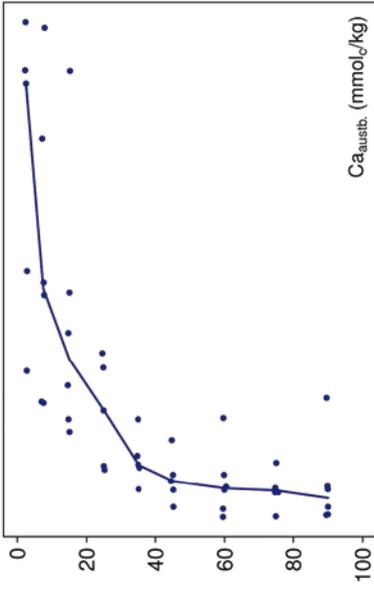
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis 5 cm dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis 10 cm dem Aluminium- und in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 10 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996).

Klötze Douglas

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

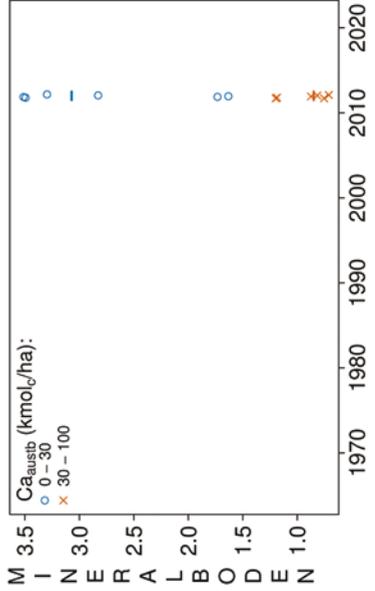
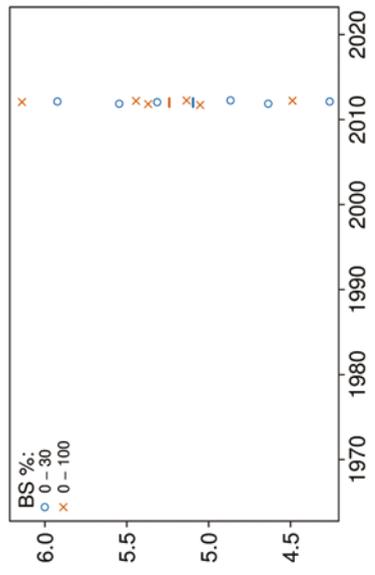
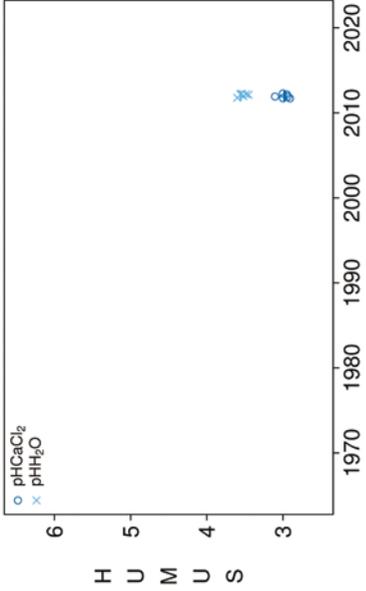
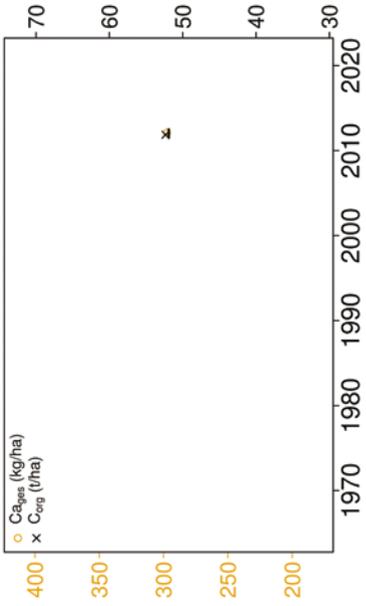




— 2012

Vorrats- und pH-Änderungen

Klötze Douglasie



Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2012)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	3,99	0,18	4,24	0,28	0,28	0,04	0,15	0,14	0,025	0,65	4,61	2,16	2,21	20,07	10,83
5	10	4,62	0,18	4,49	0,29	0,33	0,06	0,13	0,12	0,027	0,82	4,77	2,29	2,48	17,60	11,62
10	20	5,27	0,19	4,40	0,30	0,36	0,08	0,11	0,10	0,027	0,96	4,92	2,09	3,14	12,61	12,35
20	30	5,13	0,18	4,01	0,30	0,35	0,08	0,09	0,07	0,026	0,97	4,67	1,50	2,71	7,16	10,53
30	40	4,55	0,15	3,69	0,30	0,32	0,05	0,07	0,05	0,021	0,95	4,36	1,23	2,66	3,79	8,71
40	50	3,95	0,14	3,44	0,33	0,28	0,04	0,06	0,03	0,014	0,93	3,91	1,15	2,44	2,66	7,08
50	70	2,87	0,09	3,15	0,35	0,22	0,03	0,05	0,02	0,009	0,83	3,62	1,27	3,41	1,84	5,14
70	80	1,87	0,07	3,27	0,40	0,22	0,03	0,05	0,01	0,009	0,93	3,40	1,09	2,01	1,70	4,86
80	100	2,98	0,07	3,35	0,44	0,22	0,03	0,04	0,02	0,010	0,93	3,51	1,13	2,23	1,64	4,88
100	150	3,18	0,07	3,99	0,48	0,24	0,03	0,06	0,02	0,011	0,97	4,01	1,40	2,68	1,71	6,35
150	200	2,85	0,09	3,49	0,44	0,23	0,02	0,05	0,02	0,011	0,88	3,48	1,16	2,26	1,54	4,90

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2012)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	11	4	11	7	11	14	16	25	14	11	8	14	12	21	9
5	10	9	5	8	6	9	23	14	28	31	19	6	20	11	18	11
10	20	5	8	5	5	7	24	10	22	15	15	4	21	27	10	7
20	30	9	11	9	9	6	28	14	18	29	11	9	4	7	21	12
30	40	24	27	19	13	15	30	18	33	34	17	17	13	19	28	23
40	50	22	31	25	21	20	24	20	30	29	19	20	19	21	20	23
50	70	21	27	47	22	21	23	52	25	38	33	35	70	109	21	34
70	80	57	24	40	16	16	33	49	19	38	34	20	31	20	15	29
80	100	11	29	42	15	18	34	50	23	37	37	22	29	20	17	29
100	150	18	25	52	20	23	45	62	31	57	45	33	38	33	20	40
150	200	13	40	54	11	20	10	73	42	50	41	29	35	29	13	36

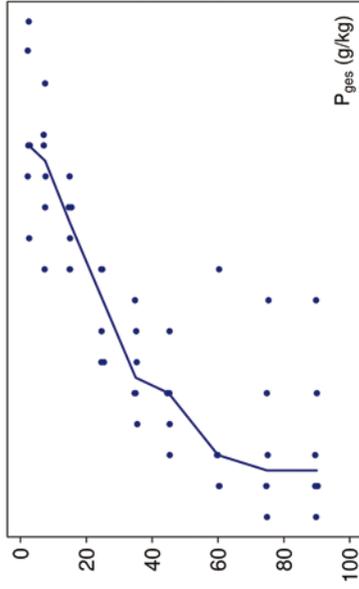
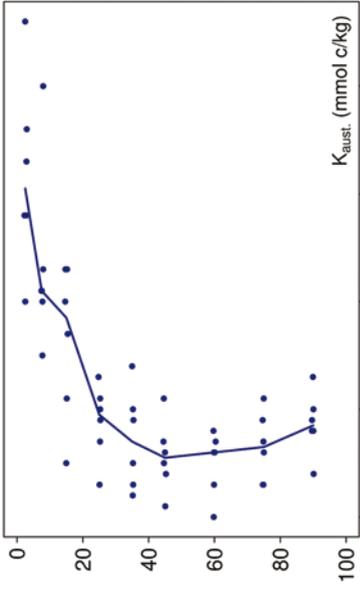
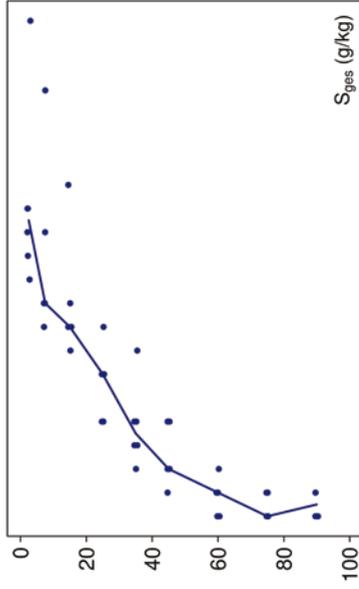
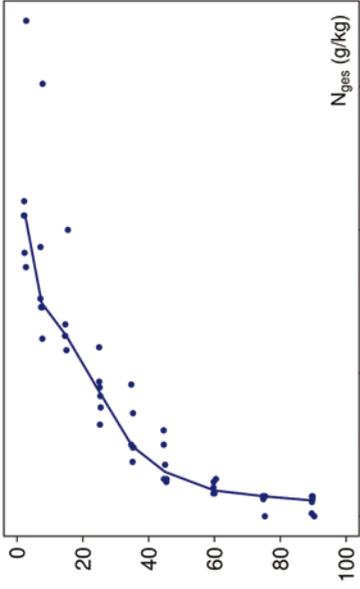
0-20 %

20-50 %

>50 %

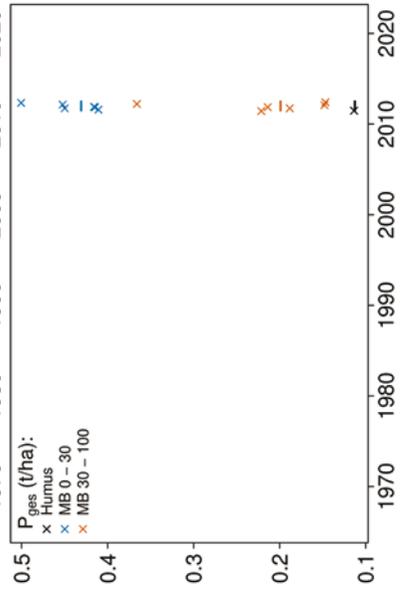
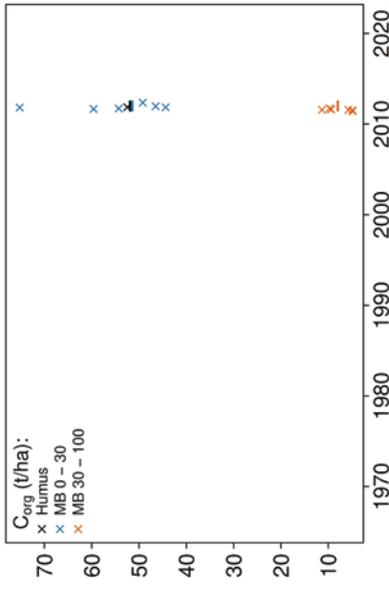
Klötze Douglasie

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

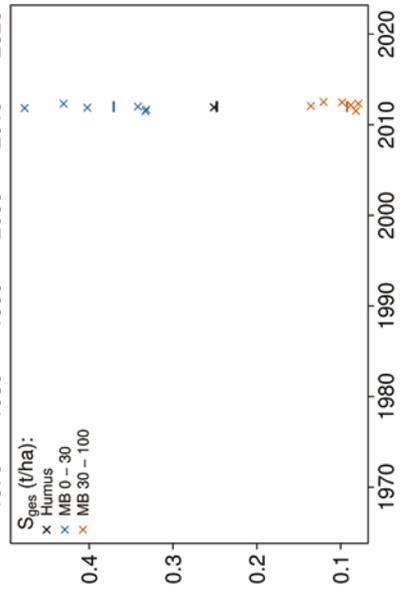
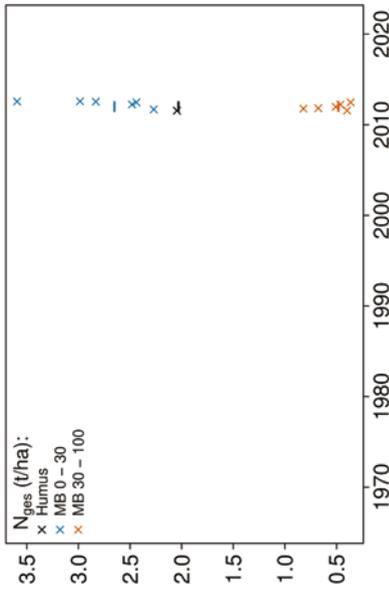


— 2012

Vorratsänderungen (t/ha)



Klötze Douglasie



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine mittlere und für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

In 0-5 cm Tiefe liegen die Pb-Gehalte zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. In der Humusaufgabe überschreiten die Cd-, Cu-, Pb- und Zn-Gehalte geringfügig die Hintergrundwerte von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie nicht überschritten.

Kritische Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, werden nicht verletzt.

In 0-20 cm Tiefe sind die Pb-Gehalte, die über dem Median der Gehalte aller Versuchsflächen liegen, und die Cu- und Zn-Gehalte mit Werten zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median deutlich erhöht. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie auf sehr niedrige Werte ab. Die Cd-, Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, und Nickel (Ni)-Gehalte sind im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe sehr niedrig und zeigen keine Tiefendynamik.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte aller Schwermetalle vergleichsweise niedrig.

Über eine Veränderung der Schwermetall-Gehalte kann keine Aussage gemacht werden, da es nur von einer Inventur Messwerte gibt.

Da die Humusaufgabe nur wenig belastet ist, die Gehalte von Pb, Cu und Zn jedoch bis in 20 cm Tiefe erhöht sind, muss es zu einer Verlagerung dieser Elemente aus der Humusaufgabe in den Mineralboden gekommen sein.

Bewertung Schwermetalle (2012)

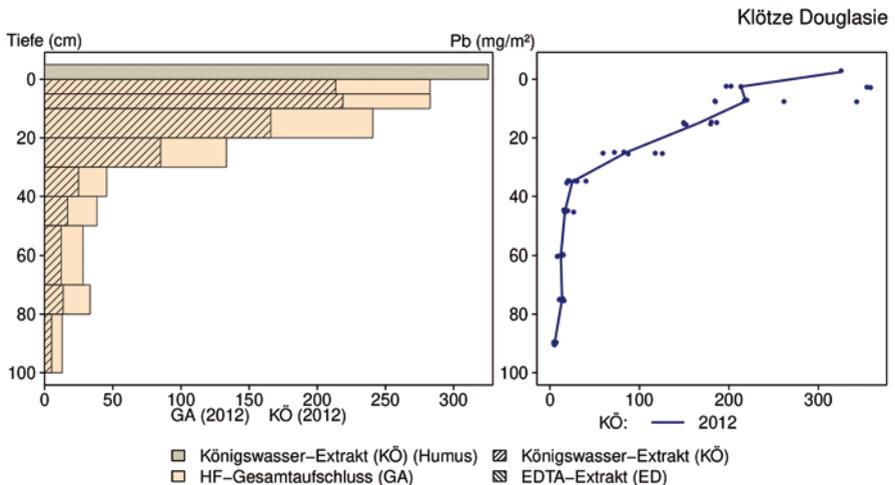
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,03	0,65	4,61	2,16	2,21	20,07	10,83
5	10	0,03	0,82	4,77	2,29	2,48	17,60	11,62
10	20	0,03	0,96	4,92	2,09	3,14	12,61	12,35
20	30	0,03	0,97	4,67	1,50	2,71	7,16	10,53
30	40	0,02	0,95	4,36	1,23	2,66	3,79	8,71
40	50	0,01	0,93	3,91	1,15	2,44	2,66	7,08
50	70	0,01	0,83	3,62	1,27	1,75	1,84	5,14
70	80	0,01	0,93	3,40	1,09	2,01	1,70	4,86
80	100	0,01	0,93	3,51	1,13	2,23	1,64	4,88
100	150	0,01	0,97	4,01	1,40	2,68	1,71	6,35
150	200	0,01	0,88	3,48	1,16	2,26	1,54	4,90
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

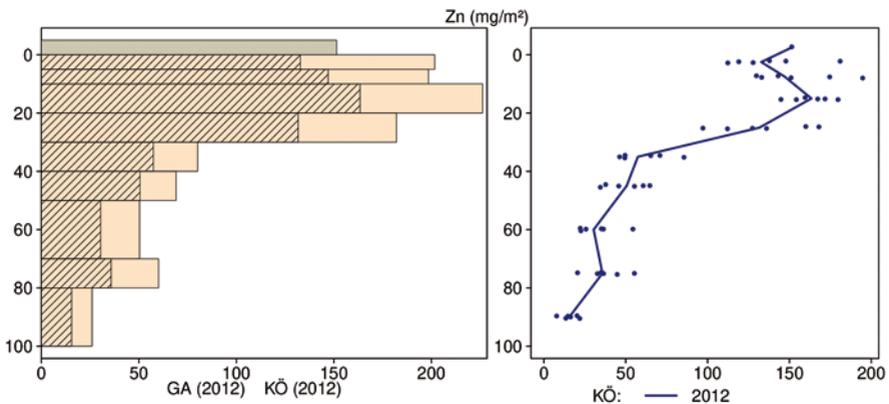
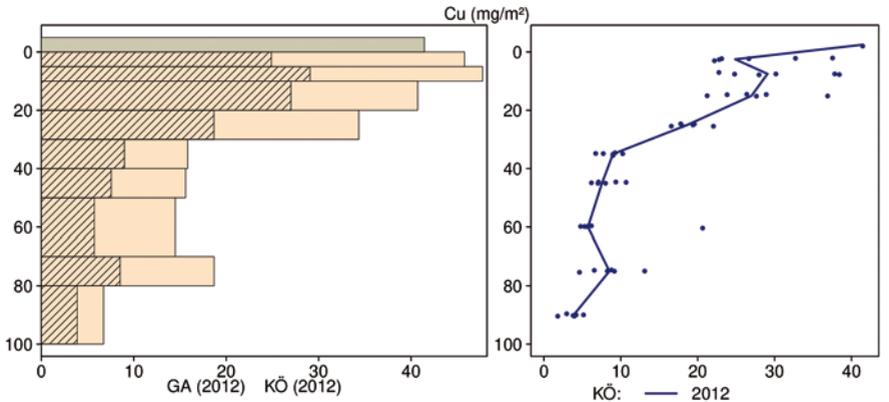
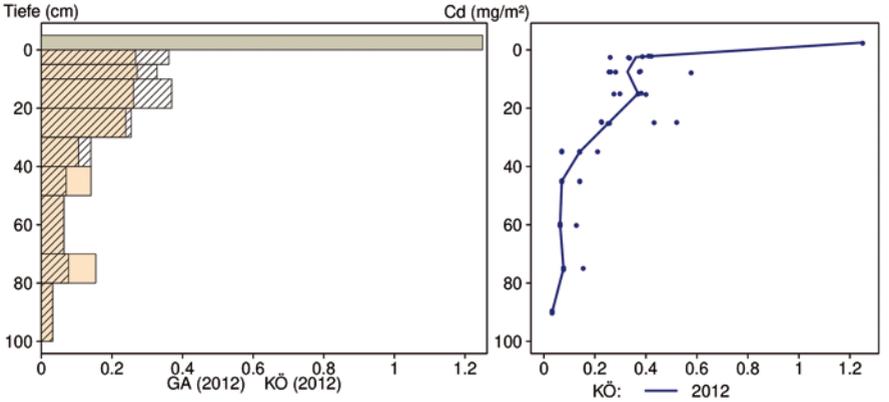
KLDG

Schwermetallvorräte



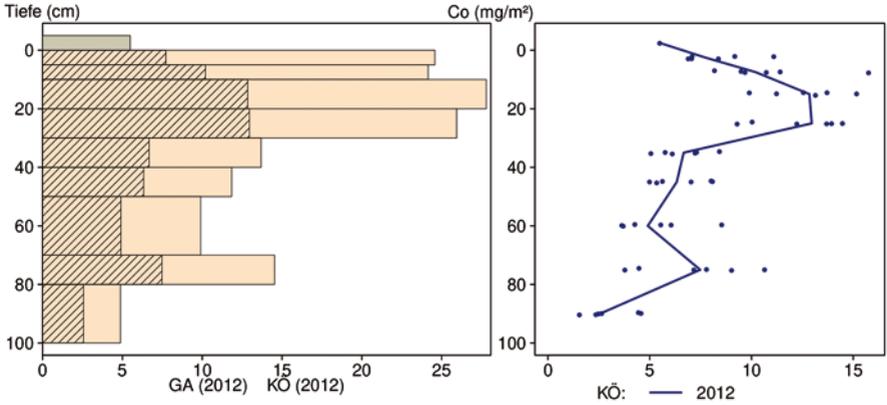
Klötze Douglasie

KLDG

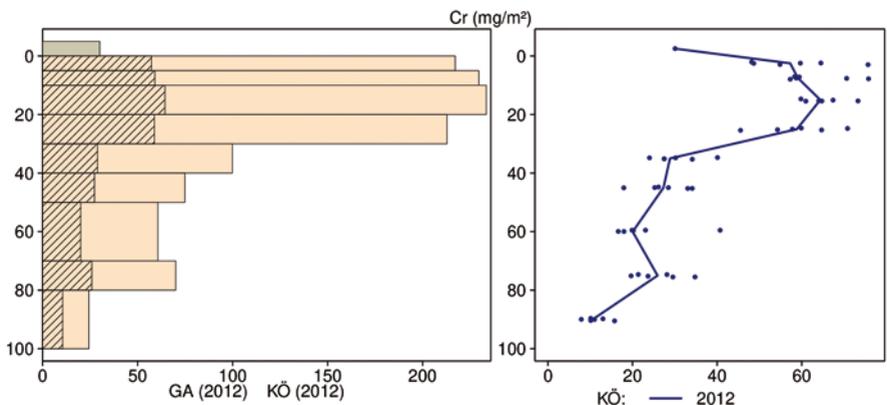
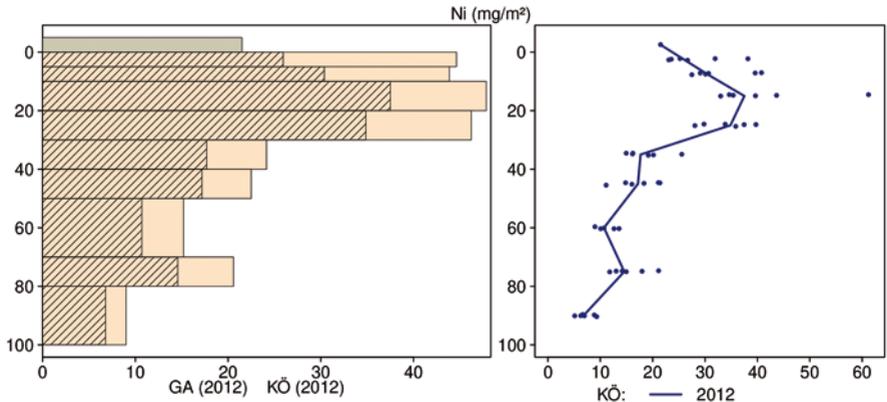


- Königwasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königwasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)

Klötze Douglasie



KLDG



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▩ EDTA-Extrakt (ED)

12.12 Klötze Kiefer (KLKI)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Altmark 4514b3		Sachsen-Anhalt		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Ostnieders.-altmärkisches Altmoränenland		647100		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N	95/0/-	
Klötzer Hochfläche		5827900		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
mäßig subkontinental	575	607	277	294
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,4	9,5	15,1	16,2
Monitoringprogramme				
Level II Core plot 1502, BDF 05 Sachsen-Anhalt				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 2009, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
-				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviatile Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		<5 %, sehr skelettarm	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
feinhumusreicher Moder (MOR)	Braunerde, podsolig		Albic Podzol (Endolamellic, Pantoarenic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
ZaS77, TM2	betont frisch, schwach mesotroph		152	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Kiefer	Fichte, Eiche		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
103	6,7/1,5		mäßige Hochdurchforstung	
sonstiges: Erfassung der Luftqualität an der Station Zartau (LUESA)				

KLKI

Profilbeschreibungen (nach KA5)

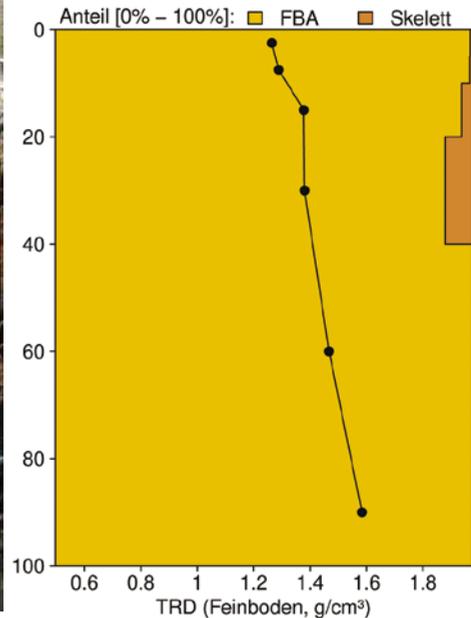
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/Horizont
L	-9.1 - -7.8	0	Vn	h7	Ld0	c0	2,3
Of	-7.8 - -4.1	0	Vn	h7	Ld0	c0	8,1
Oh	-4.1 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	10,7
Ahe	0 - 2	0	Su3	h4	Ld1	c0	4,4
Bhv	2 - 8	0	Su3	h3	Ld1	c0	12,0
Bhv	8 - 22	0	Su3	h3	Ld2	c0	28,0
Bv	22 - 49	0	Su3	h1	Ld2	c0	45,9
Bv	49 - 61	10	Su3	h0	Ld2	c0	18,4
IIBbt+Bv	61 - 71	1	fSms	h0	Ld3	c0	13,9
IIBv-Cv+Bbt	71 - 153	0	mSfs	h0	Ld2	c0	82,0
IIICv	153 - 200	1	fSms	h0	Ld2	c0	60,5
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							151,5
Σ bis 100 cm incl. Humusaufgabe							172,7

KLKI

Beisecker 13.5.2009



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2019

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	61,0	7,9	15,4	6,8	0,19	35,4	8,3	16,3	4,60	3,96
Of	-	-	103	15,2	31,0	19,2	0,69	28,0	26,2	78,2	3,76	3,06
Oh	-	-	51,6	17,7	36,1	11,4	0,43	26,8	21,8	60,3	3,52	2,88
0 - 5	11,7	28,2	32,0	7,8	17,3	13,1	0,54	24,7	53,1	77,0	3,87	3,17
5 - 10	8,9	23,2	13,5	5,8	11,9	8,1	0,34	25,2	47,7	56,1	4,10	3,50
10 - 20	8,4	19,7	9,3	4,3	12,0	6,6	0,27	24,8	50,9	48,8	4,50	3,99
20 - 30	7,7	16,4	6,6	4,3	8,8	4,5	0,18	25,6	49,7	46,7	4,61	4,20
30 - 40	8,1	21,0	7,4	4,0	13,8	4,9	0,21	23,4	70,8	61,7	4,63	4,23
40 - 50	10,0	16,0	6,9	2,7	12,8	2,9	0,13	22,0	61,6	41,4	4,66	4,23
50 - 70	14,7	18,6	19,2	10,0	16,7	2,2	0,11	19,9	76,8	44,0	4,66	4,21
70 - 80	13,1	11,8	6,4	2,8	12,4	1,2	0,21	12,0	55,6	23,9	4,66	4,17
80 - 100	14,4	25,1	14,3	7,1	26,2	1,7	0,28	11,5	128	45,1	4,54	4,14
100 - 150	20,2	7,8	6,5	1,5	11,7	0,4	0,09	6,6	63,5	16,6	4,85	4,25
150 - 200	28,1	19,0	30,2	10,8	27,4	1,1	0,20	9,9	128	41,2	4,88	4,23
Σ L-100cm		180	331	89,6	214	82,7	3,59		651	600		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

KLKI

Allgemeines

Der Kiefern-Reinbestand stockt auf einem schwach schluffigen, sehr skelettarmen und tiefgründigen, armen Sandboden. Der Boden ist sehr homogen, was das AK/Corg-Verhältnis zeigt, das bei beiden Inventuren eng zusammen liegt. Die Streuung der im Königswasser-aufschluss gemessenen Elementgehalte ist mit Variationskoeffizienten von bis zu 40 % vergleichsweise groß, was auf die insgesamt sehr niedrigen Gehalte zurückzuführen ist.

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Vorräte waren 2019 gering (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei einem weiten bis mäßig weiten C/N-Verhältnis bis in 60 cm Tiefe und engen bis sehr engen Verhältnis in größerer Tiefe. Deutliche Veränderungen zwischen den Inventuren in den Jahren 2009 und 2019 sind nur in der Humusaufgabe zu beobachten. Hier erfolgte fast eine Verdoppelung der gemessenen Vorräte.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte waren 2019 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe gering. In der Humusaufgabe stiegen sie in gleichem Maße wie der Humusvorrat stark an. Im Mineralboden nahmen die Ca-Vorräte in 0-30 cm leicht ab. Die Mg- und K-Vorräte veränderten sich nur wenig.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2019 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 651 t/ha im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 2009 und 2019 sind die P-Vorräte im gesamten Profil leicht angestiegen.

Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 600 kg/ha ebenfalls im unteren Quartil, mit mittleren Anteilen in 0-5 cm Tiefe und geringen bis sehr geringen Anteilen bis in 2 m Tiefe. Durch die starken Zunahmen im Auflagehumus und im Oberboden hat sich der S-Vorrat auf Profilebene bis in 1 m Tiefe um 13 % erhöht. Dies steht im Widerspruch zu der auf dieser Fläche erhobenen Gesamtdeposition von Schwefel, die in diesem Zeitraum abgenommen hat.

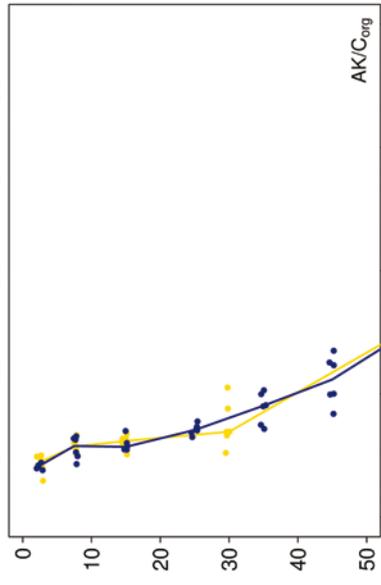
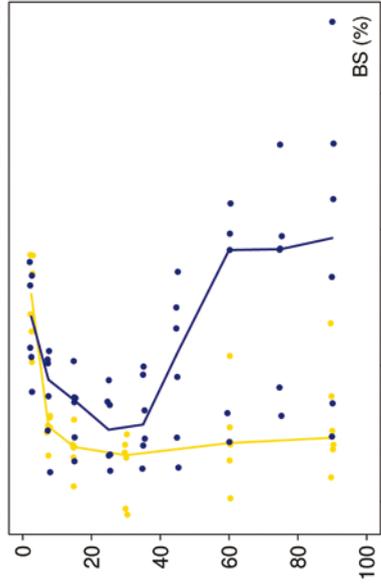
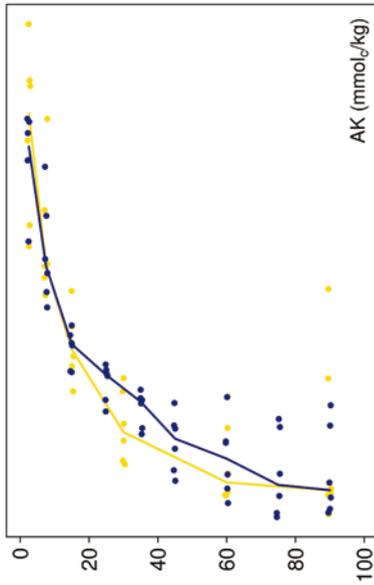
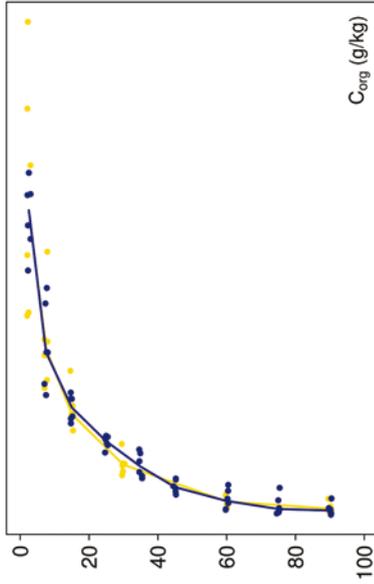
Säure-Base-Status und -Dynamik

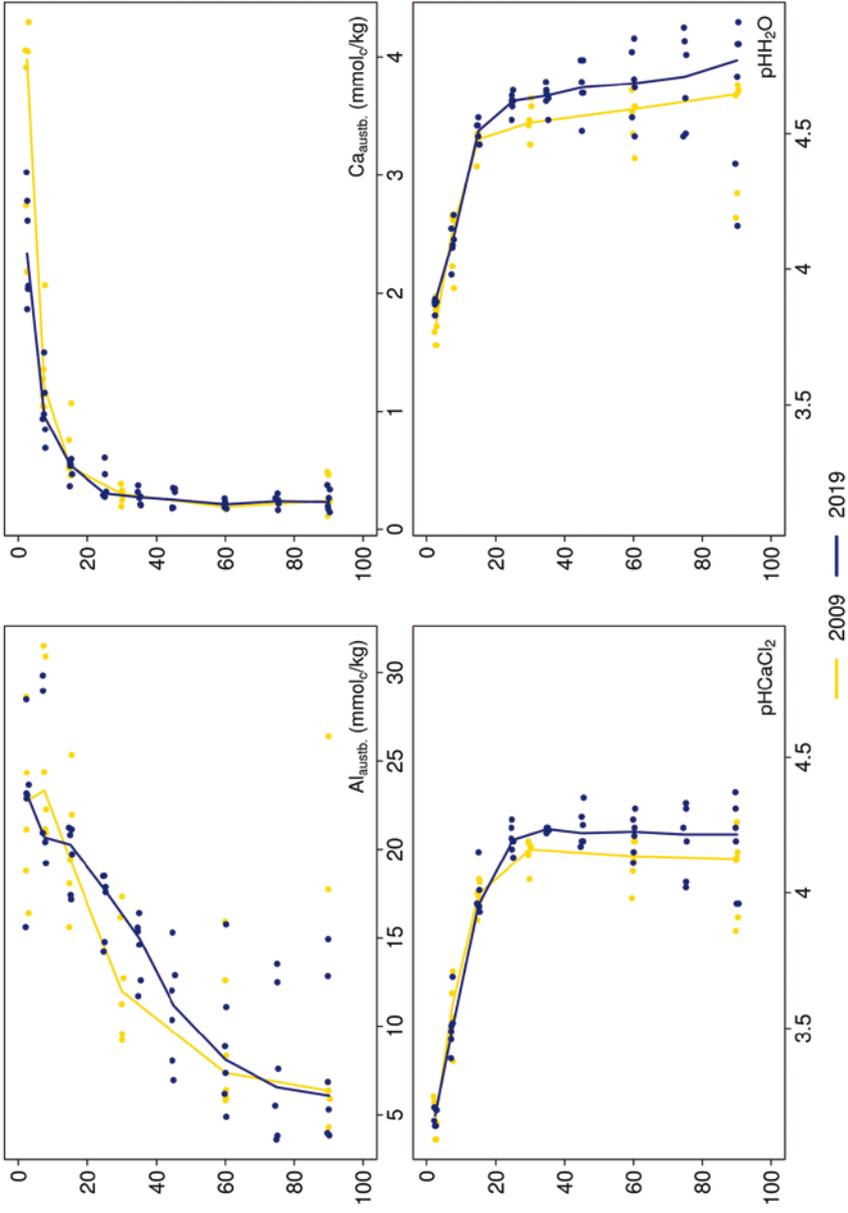
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 15 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996).

Aus den Wiederholungsinventuren ergeben sich wegen der hohen Variabilität der Messwerte keine Anzeichen hinsichtlich einer Veränderung.

Klötze Kiefer

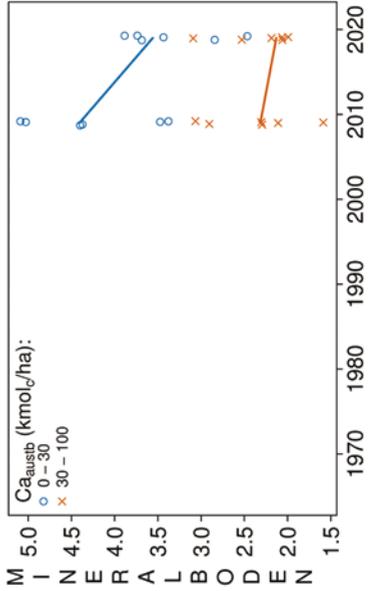
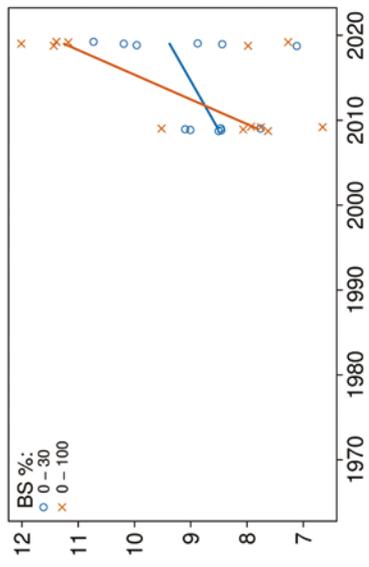
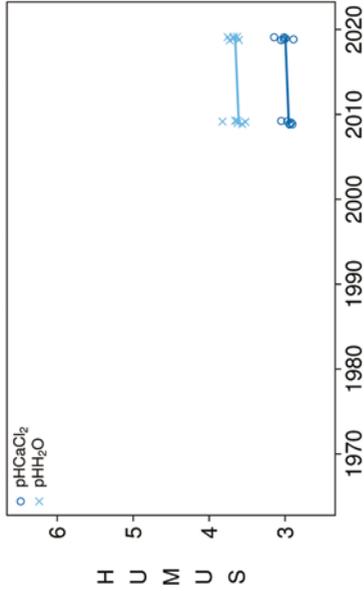
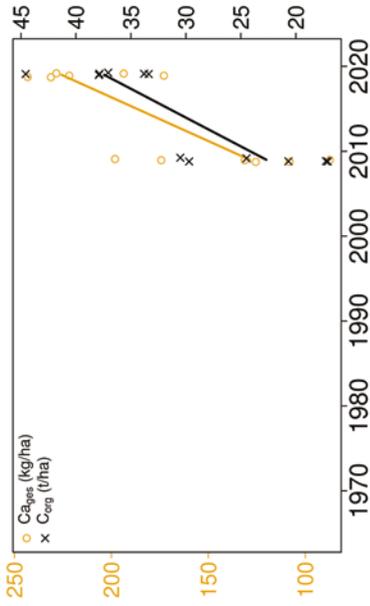
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)





Vorrats- und pH-Änderungen

Klötze Kiefer



Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2019)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	3,44	0,17	3,42	0,24	0,25	0,03	0,08	0,12	0,024	0,51	3,85	1,69	1,61	17,63	8,16
5	10	4,27	0,17	4,10	0,24	0,31	0,04	0,07	0,08	0,016	0,60	4,30	1,48	1,91	17,46	8,51
10	20	5,14	0,17	3,96	0,25	0,35	0,05	0,06	0,06	0,018	0,82	4,39	1,22	2,27	10,47	9,08
20	30	6,28	0,19	4,25	0,29	0,43	0,05	0,06	0,05	0,017	1,05	5,22	1,04	2,97	5,08	10,37
30	40	6,13	0,18	4,24	0,32	0,47	0,05	0,05	0,05	0,018	1,22	5,27	1,03	3,05	3,53	10,24
40	50	4,78	0,15	3,70	0,33	0,41	0,03	0,05	0,03	0,014	1,14	4,50	0,87	2,50	2,57	7,76
50	70	4,02	0,13	3,25	0,33	0,36	0,03	0,04	0,02	0,011	0,94	4,01	0,81	2,10	2,19	6,08
70	80	3,46	0,10	3,09	0,37	0,32	0,03	0,04	0,02	0,010	0,90	3,81	0,82	1,82	1,87	4,94
80	100	3,26	0,09	3,19	0,39	0,29	0,02	0,05	0,02	0,010	0,94	3,70	0,95	1,76	1,79	4,81
100	150	2,59	0,10	2,64	0,30	0,21	0,02	0,04	0,01	0,010	0,83	3,00	0,90	1,54	1,48	4,24
150	200	2,44	0,09	2,41	0,28	0,19	0,02	0,04	0,01	0,009	0,75	2,72	0,82	1,44	1,27	4,42

bis 25%-Quantil

25%-Quantil - Med.

Med. - 75 %-Quantil

75 %-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2019)

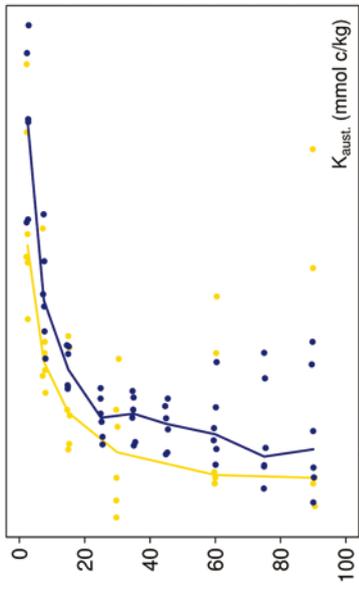
von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	8	10	2	4	4	6	8	12	24	5	3	11	6	12	8
5	10	15	11	13	12	12	12	18	20	17	13	13	18	14	22	12
10	20	15	18	11	10	10	22	10	11	18	19	11	10	14	22	16
20	30	13	12	8	8	9	30	11	11	19	12	10	15	14	13	18
30	40	16	14	10	15	11	46	15	23	14	25	10	18	15	17	19
40	50	20	23	18	29	22	17	14	28	29	32	16	10	23	17	20
50	70	27	32	21	20	37	28	12	38	36	24	25	22	33	29	28
70	80	32	42	28	27	49	34	15	41	31	34	31	34	40	33	34
80	100	35	21	39	32	49	37	32	43	35	41	34	42	40	29	42
100	150	26	48	27	17	38	29	24	39	26	36	20	33	34	25	30
150	200	17	23	27	16	27	28	22	43	18	29	15	31	25	13	34

0-20%

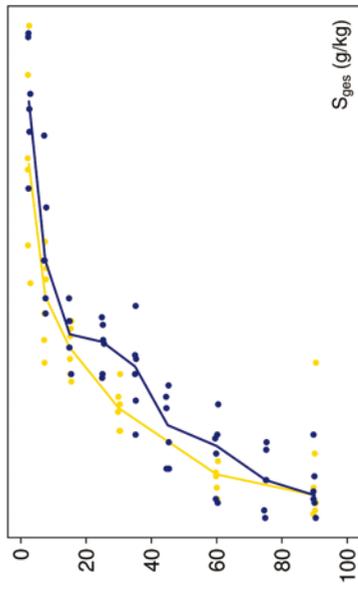
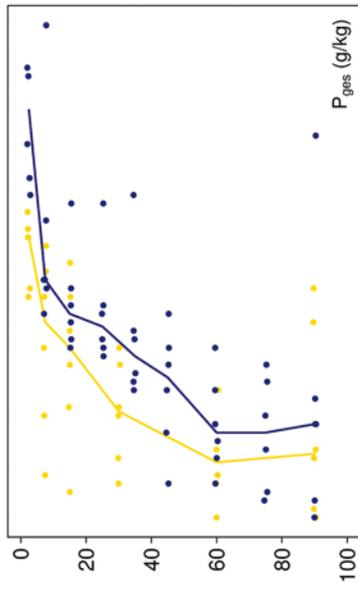
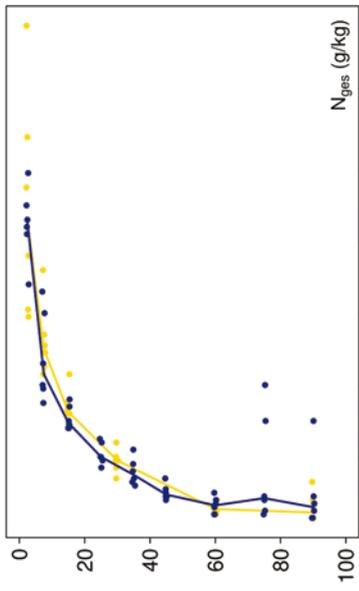
20-50%

>50%

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

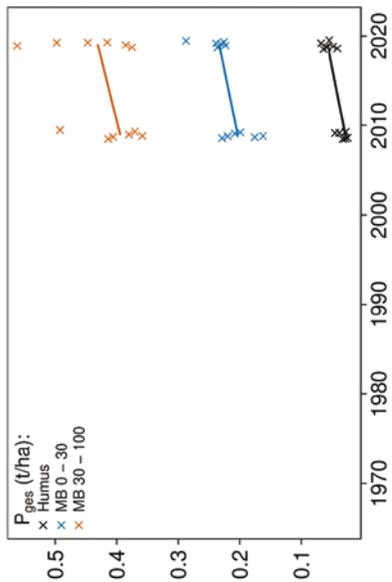
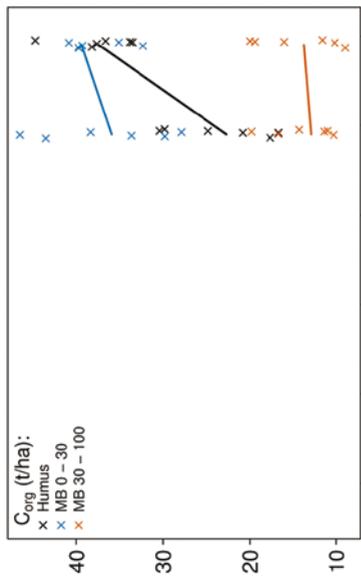


Klötze Kiefer

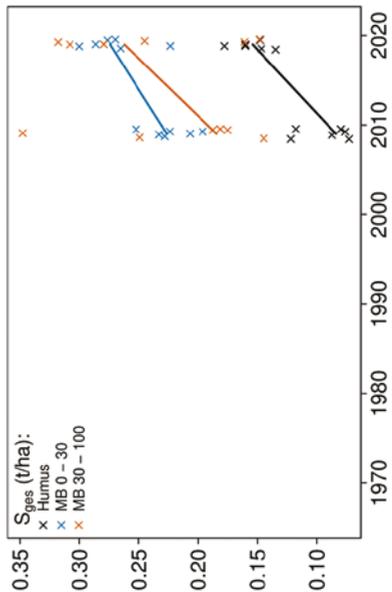
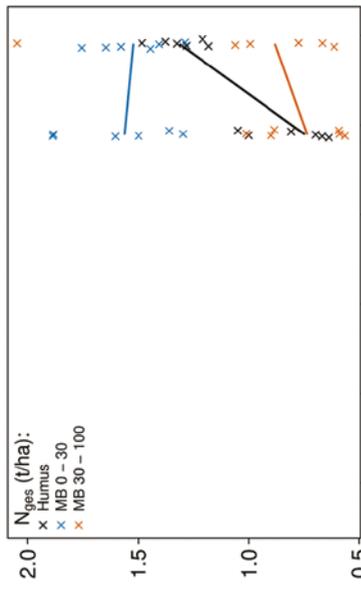


— 2009 — 2019

Vorratsänderungen (t/ha)



Klütze Kiefer



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine mittlere und für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Kritische Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, und Vorsorgewerte der BBodSchV werden nicht überschritten.

Die Gehalte der Humusauflage liegen für Cd, Cu und Pb über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden diese nicht überschritten.

In 0-20 cm Tiefe sind die Pb-Gehalte, die über dem Median der Gehalte aller Versuchsflächen liegen, und die Cu-Gehalte mit Werten zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median deutlich erhöht. Mit zunehmender Tiefe nehmen sie jedoch auf sehr niedrige Werte ab. Die Cd-, Kobalt (Co)-, Chrom (Cr)-, Nickel (Ni)- und Zn-Gehalte sind bis in 1 m Tiefe, mit Ausnahme der Tiefenstufe 20-40 cm, sehr niedrig. In dieser Tiefenstufe liegt eine deutlich schwermetallreichere Schicht vor.

In der Humusauflage liegen die Cd- und Pb-Gehalte zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil, während sie für Co, Cu, Cr, Ni und Zn gering sind (< Median).

Zwischen 2009 und 2019 zeigen die Cu- und Pb-Vorräte in der Humusauflage eine leichte Tendenz zu abnehmenden Werten. Alle anderen Schwermetall-Vorräte haben sich kaum verändert. Im Mineralboden kann nur für Pb ein Trend zu steigenden Vorräten in 0-10 cm Tiefe festgestellt werden.

Die Humusauflage ist durch anthropogen eingetragenes Cd und Pb mäßig kontaminiert. Bis in 20 cm Tiefe sind die Gehalte von Pb und Cu ebenfalls erhöht, was auf eine Verlagerung dieser Elemente aus der Humusauflage in den Mineralboden hindeutet. Dies unterstreichen auch die Vorratsveränderungen von Pb im Humus und im Mineralboden. Ein Vergleich mit der sich in der Nähe befindenden Fläche Klötze Douglasie (KLDG) zeigt eine höhere Belastung der Humusauflage mit Cd und Pb und des Oberbodens mit Pb.

Bewertung Schwermetalle (2019)

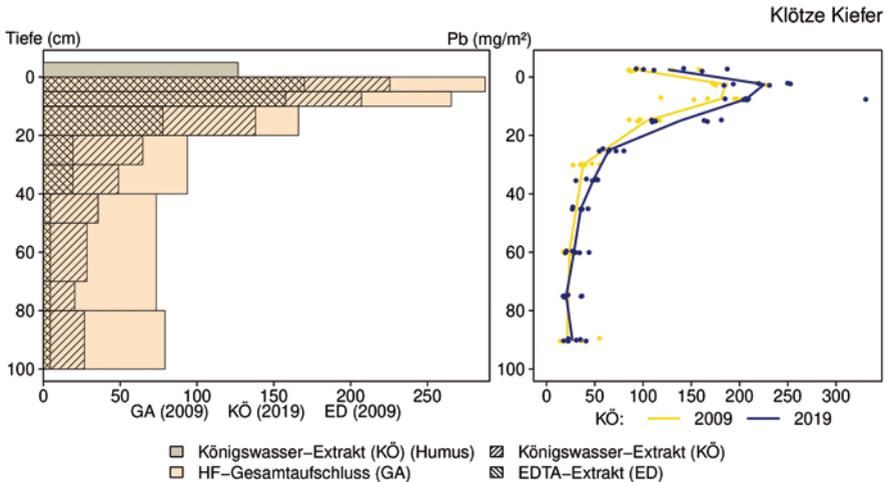
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,02	0,51	3,85	1,69	1,61	17,63	8,16
5	10	0,02	0,60	4,30	1,48	1,91	17,46	8,51
10	20	0,02	0,82	4,39	1,22	2,27	10,47	9,08
20	30	0,02	1,05	5,22	1,04	2,97	5,08	10,37
30	40	0,02	1,22	5,27	1,03	3,05	3,53	10,24
40	50	0,01	1,14	4,50	0,87	2,50	2,57	7,76
50	70	0,01	0,94	4,01	0,81	2,10	2,19	6,08
70	80	0,01	0,90	3,81	0,82	1,82	1,87	4,94
80	100	0,01	0,94	3,70	0,95	1,76	1,79	4,81
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

> Vorsorgewert

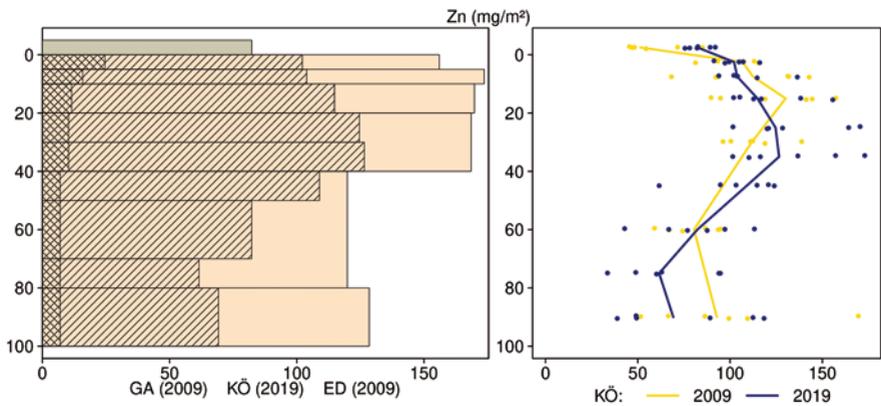
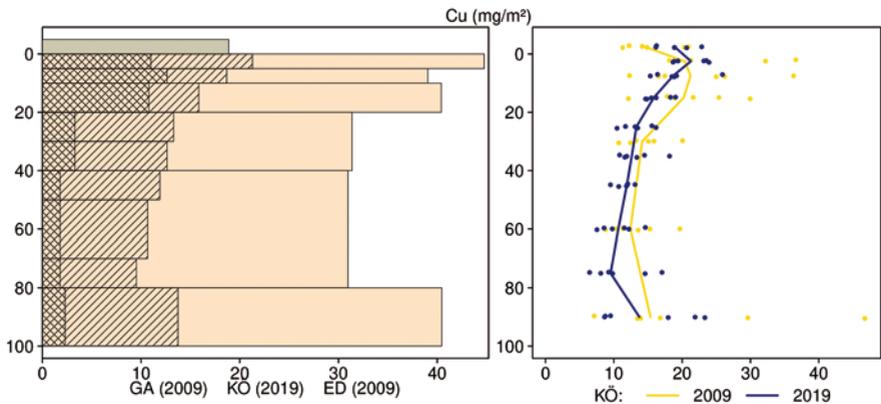
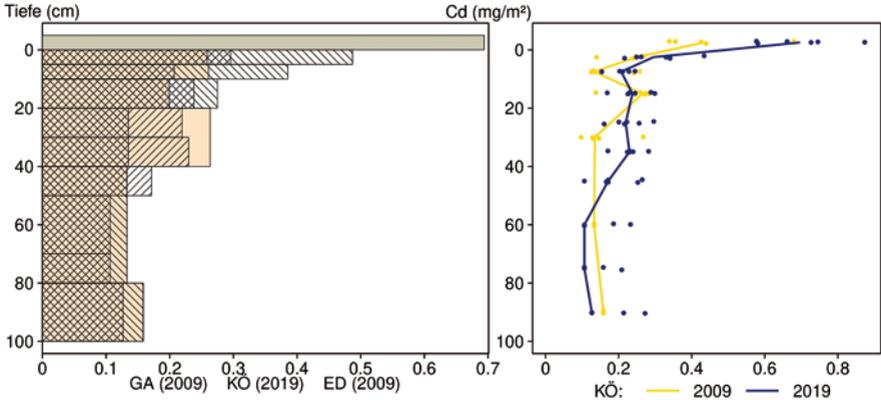
> 1/2 Vorsorgewert

KLKI

Schwermetallvorräte

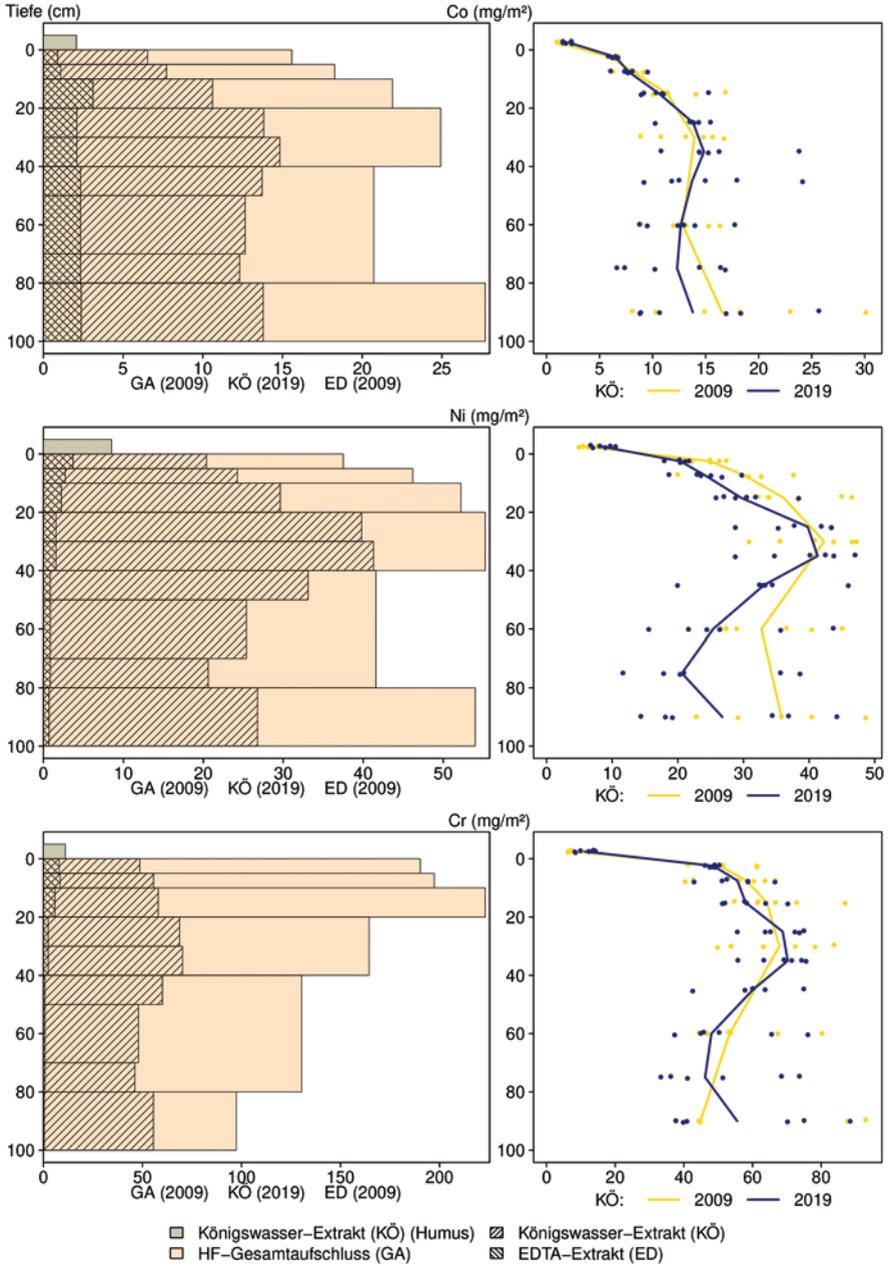


Klötze Kiefer



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus) ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA) ▨ EDTA-Extrakt (ED)

Klötze Kiefer



KLKI

12.13 Königstein Fichte (KSTFI)

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Königstein 71A1		Hessen		
Wuchsgebiet	UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition		
Taunus	459300			
Wuchsbezirk	UTM N	520/4/NNW		
Hoch-Taunus	5560900			
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
mäßig subatlantisch	887	841	382	372
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
schwach subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	7,3	8,5	13,9	15
Monitoringprogramme				
WÖSSH				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen 1986, 1999 (WÖSSH), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 2014, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
-				
weitere Untersuchungen				
Bodenlösung, Deposition, Bodenvegetation, Kronenzustand, Baumwachstum, Nadel-/Blattanalyse				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
saure Magmatite und Metamorphite (Tonschiefer)	Böden aus basenarmem Festgestein		20-50 %, skelettreich	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
typischer feinhumusreicher Moder (MOR)	Braunerde, Pseudogley-Braunerde		Protostagnic Endoleptic Dystric Cambisol (Loamic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
4.4.13.23	ziemlich frisch, schwach mesotroph		97	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5	1 t/ha CaCO ₃ , Kalkungspazelle + Umfassungstreifen/ 1982			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m ³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
113	12,6/1		starke Niederdurchforstung	
sonstiges: 2021 wurde der Bestand nach Käferbefall komplett geräumt				

KSTFI

Profilbeschreibungen (nach KA5)

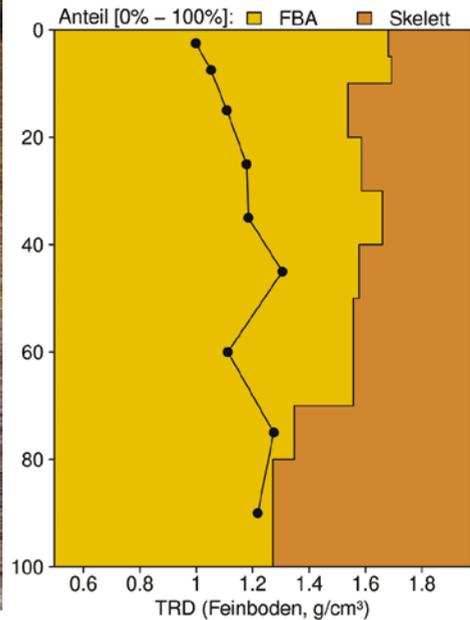
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/Horizont
L	-8 - -6.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	2,7
Of	-6.5 - -2	0	Vn	h7	Ld0	c0	9,9
Oh	-2 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	5,2
Ah	0 - 3	20	Ls2	h4	Ld2	c0	5,5
Bv	3 - 40	23	Lt2	h3	Ld3	c0	45,6
IIS-Bv	40 - 70	28	Ls3	h1	Ld4	c0	28,1
IIImCv	70 - 100	46	Lt2	h0	Ld4	c0	17,8
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							97,0
Σ bis 100 cm incl. Humusaufgabe							114,8

Schwender 29.9.2014

KSTFI



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2014

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	49,0	8,3	16,0	6,5	0,23	28,0	12,6	19,4	4,45	3,86
Of	-	-	77,8	17,3	27,8	17,4	0,70	24,8	31,8	72,1	3,76	3,10
Oh	-	-	10,6	12,2	24,0	4,6	0,20	22,9	12,8	21,8	3,61	3,00
0 - 5	5,3	43,4	14,3	6,4	14,8	17,7	0,85	20,9	115	96,9	3,99	3,47
5 - 10	5,0	31,5	8,9	3,5	12,8	10,4	0,58	18,1	111	73,7	4,33	3,87
10 - 20	5,9	43,9	19,5	4,4	21,5	12,4	0,84	14,9	210	143	4,49	4,10
20 - 30	6,1	42,3	17,2	4,0	26,7	9,8	0,80	12,4	227	184	4,50	4,14
30 - 40	6,1	43,5	15,5	4,1	31,3	8,1	0,76	10,6	246	200	4,49	4,13
40 - 50	6,4	41,4	13,9	4,2	31,3	6,7	0,69	9,7	231	182	4,47	4,10
50 - 70	6,7	62,7	20,3	7,1	48,7	6,0	0,86	7,0	308	211	4,43	4,04
70 - 80	6,4	34,3	9,5	4,1	25,5	1,9	0,40	4,8	132	74,7	4,37	3,95
80 - 100	8,9	52,9	20,4	7,9	41,5	2,3	0,72	3,3	261	99,4	4,40	3,94
Σ L-100cm		396	277	83,2	322	104	7,63		1899	1378		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Fichten-Reinbestand stockt auf einem skelettreichen, mittelgründigen, sandigen bis schwach tonigen Lehmboden. Der Boden ist vergleichsweise inhomogen, was die hohen Variationskoeffizienten (bis zu 50 %) der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte zeigen.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2014 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), mit mäßig weitem bis sehr engem C/N-Verhältnis ab 40 cm Tiefe.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte waren im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe gering.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2014 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1899 t/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Vorräte aller Flächen.

Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 1378 kg/ha im oberen Quartil mit hohen Anteilen in 10-70 cm Tiefe.

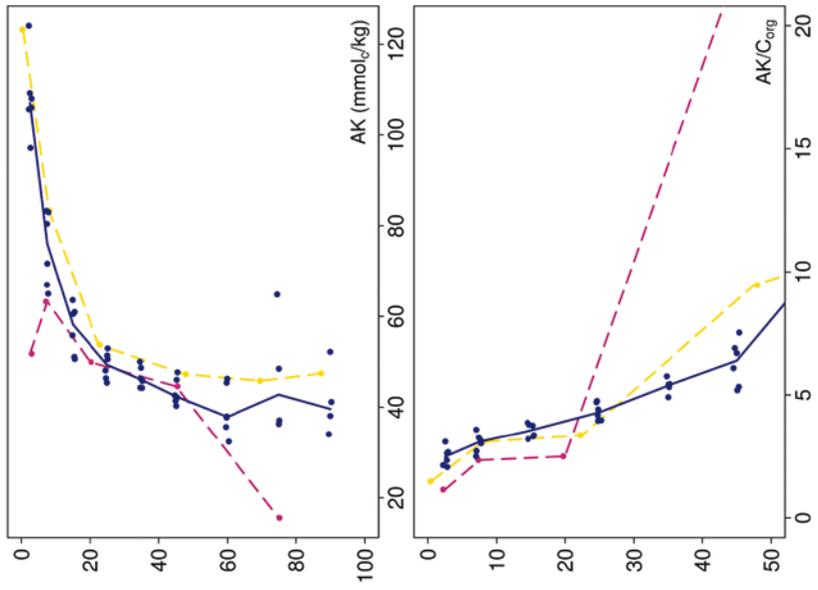
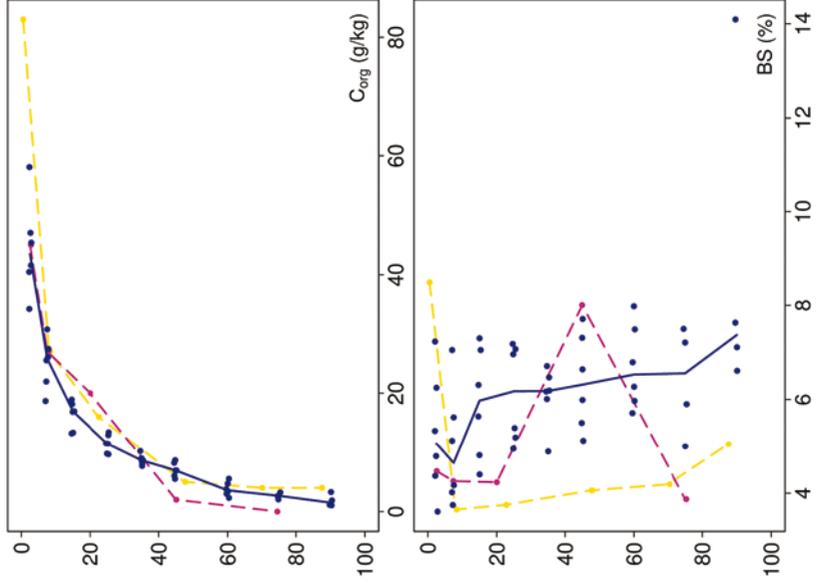
Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs der ersten beiden Inventuren, wird auf die Veränderungen der Bodenvorräte an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Entsprechendes gilt auch für die bodenchemischen Indikatorvariablen.

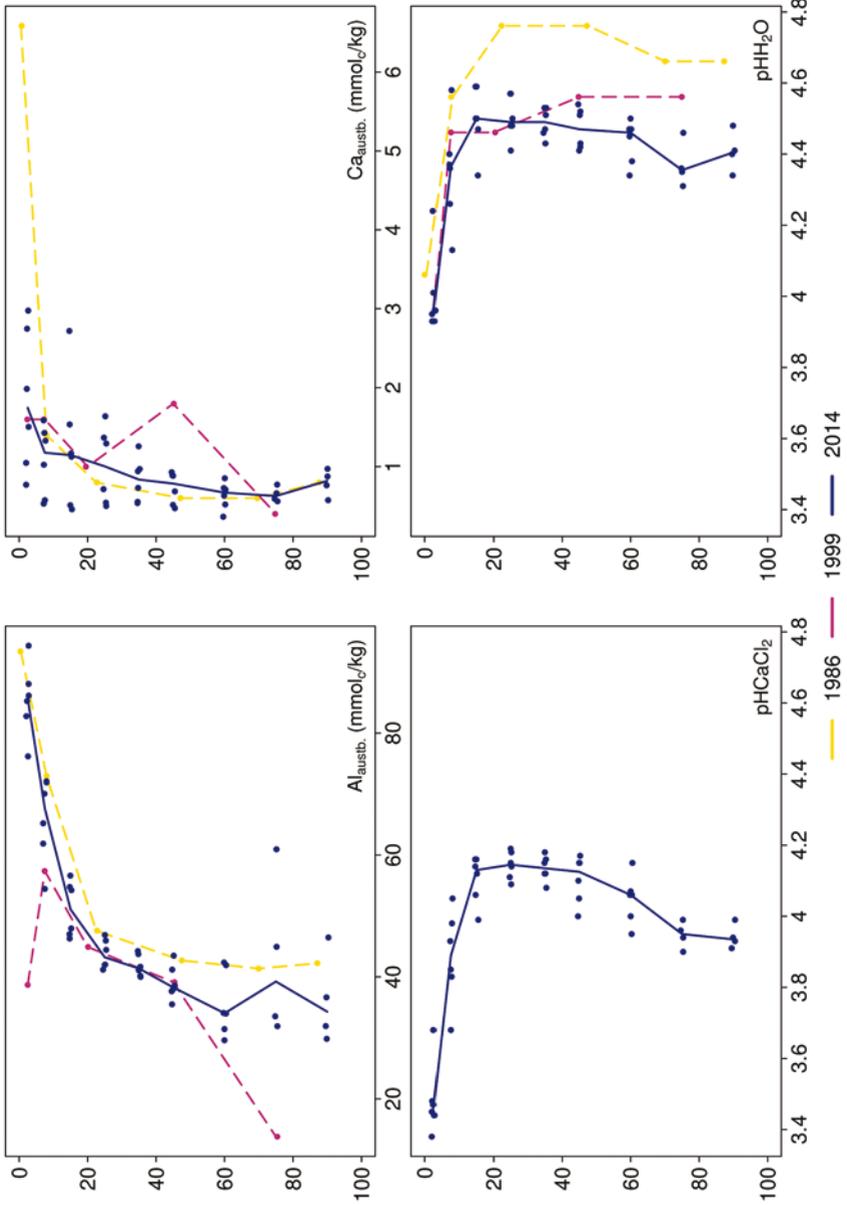
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 8 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996).

Königstein Fichte

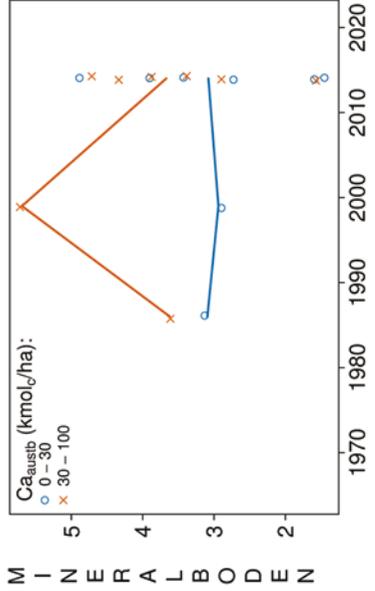
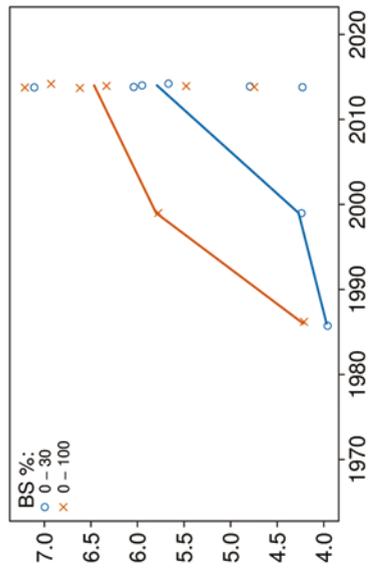
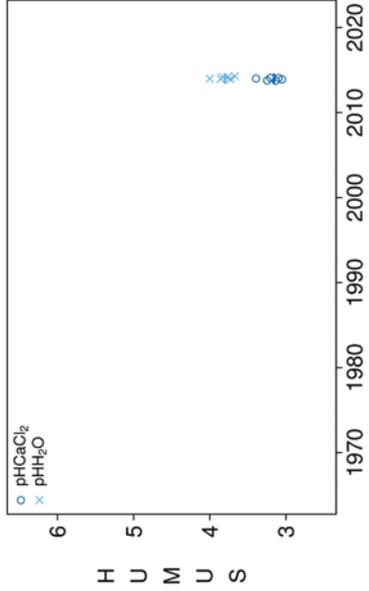
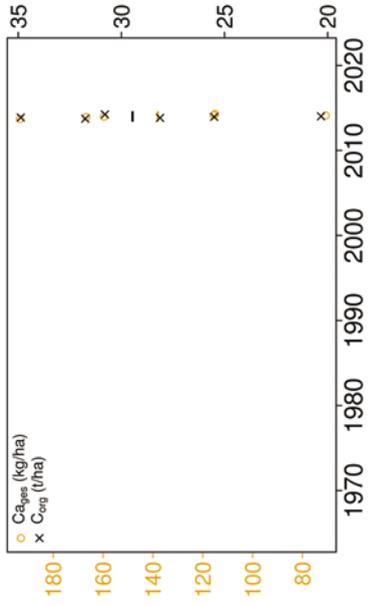
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)





Vorrats- und pH-Änderungen

Königstein Fichte



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2014)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	21,55	0,16	23,60	1,43	2,40	0,57	0,29	0,24	0,053	6,03	30,32	11,09	25,13	61,74	60,40
5	10	24,40	0,16	24,22	1,46	2,69	1,04	0,26	0,18	0,054	9,83	30,90	10,08	28,37	32,22	67,72
10	20	25,76	0,18	23,89	1,58	2,82	1,41	0,28	0,19	0,056	13,04	31,39	10,42	31,03	23,63	73,70
20	30	26,32	0,19	24,42	1,61	2,91	1,52	0,27	0,21	0,053	13,52	31,00	10,90	32,31	19,22	75,97
30	40	26,53	0,17	25,50	1,56	3,15	1,42	0,26	0,21	0,055	13,37	31,18	12,01	35,28	16,98	76,41
40	50	24,11	0,15	25,92	1,46	3,18	1,30	0,24	0,19	0,054	12,73	31,25	12,81	34,31	14,68	68,83
50	70	19,65	0,09	27,75	1,21	3,30	0,86	0,19	0,13	0,047	13,52	31,93	16,89	34,79	12,68	56,72
70	80	19,64	0,05	35,08	1,38	4,21	0,65	0,18	0,10	0,051	13,37	37,15	23,25	37,67	13,03	57,89
80	100	15,84	0,04	35,74	1,09	4,63	0,95	0,20	0,08	0,047	15,93	34,68	24,95	43,43	11,56	58,04

bis 25%-Quantil

25 %-Quantil - Med.

Med. - 75 %-Quantil

75 %-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2014)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	7	14	10	3	19	51	20	15	24	23	9	17	21	21	15
5	10	5	11	10	8	17	52	19	15	21	15	9	15	19	13	12
10	20	4	10	10	9	18	32	18	10	16	12	8	14	18	14	12
20	30	8	14	11	8	20	32	21	12	15	12	10	16	16	16	16
30	40	12	20	10	8	23	29	23	21	14	11	9	13	19	19	18
40	50	14	26	15	11	24	32	26	28	17	10	12	17	21	22	22
50	70	17	45	20	21	32	40	16	29	25	16	15	21	24	36	22
70	80	18	43	13	33	32	32	6	37	9	24	19	20	21	51	16
80	100	24	44	10	18	54	46	6	23	24	12	14	28	26	42	28

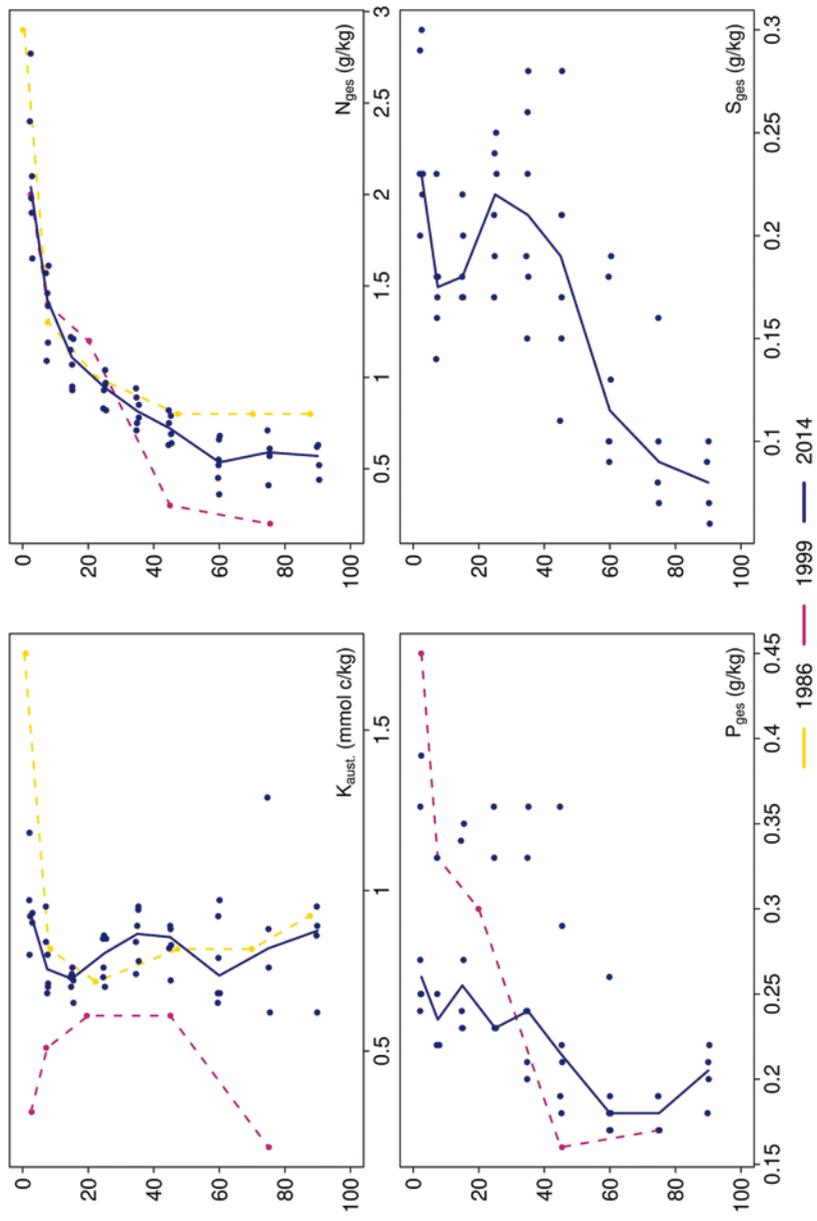
0-20 %

20-50 %

>50 %

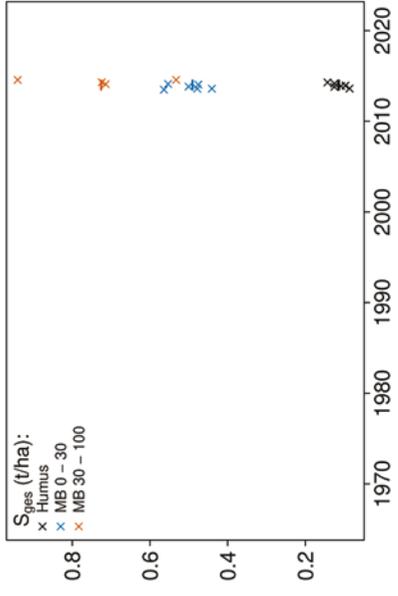
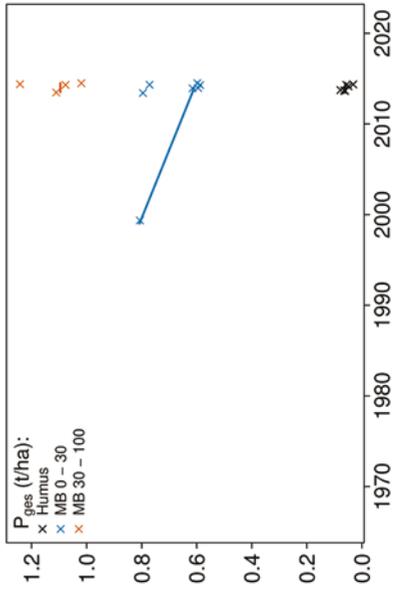
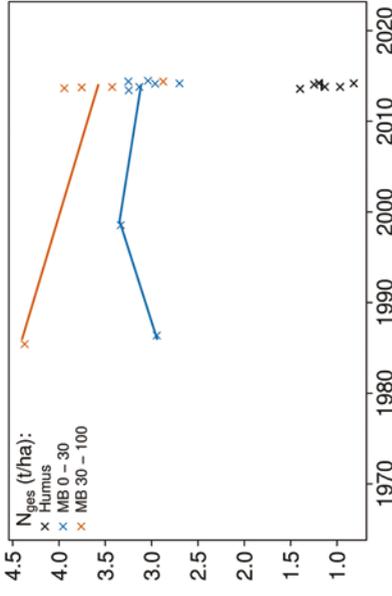
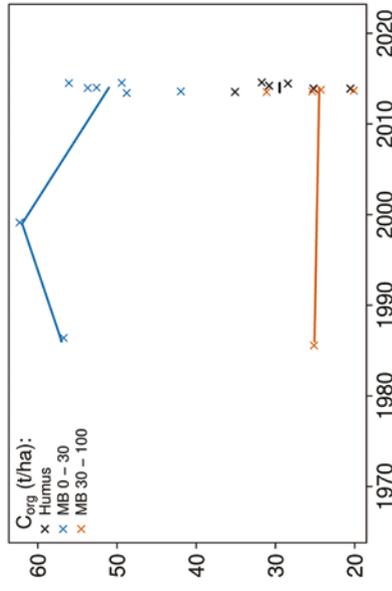
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

Königstein Fichte



Königstein Fichte

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine Pseudogley-Braunerde, die sich aus sauren Magmatiten und Metamorphiten (Tonschiefer) gebildet hat. Dieser skelettreiche Boden weist hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine leichte Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte überschreiten zudem in 0-5 cm Tiefe den halben Vorsorgewert der BBodSchV. Die Kupfer (Cu)- und Zink (Zn)-Gehalte liegen in größerer Tiefe in Teilen des Profils, die Chrom (Cr)- und Nickel (Ni)-Gehalte im ganzen Profil über dem Vorsorgewert.

Die Pb-Gehalte überschreiten in der Humusaufgabe zudem den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

In der Humusaufgabe werden die Hintergrundwerte für Waldböden (Bommaré et al. 2021) von allen Schwermetallen überschritten. Und auch im Mineralboden liegen die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Cadmium (Cd) über diesen Werten.

Die Pb-Gehalte sind bis in 10 cm Tiefe sehr hoch, und nehmen mit zunehmender Tiefe stark ab. Für Cu steigen sie mit zunehmender Tiefe von Werten, die über dem Median der Gehalte aller Flächen liegen, bis auf Werte im oberen Quartil an. Die Kobalt (Co)-, Cr-, Ni- und Zn-Gehalte liegen im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe im oberen Quartil, die Cd-Gehalte zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil.

Auch in der Humusaufgabe sind die Gehalte aller Schwermetalle hoch (Cd, Pb) oder sehr hoch (Co, Cu, Cr, Ni, Zn).

Über eine Veränderung der Schwermetall-Gehalte kann keine Aussage gemacht werden, da es nur von einer Inventur Messwerte gibt.

Dass die Humusaufgabe für alle Schwermetalle Gehalte aufweist, die über den Hintergrundwerten liegen und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten, könnte an der Einmischung von Mineralboden mit hohen Schwermetall-Gehalten in die organische Auflage liegen. Nur für Pb deuten die höheren Gehalte in der Humusaufgabe und bis in 10 cm Mineralbodentiefe sowie der I_{geo} auf Pb anthropogenen Ursprungs hin.

Bewertung Schwermetalle (2014)

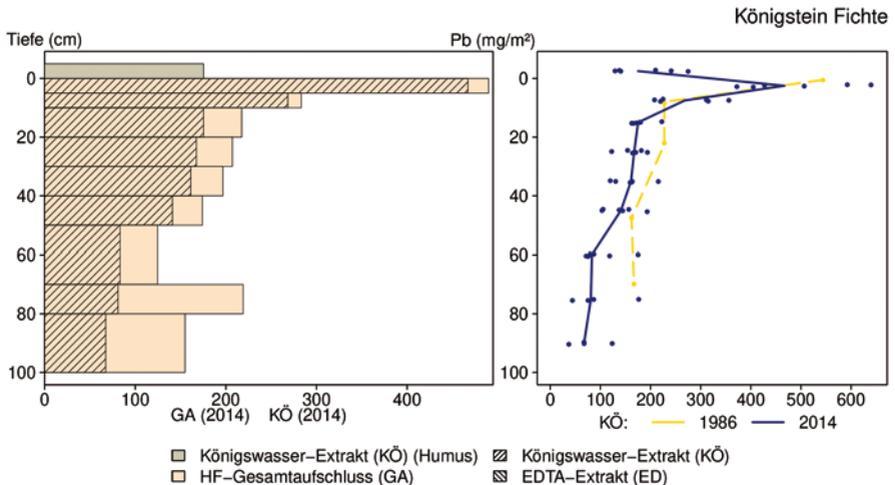
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,05	6,03	30,32	11,09	25,13	61,74	60,40
5	10	0,05	9,83	30,90	10,08	28,37	32,22	67,72
10	20	0,06	13,04	31,39	10,42	31,03	23,63	73,70
20	30	0,05	13,52	31,00	10,90	32,31	19,22	75,97
30	40	0,06	13,37	31,18	12,01	35,28	16,98	76,41
40	50	0,05	12,73	31,25	12,81	34,31	14,68	68,83
50	70	0,05	13,52	31,93	16,89	34,79	12,68	56,72
70	80	0,05	13,37	37,15	23,25	37,67	13,03	57,89
80	100	0,05	15,93	34,68	24,95	43,43	11,56	58,04
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

KSTFI

> Vorsorgewert

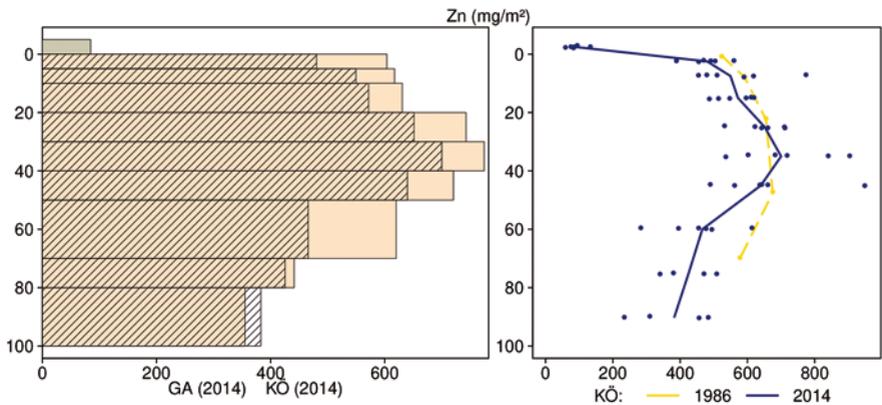
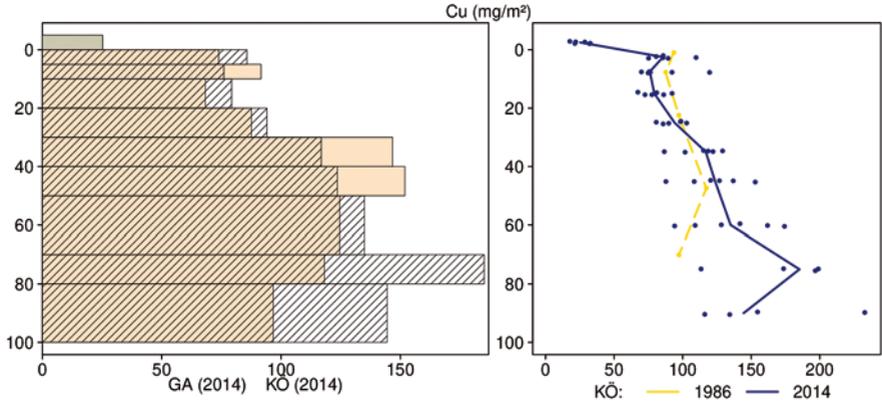
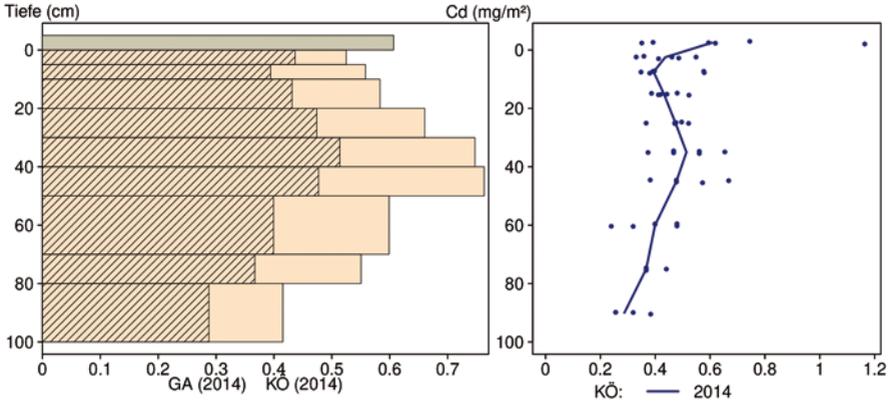
> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte

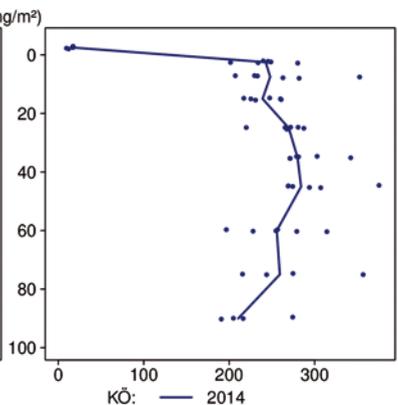
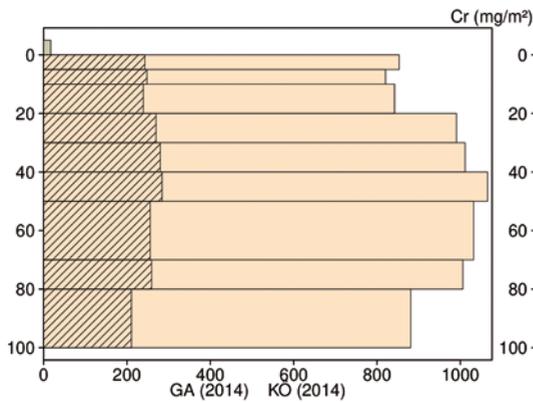
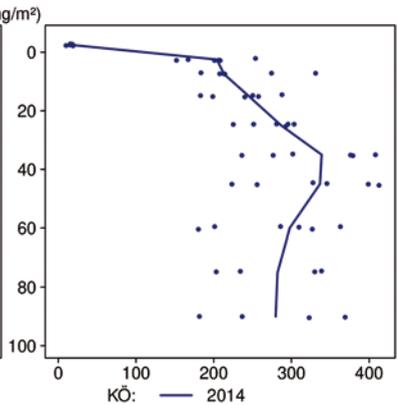
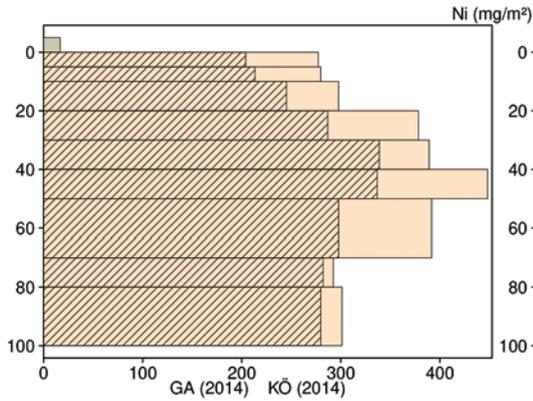
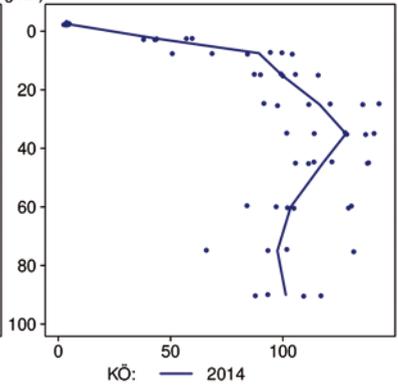
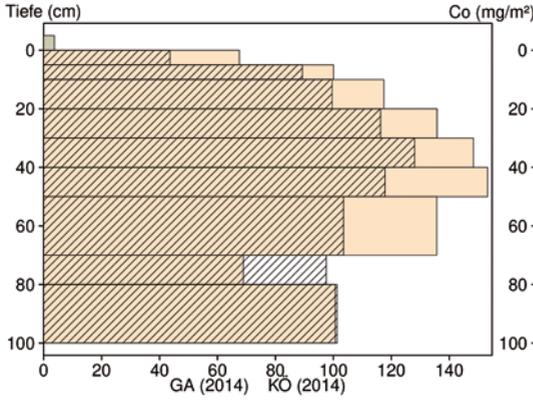


Königstein Fichte

KSTFI



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 EDTA-Extrakt (ED)

12.14 Lange Bramke Kamm (LBKA)

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Clausthal 366j		Niedersachsen		
Wuchsgebiet	UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition		
Harz	597600			
Wuchsbezirk	UTM N	660/8/OSO		
Montaner Ober- und Mittelharz		5746400		
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
sehr stark subatlantisch	1249	1309	516	533
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
sehr stark subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	5,6	6,7	11,9	13
Monitoringprogramme				
BDF-F 23 (Intensiv), Level II Core plot 303, Forsthydrologisches Forschungsgebiet				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1985 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1995, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1995, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1995-2005, alle ±10 Jahre				
weitere Untersuchungen				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, Ozon (passiv)				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
saure Magmatite und Metamorphite	Böden aus basenarmem Festgestein		50-65 %, sehr skelettreich	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
typischer feinhumusreicher Moder (MOR)	Braunerde-Podsol		Endoleptic Albic Endoskeletal Podzol (Pantoloamic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
26.2+2.2t	mäßig frisch, schwach mesotroph		77 (bis 80 cm)	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5	-			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
75	9,3/2,8		starke Niederdurchforstung	
sonstiges: 2021 wurde der Bestand nach Käferbefall komplett geräumt				

LBKA

Profilbeschreibungen (nach KA5)

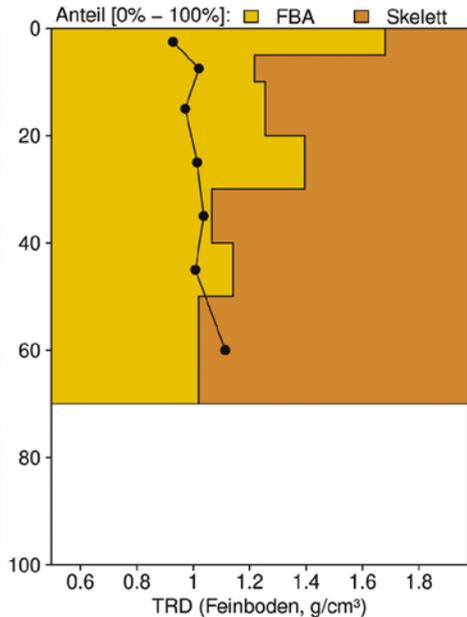
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-11.7 - -9.9	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,2
Of	-9.9 - -5.1	0	Vn	h7	Ld0	c0	10,6
Oh	-5.1 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	13,3
Ah	0 - 3	20	Slu	h5	Ld2	c0	6,7
Ahe	3 - 16	40	Slu	h2	Ld2	c0	15,6
Bs	16 - 34	25	Ls2	h0	Ld3	c0	20,3
Bv	34 - 53	50	Su4	h0	Ld2	c0	19,0
IIBv-Cv	53 - 80	70	Su4	h0	Ld3	c0	15,4
Σ bis 80 cm nur Mineralboden							77,0
Σ bis 80 cm incl. Humusauflage							104,0

Beisecker 17.6.2009

LBKA



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2015

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	86,2	13,6	38,7	15,3	0,50	30,5	27,6	40,1	4,21	3,51
Of	-	-	76,8	18,1	34,1	23,9	0,94	25,4	42,2	95,1	3,72	2,92
Oh	-	-	46,8	34,0	97,3	37,8	1,59	23,7	79,4	177	3,46	2,71
0 - 5	5,0	51,0	13,7	5,2	17,7	14,0	0,76	18,4	134	80,2	3,57	2,86
5 - 10	3,5	36,9	6,0	2,9	10,3	7,4	0,44	16,9	103	49,5	3,65	2,97
10 - 20	2,6	81,4	10,4	5,2	19,0	15,0	0,84	17,9	312	131	3,81	3,22
20 - 30	2,9	52,5	5,5	3,4	16,5	10,2	0,61	16,6	201	105	4,19	3,66
30 - 40	3,9	32,2	3,4	2,1	15,5	8,2	0,56	14,8	181	98,3	4,58	4,08
40 - 50	5,6	23,4	3,8	1,6	15,5	6,1	0,44	14,0	174	75,2	4,59	4,12
50 - 70	6,8	29,0	6,8	2,0	27,3	4,9	0,52	9,4	265	95,9	4,68	4,20
70 - 80	6,0	11,7	2,5	0,7	8,1	2,2	0,22	10,3	114	44,2	4,67	4,26
80 - 100	9,4	17,2	2,8	1,6	24,8	1,2	0,28	4,1	108	66,7	4,83	4,19
Σ L-100cm		335	265	90,4	325	146	7,70		1741	1059		

LBKA

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf dieser Versuchsfläche, die auf dem Kamm eines Bergrückens liegt, stockt ein Fichten-Reinbestand. Der Boden ist ein sehr skelettreicher, flachgründiger, saurer und nährstoff- armer schluffig-lehmiger Sandboden. Er ist sehr inhomogen, was das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren relativ weit auseinanderliegt, und die hohe Streuung (bis zu 70 %) der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte zeigen.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2015 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei weitem bis mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. Im Oberboden haben die Kohlenstoff (C)- und N-Vorräte zwischen 1995 und 2005 stark zugenommen und sind bis 2015 wieder auf das Niveau von 1995 abgefallen. In der Humusaufgabe ist der Trend gegenläufig. Im Unterboden ist weder bei C noch bei N eine Tendenz zu beobachten.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte waren im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe gering. Im Oberboden haben die Ca-Vorräte zwischen 1985 und 1995 stark abgenommen, danach schwächt sich dieser Trend deutlich ab. Im Unterboden ist kein Trend festzustellen. Bei K und Mg gibt es keine Veränderungen.

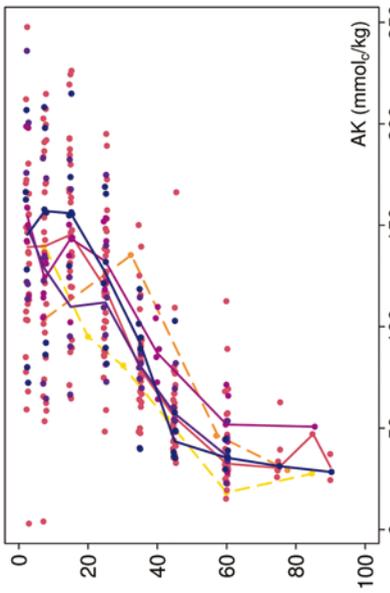
Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2015 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1141 t/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Vorräte aller Flächen. Im Vergleich zu der unterhalb dieser Fläche liegenden Fläche Lange Bramke Südhang (LBSH) und der Fläche Lange Bramke Nordhang (LBNH) ist der P-Vorrat niedriger. Zwischen 1986 und 2015 hat er sich nur wenig verändert.

Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 1059 kg/ha ebenfalls zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil mit hohen Anteilen im Oberboden. Zwischen 1995 und 2015 zeigt sich ein leichter Trend zu abnehmenden S-Vorräten in der Humusaufgabe. Für den Mineralboden können keine Veränderungen nachgewiesen werden.

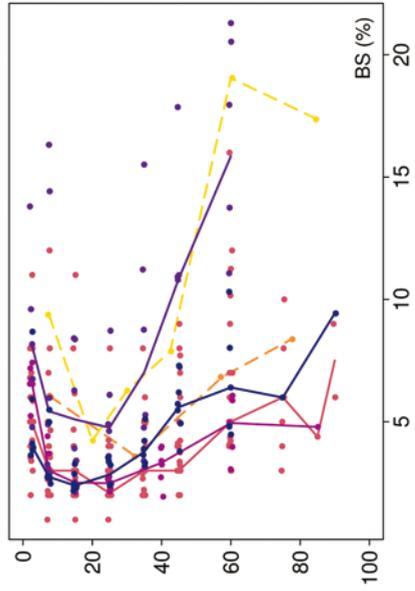
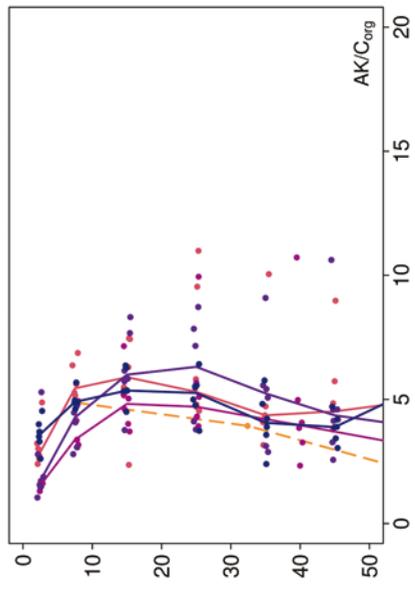
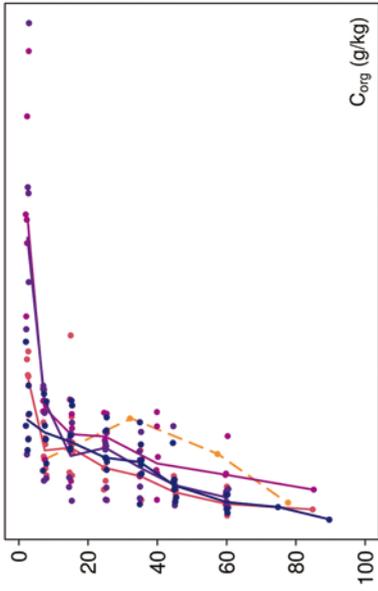
Säure-Base-Status und -Dynamik

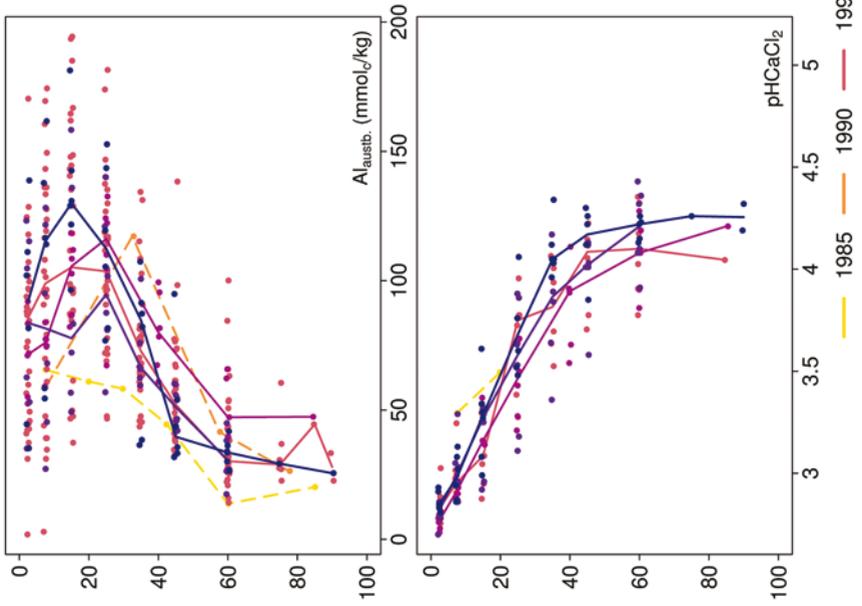
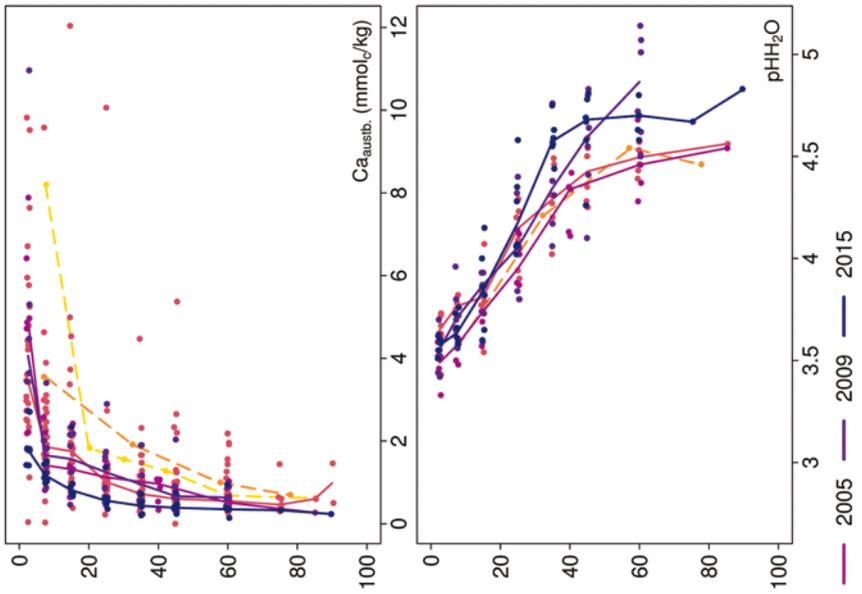
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 5 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1986 und 1995 hat die Basensättigung im gesamten Profil weiter stark abgenommen und beträgt seitdem < 5 % im gesamten Profil.

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



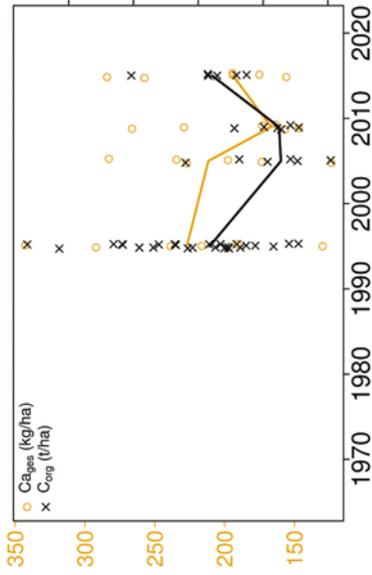
Lange Bramke Kamm



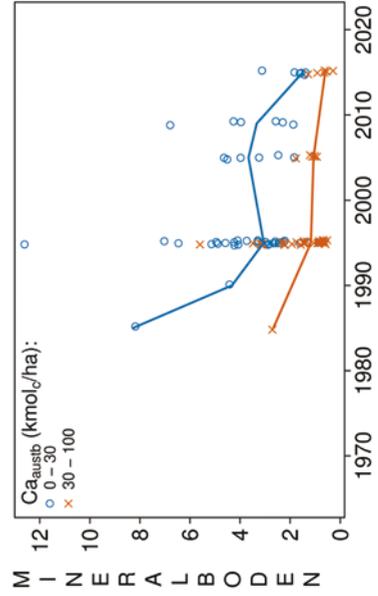
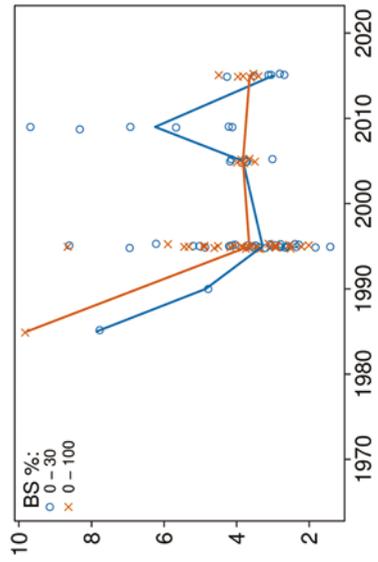
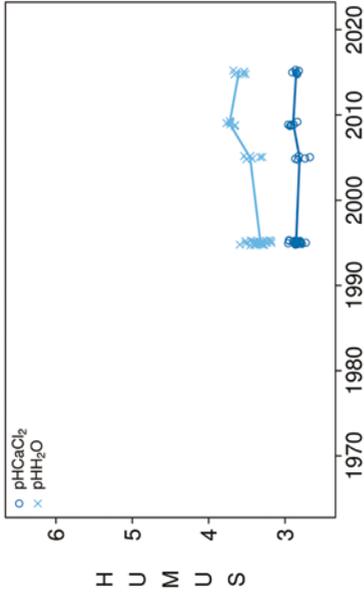


LBKA

Vorrats- und pH-Änderungen



Lange Bramke Kamm



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2015)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	10,18	0,09	12,36	1,91	0,65	0,12	0,36	0,21	0,131	1,05	16,96	11,70	4,99	266,05	22,85
5	10	12,55	0,08	17,28	2,21	0,76	0,40	0,42	0,20	0,095	1,43	20,55	11,27	5,24	338,09	20,33
10	20	18,48	0,10	28,15	2,63	1,10	0,77	0,63	0,26	0,120	3,25	33,36	15,20	8,08	434,03	26,97
20	30	20,21	0,12	27,58	2,53	1,39	0,86	0,49	0,25	0,132	6,84	33,86	17,91	12,90	234,24	39,02
30	40	22,77	0,13	24,43	2,53	1,71	0,83	0,45	0,25	0,156	11,39	32,95	19,92	22,71	72,54	57,25
40	50	16,85	0,15	20,55	2,30	1,53	0,45	0,40	0,17	0,113	10,77	26,38	19,33	25,50	38,25	47,47
50	70	14,49	0,10	19,00	2,41	1,69	0,47	0,34	0,12	0,088	13,10	24,26	18,49	28,05	15,24	35,60
70	80	16,34	0,08	24,25	2,49	2,25	0,48	0,31	0,12	0,087	29,20	24,99	22,98	40,95	12,24	50,19
80	100	13,22	0,03	20,63	2,14	2,12	0,25	0,18	0,11	0,051	13,48	22,19	24,81	24,39	10,80	31,06

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2015)

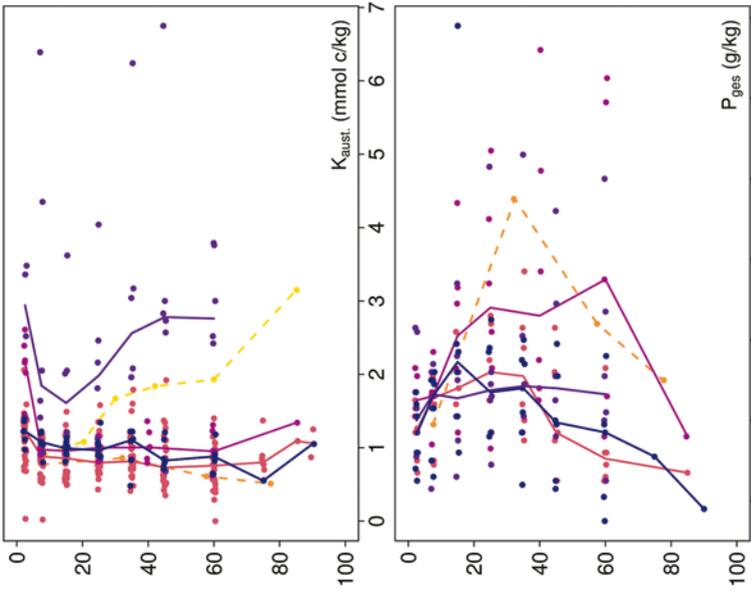
von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	37	33	42	23	37	55	23	34	36	35	25	26	24	41	29
5	10	35	33	40	23	37	70	25	38	29	48	24	27	23	44	36
10	20	31	66	40	25	33	53	55	43	38	44	47	29	32	40	43
20	30	22	45	29	11	31	57	25	27	17	36	28	22	31	44	39
30	40	24	28	30	15	32	61	27	32	40	64	28	24	45	77	27
40	50	25	34	39	11	52	59	33	41	24	72	30	27	67	73	35
50	70	24	51	45	11	71	102	43	52	37	108	28	38	102	44	49
70	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0-20 %

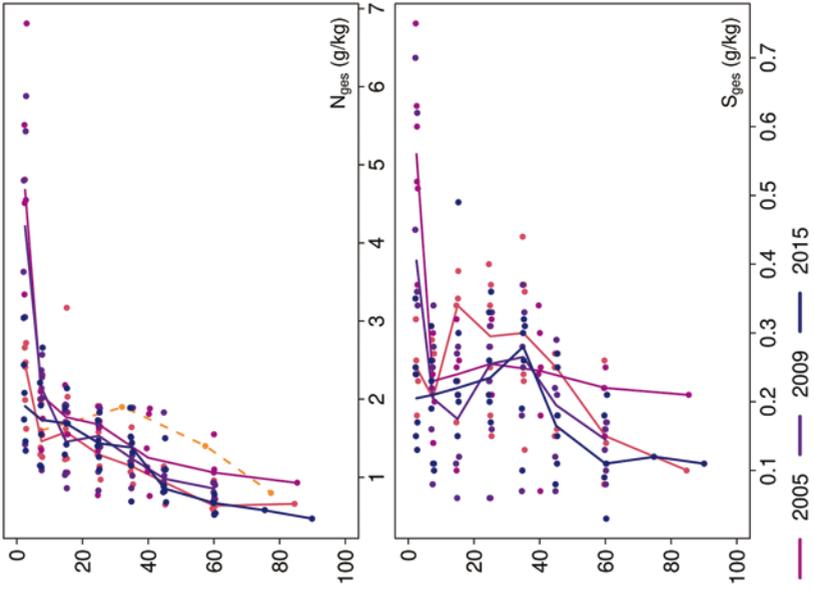
20-50 %

>50 %

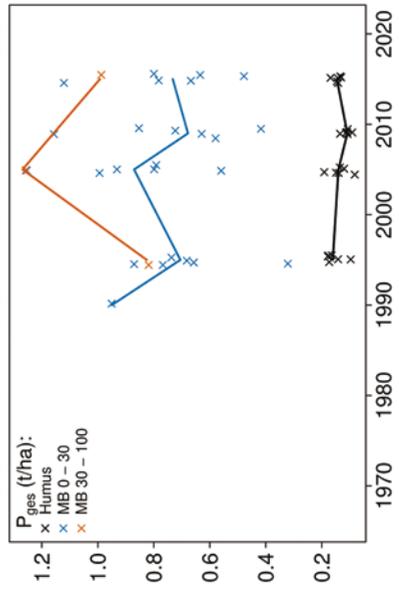
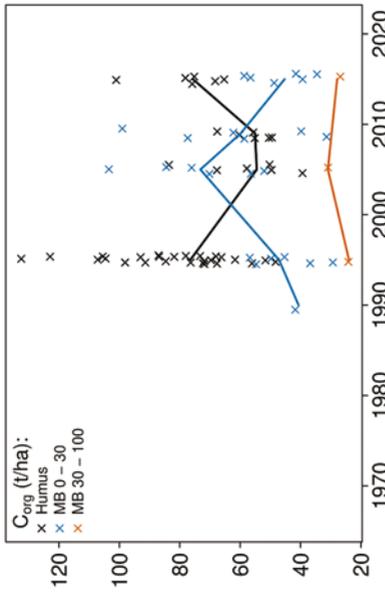
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



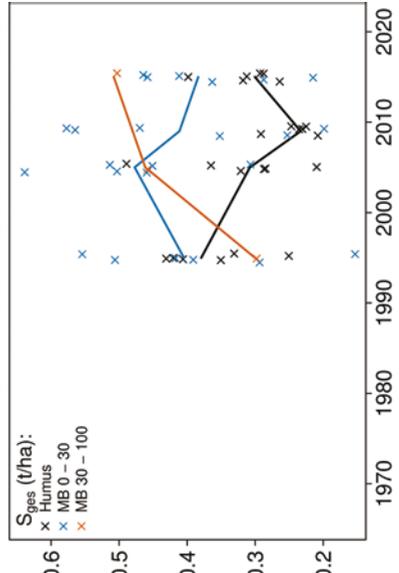
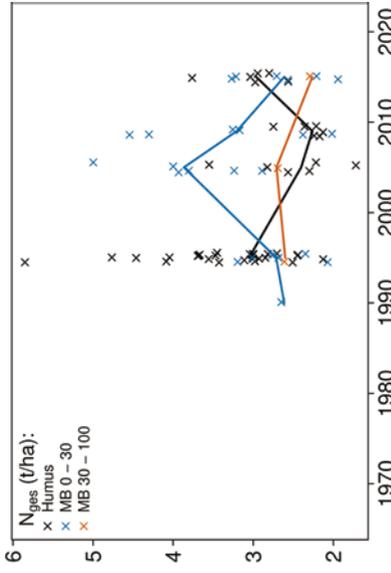
Lange Bramke Kamm



Vorratsänderungen (t/ha)



Lange Bramke Kamm



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein Braunerde-Podsol, der sich aus sauren Magmatiten und Metamorphiten gebildet hat. Dieser sehr skelettreiche Boden weist hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine sehr starke Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen zudem bis in 40 cm Tiefe über dem Vorsorgewert der BBodSchV und in 40-50 cm Tiefe immer noch über dem halben Vorsorgewert. Chrom (Cr), Kupfer (Cu) und Nickel (Ni) überschreiten den halben Vorsorgewert in Teilen des Profils.

In der Humusaufgabe sind die Pb-Gehalte fast achtmal so hoch wie der kritische Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Auch im Mineralboden wird dieser Wert um das zwei- bis dreifache überschritten.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für alle Schwermetalle über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021), wobei vor allem Pb durch sehr hohe Werte auffällt. Im Mineralboden werden sie für Cadmium (Cd), Pb und Cu überschritten.

Die Cd-, Cr-, und Cu- Gehalte liegen fast im gesamten Mineralboden bis in 1 m Tiefe im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen, während die Kobalt (Co)- und Ni-Gehalte bis in 10 cm Tiefe unter dem Median liegen und erst mit zunehmender Tiefe auf sehr hohe Werte ansteigen. Für Zink (Zn) sind sie mit Werten zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil niedriger. Die Pb-Gehalte sind bis in 30 cm Tiefe sehr hoch und nehmen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich ab.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte von Cd, Cu, Pb und Zn ebenfalls sehr hoch (oberes Quartil). Für Kobalt (Co), Cr und Ni sind sie mit Gehalten zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil niedriger.

In der Humusaufgabe haben die Cd-, Co-, Cu-, Ni- und Zn-Vorräte zwischen 1995 und 2005 sowie zwischen 2005 und 2009 abgenommen, wobei die Abnahme im zweiten Zeitraum bei Cd, Co, Ni, und Zn wesentlich höher war. Danach haben sie sich bis 2015 nur noch wenig verändert. Die Pb-Vorräte haben sich im ersten Zeitraum fast halbiert, sind in der zweiten Periode nur noch leicht gesunken und danach bis 2015 wieder angestiegen. Für den Mineralboden kann nur für den Zeitraum 2009 bis 2015 eine Aussage gemacht werden, da nur für diesen Zeitraum Messwerte vorliegen. In 0-5 cm Tiefe haben vor allem die Cd-Vorräte, aber auch die Vorräte an Cu, Pb und Zn abgenommen, während sie sich für Co, Cr und Ni kaum verändert haben. In 5-10 cm Tiefe ist keine Veränderung festzustellen.

Die Humusaufgabe ist durch alle Schwermetalle kontaminiert, da ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Im Mineralboden sind die Gehalte aller Schwermetalle wegen des schwermetallhaltigen Ausgangsgesteins hoch und überschreiten für Pb sogar den kritischen Level und den Vorsorgewert der BBodSchV bis in 40 cm Tiefe. In der Humusaufgabe haben die Vorräte aller Schwermetalle bis 2009 abgenommen. Inwieweit sie in den Mineralboden verlagert wurden, kann aufgrund der hohen Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs nur schwer festgestellt werden. Jedoch kann

aus der Abnahme von Cd, Cu und Zn in 0-5 cm Tiefe darauf geschlossen werden, dass diese in die Tiefe verlagert wurden. Der Vergleich mit den tiefer gelegenen Flächen Lange Bramke Nordhang (LBNH) und Südhang (LBSH) in unmittelbarer Nähe zeigt eine höhere Belastung des Bodens dieser sich in Kammlage befindenden Fläche. Dies kann auf die insbesondere im Herbst und Winter höheren Niederschlagsmengen und den in höheren Lagen häufiger vorkommendem Nebel zurückgeführt werden, wodurch mehr Stoffe aus der Luft ausgekämmt werden können.

Bewertung Schwermetalle (2015)

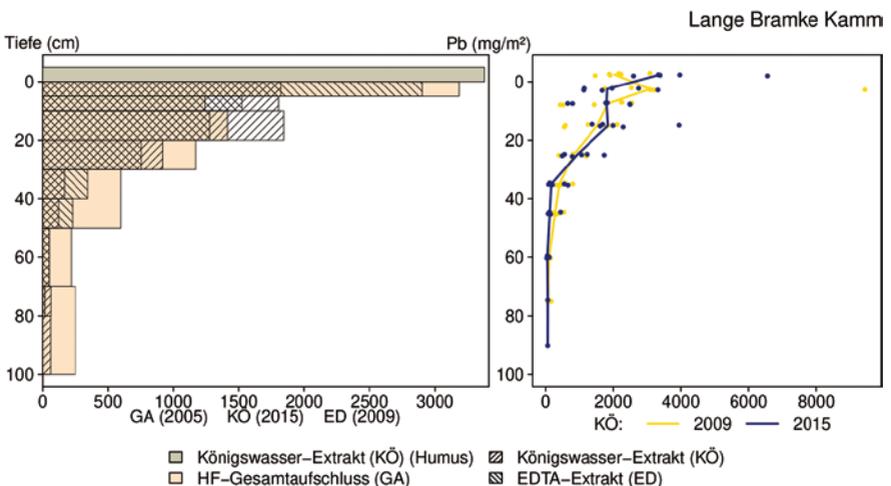
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,13	1,05	16,96	11,70	4,99	266,05	22,85
5	10	0,10	1,43	20,55	11,27	5,24	338,09	20,33
10	20	0,12	3,25	33,36	15,20	8,08	434,03	26,97
20	30	0,13	6,84	33,86	17,91	12,90	234,24	39,02
30	40	0,16	11,39	32,95	19,92	22,71	72,54	57,25
40	50	0,11	10,77	26,38	19,33	25,50	38,25	47,47
50	70	0,09	13,10	24,26	18,49	28,05	15,24	35,60
70	80	0,09	29,20	24,99	22,98	40,95	12,24	50,19
80	100	0,05	13,48	22,19	24,81	24,39	10,80	31,06
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

LBKA

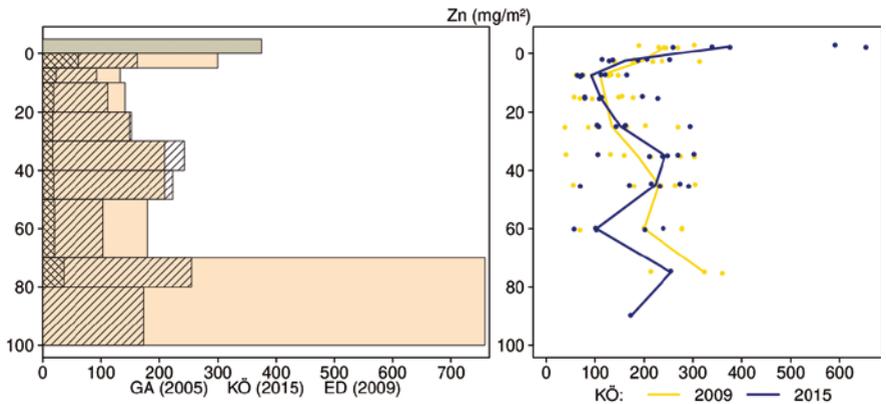
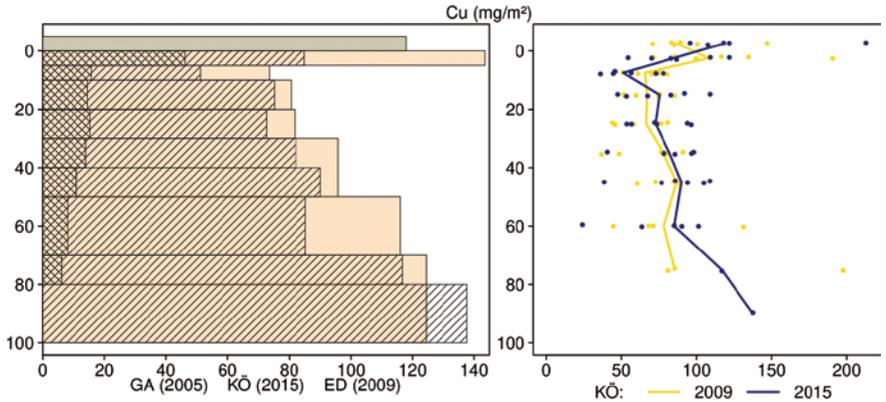
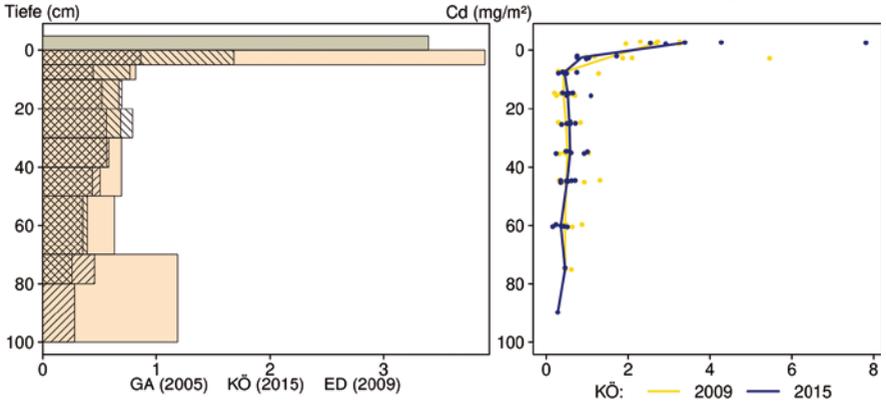
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

Schwermetallvorräte

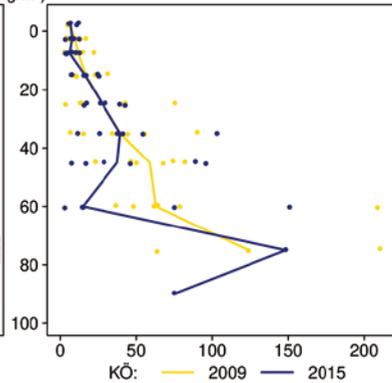
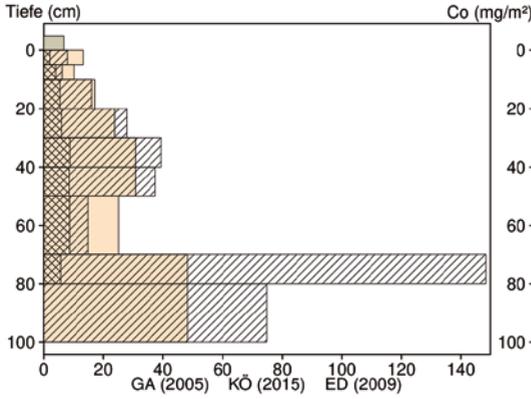


Lange Bramke Kamm

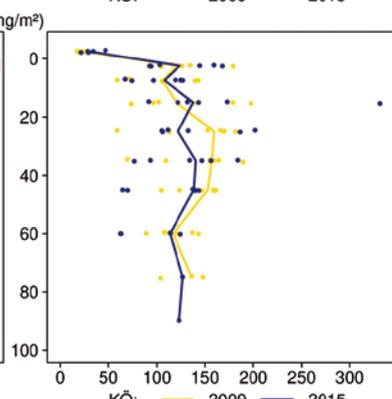
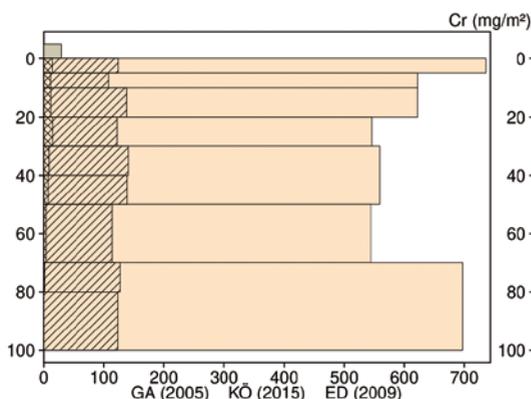
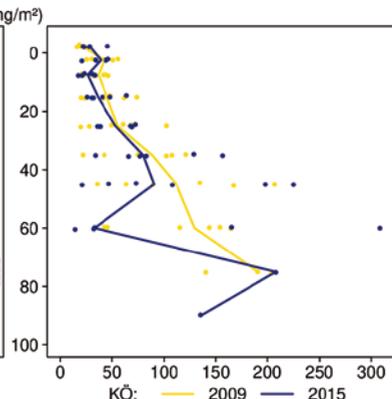
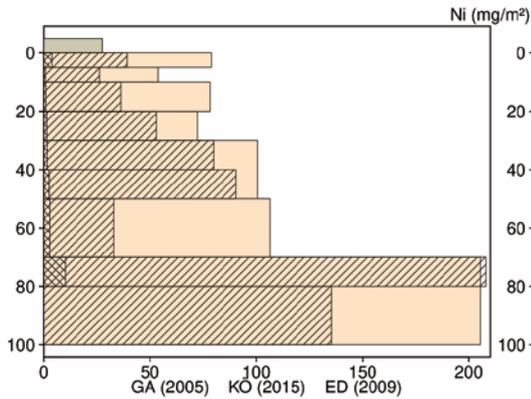


- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)

LBKA



LBKA



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 EDTA-Extrakt (ED)

12.15 Lange Bramke Nordhang (LBNH)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Clausthal 367j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Harz	597300			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	600/8/OSO		
Montaner Ober- und Mittelharz		5743800		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
sehr stark subatlantisch	1226	1269	509	520
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
sehr stark subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	5,9	7	12,2	13,4
Monitoringprogramme				
BDF-F 5 (Intensiv), Forsthydrologisches Forschungsgebiet				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1974 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1995, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1995, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1995-2005, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Respiration, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
saure Magmatite und Metamorphite	Böden aus basenarmem Festgestein		50 %, skelettreich	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusarmer Rohhumus (ROA)	Braunerde-Podsol		Entic Pantoskeletal Podzol (Endoloamic Epislitic Raptic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
19.3.2.3t	ziemlich frisch, mesotroph		61 (bis 80 cm)	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
75	10,1/2,2		Niederdurchforstung	
sonstiges: -				

LBNH

Profilbeschreibungen (nach KA5)

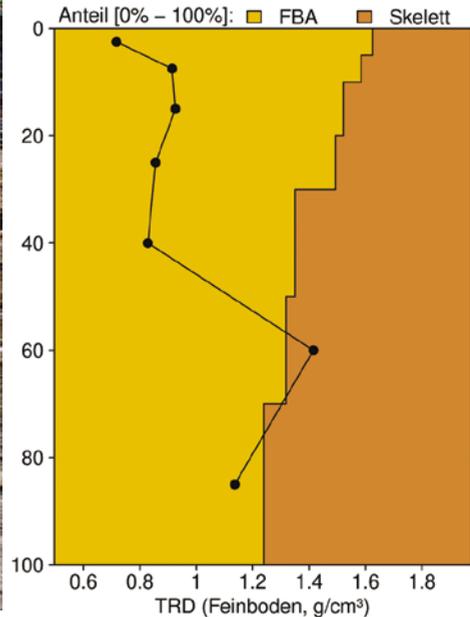
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-11 - -10	0	Vn	h7	Ld0	c0	1,8
Of	-10 - -4	0	Vn	h7	Ld0	c0	13,2
Oh	-4 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	10,4
Ahe	0 - 4	35	Uls	h2	Ld2	c0	5,7
Bhs	4 - 15	35	Lu	h3	Ld3	c0	12,9
Ae	15 - 27	35	Lu	h2	Ld3	c0	11,7
Bv	27 - 50	40	Lu	h2	Ld3	c0	20,7
IIBv-Cv	50 - 65	70	Uls	h0	Ld4	c0	7,2
IICv	65 - 80	90	Uls	h0	Ld4	c0	2,4
Σ bis 80 cm nur Mineralboden							60,6
Σ bis 80 cm incl. Humusauflage							86,0

Melms 23.4.2015

LBNH



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2015

LBNH

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	32,5	4,6	14,7	6,1	0,18	33,4	9,8	15,1	4,19	3,48
Of	-	-	55,2	14,5	29,1	18,5	0,74	24,9	33,0	76,1	3,64	2,85
Oh	-	-	27,5	46,3	128	24,3	1,08	22,5	66,0	125	3,40	2,75
0 - 5	3,7	46,6	7,7	3,3	14,9	13,9	0,69	20,0	93,6	71,8	3,71	3,04
5 - 10	2,9	60,1	6,7	3,1	14,9	13,2	0,68	19,4	123	80,9	3,87	3,22
10 - 20	2,4	98,8	7,9	4,3	25,1	20,0	1,11	18,1	246	157	4,11	3,54
20 - 30	3,1	60,2	5,6	2,9	22,2	16,0	0,91	17,7	221	143	4,45	3,91
30 - 40	4,6	25,7	3,2	1,3	15,7	8,5	0,58	14,7	194	107	4,70	4,21
40 - 50	6,3	13,3	2,1	0,7	12,6	4,5	0,39	11,8	177	72,0	4,77	4,36
50 - 70	7,5	32,5	6,1	1,8	38,5	6,5	0,87	7,4	516	145	4,80	4,36
70 - 80	6,2	26,6	3,7	1,1	19,4	2,9	0,44	6,5	199	54,3	4,68	4,12
80 - 100	6,3	34,5	4,9	1,9	37,7	3,0	0,61	5,0	364	129	4,65	4,20
Σ L-100cm		398	163	86,0	373	137	8,27		2241	1177		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf dieser Versuchsfläche, die auf einem nordexponierten Hang liegt, stockt ein Fichten-Reinbestand. Der Boden ist ein skelettreicher, mittelgründiger, saurer und nährstoffarmer lehmiger Schluffboden. Er ist sehr inhomogen, was das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren relativ weit auseinanderliegt, und die hohe Streuung (bis zu 80 %) der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte zeigen.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2015 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei mäßig weitem bis mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. Im Oberboden ist der Kohlenstoff (C)-Vorrat zwischen 1974 und 2005 leicht angestiegen und hat sich bis 2015 auf diesem Niveau stabilisiert. Beim N-Vorrat ist der Verlauf bis 2005 gleich mit einem leicht abnehmenden Vorrat bis 2015. In der Humusaufgabe und im Unterboden ist weder bei C noch bei N ein Trend zu beobachten. Der Calcium (Ca)-Vorrat war 2015 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe sehr gering. Für Magnesium (Mg) und Kalium (K) ist die Versorgung mit geringen Vorräten etwas besser. In der Humusaufgabe und im Oberboden haben die Ca- und Mg-Vorräte im gesamten Untersuchungszeitraum weiter abgenommen und auch im Unterboden ist eine leichte Tendenz zu abnehmenden Vorräten zu sehen. Beim K ist keine Veränderung festzustellen.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2015 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 2241 t/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Vorräte aller Flächen. Im Vergleich zur Fläche Lange Bramke Kamm (LBKA) ist der P-Vorrat viel höher. Zwischen 1986 und 2015 hat er sich nur wenig verändert.

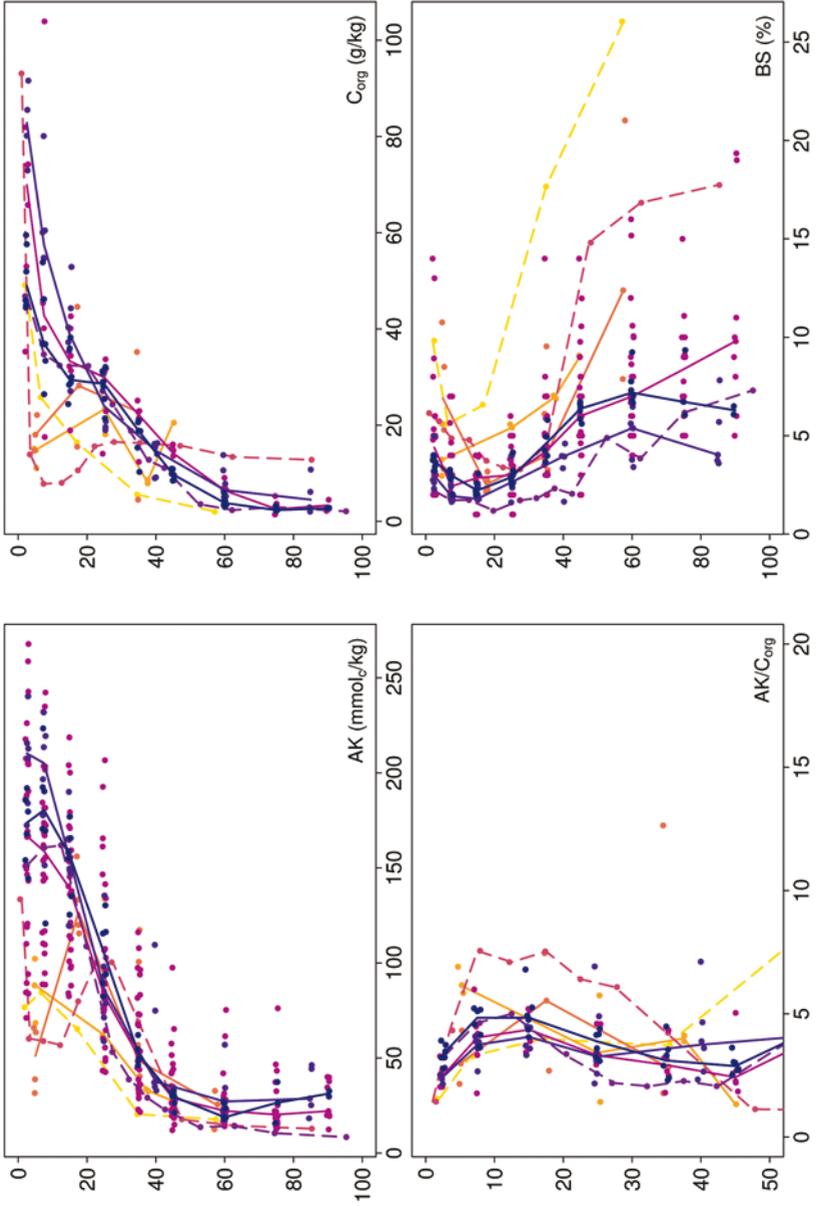
Für Schwefel (S) lag der Vorrat 2015 mit 1177 kg/ha ebenfalls zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil, mit hohen Anteilen im Oberboden. Zwischen 1995 und 2005 haben die S-Vorräte im Unterboden stark abgenommen, danach schwächt sich dieser Trend ab. In der Humusaufgabe und im Oberboden zeigt sich ebenfalls eine leichte Tendenz zu abnehmenden S-Vorräten.

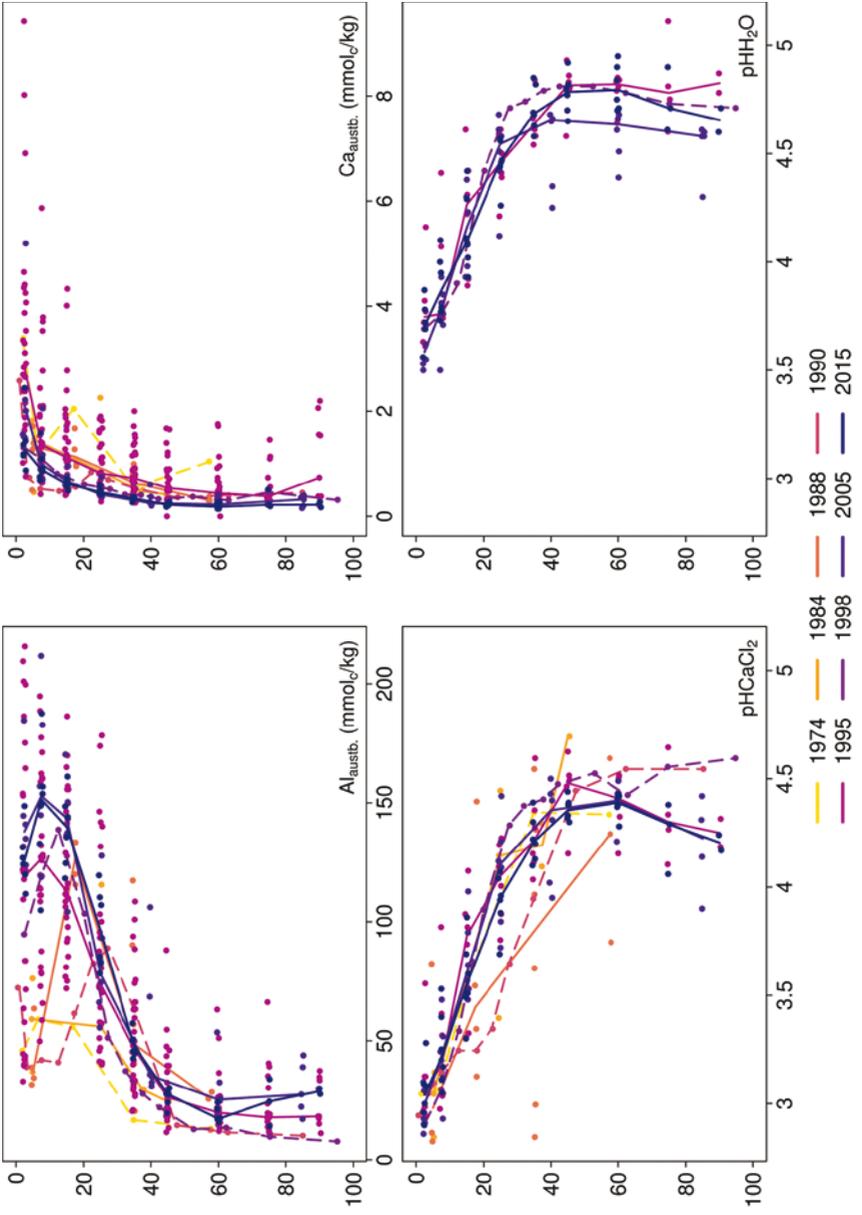
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Zwischen 1974 und 1988 hat die Basensättigung insbesondere im Unterboden sehr stark abgenommen und beträgt seitdem <10 % im gesamten Profil. Mit einer Basensättigung von unter 10 % ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Ab 2005 deutet sich eine Tendenz zu steigenden Basensättigungswerten im gesamten Profil an.

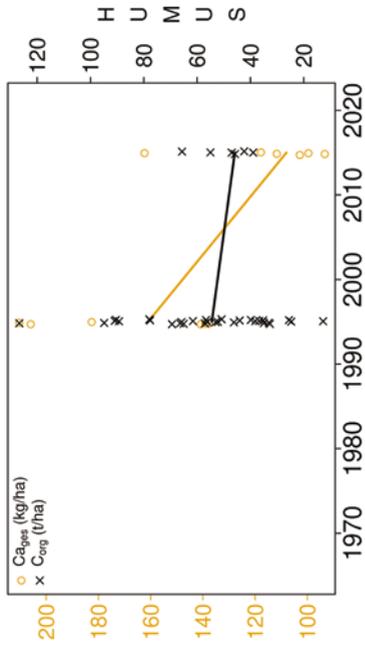
Lange Bramke Nordhang

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

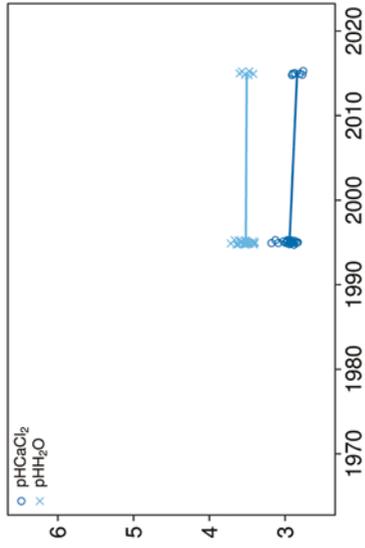




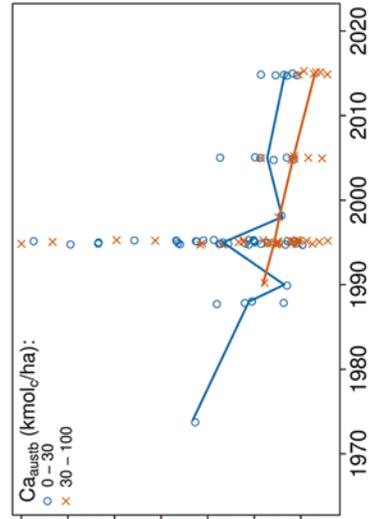
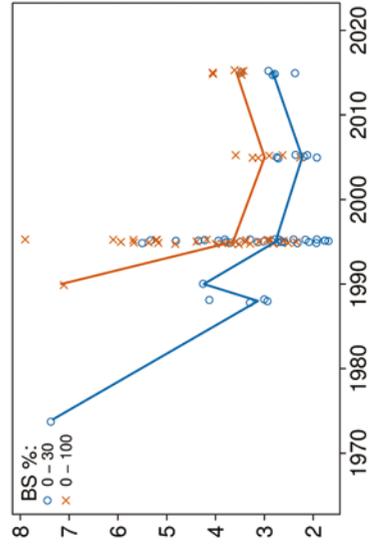
Vorrats- und pH-Änderungen



Lange Bramke Nordhang



MINERALBODEN



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2015)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	12,47	0,11	23,22	1,69	0,80	0,28	0,34	0,26	0,124	3,74	20,14	12,23	12,99	330,91	29,81
5	10	16,59	0,11	31,46	1,90	1,00	0,68	0,36	0,24	0,118	6,04	25,95	12,42	14,88	370,27	35,01
10	20	19,61	0,13	34,96	2,07	1,14	0,94	0,38	0,24	0,119	9,38	29,51	13,37	18,57	315,15	39,70
20	30	21,59	0,16	32,56	2,17	1,24	1,39	0,38	0,25	0,136	13,97	29,38	14,89	21,53	222,75	48,99
30	40	19,48	0,17	29,69	2,05	1,21	1,57	0,40	0,22	0,135	17,07	24,40	15,99	30,38	64,68	60,73
40	50	14,44	0,17	30,50	2,08	1,11	1,70	0,38	0,15	0,112	19,00	19,70	17,70	37,03	28,23	56,70
50	70	10,23	0,16	29,33	2,08	0,97	1,94	0,33	0,09	0,101	21,94	15,86	18,18	41,26	23,19	45,74
70	80	12,06	0,10	28,51	2,45	1,17	1,86	0,33	0,09	0,117	21,77	19,08	15,93	40,03	22,67	43,14
80	100	12,94	0,12	30,80	2,56	1,72	2,11	0,33	0,12	0,093	23,81	19,93	15,53	45,40	15,19	55,50

□ bis 25%-Quartil

■ 25 %-Quartil - Med.

■ Med. - 75 %-Quartil

■ 75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2015)

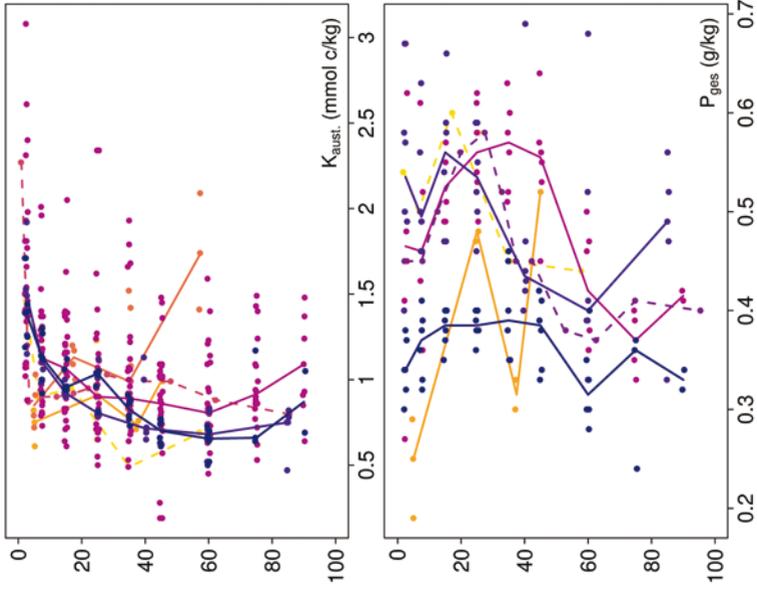
von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	8	13	9	8	10	38	8	19	25	32	8	13	23	26	9
5	10	19	22	9	9	21	53	9	23	26	40	14	14	18	46	28
10	20	16	28	6	9	23	38	5	14	20	34	11	8	23	35	24
20	30	14	18	13	8	20	46	4	15	14	33	13	8	18	43	13
30	40	26	26	9	6	30	29	11	30	22	20	13	18	17	44	19
40	50	13	17	11	5	30	22	9	9	15	18	10	18	13	34	8
50	70	15	38	18	7	46	26	12	13	16	10	15	27	21	64	8
70	80	27	54	25	29	86	43	16	20	18	33	27	47	40	38	38
80	100	25	61	16	6	72	33	3	10	25	2	30	37	2	15	11

□ 0-20 %

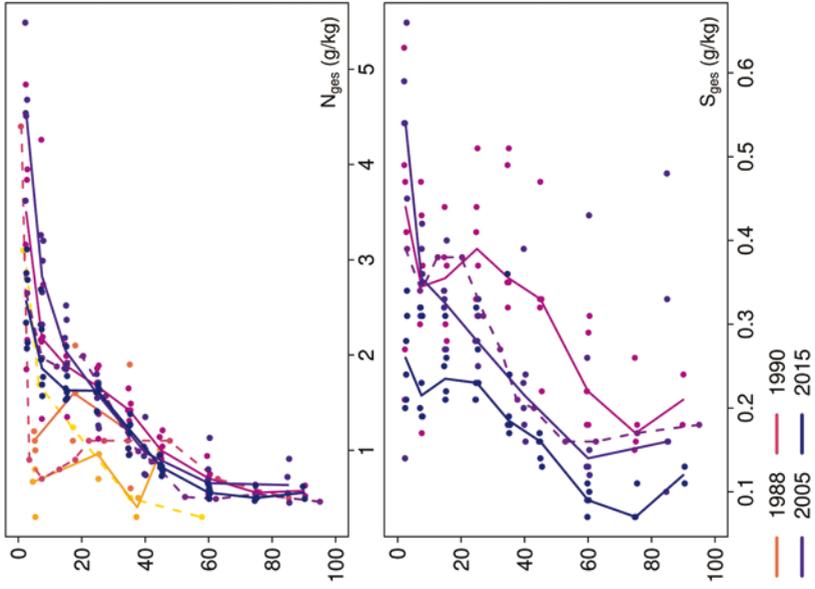
■ 20-50 %

■ >50 %

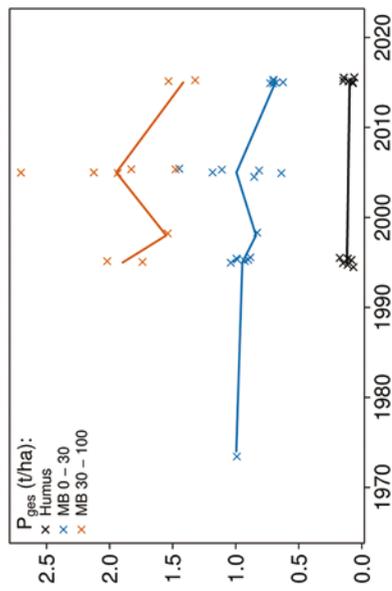
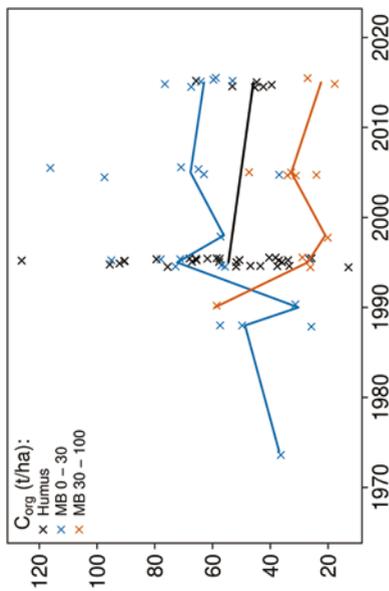
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



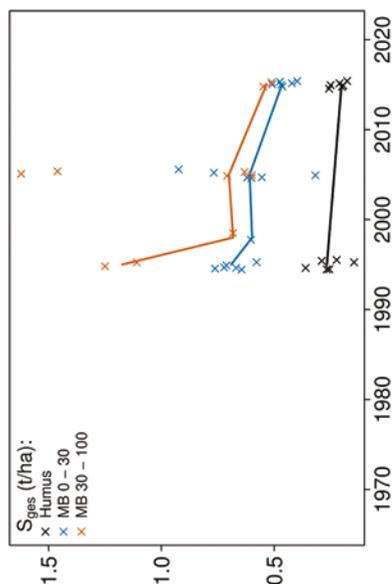
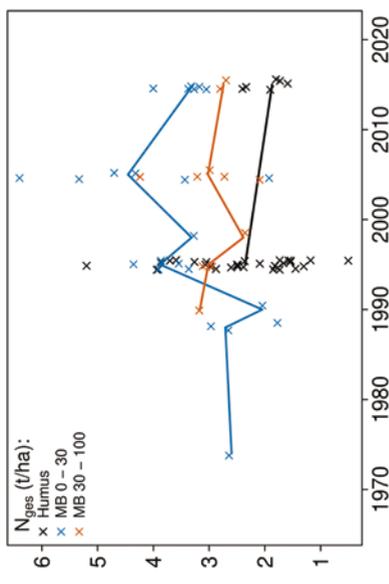
Lange Bramke Nordhang



Vorratsänderungen (t/ha)



Lange Bramke Nordhang



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein Braunerde-Podsol, der sich aus sauren Magmatiten und Metamorphiten gebildet hat. Dieser sehr skelettreiche Boden weist hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine sehr starke Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen zudem bis in 30 cm Tiefe über dem Vorsorgewert der BBodSchV und in 30-40 cm Tiefe immer noch über dem halben Vorsorgewert. Für Nickel (Ni) überschreiten sie den halben Vorsorgewert ab 30 cm Tiefe, für Chrom (Cr) in 20-40 cm Tiefe.

In der Humusaufgabe sind die Pb-Gehalte fast sechsmal so hoch wie der kritische Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht. Auch im Mineralboden, für den kritische Level bis in 10 cm Tiefe gelten, wird dieser Wert um das zwei- bis dreifache überschritten.

In der Humusaufgabe und im Mineralboden liegen die Gehalte aller Schwermetalle über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021), wobei vor allem Pb durch sehr hohe Werte auffällt.

Die Pb-Gehalte sind bis in 30 cm Tiefe sehr hoch (oberes Quartil) und nehmen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich ab. Für Cadmium (Cd) und Kupfer (Cu) liegen sie im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen, für Cr und Zink (Zn) zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil. Die Kobalt (Co)- und Nickel (Ni)-Gehalte sind im Oberboden niedriger (Median – 75 %-Quartil) und steigen mit zunehmender Tiefe auf sehr hohe Werte an.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte von Cd, Co, Cr, Cu, Pb und Zn ebenfalls sehr hoch (oberes Quartil), während sie für Ni niedriger sind (Median – 75 %-Quartil).

Zwischen 1995 und 2005 haben sich die Schwermetall-Vorräte in der Humusaufgabe kaum verändert, während sie zwischen 2005 und 2015 mit Ausnahme von Pb abgenommen haben. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für 2015 Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch alle Schwermetalle kontaminiert, da ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Im Mineralboden sind die Gehalte aller Schwermetalle wegen des schwermetallhaltigen Ausgangsgesteins sehr hoch und überschreiten für Pb sogar den kritischen Level und den Vorsorgewert der BBodSchV bis in 30 cm Tiefe. In der Humusaufgabe haben die Vorräte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Pb zwischen 2005 und 2015 abgenommen. Da es auf dieser Fläche 2009 keine Bodeninventur gegeben hat, kann nicht festgestellt werden, ob es zu einer Verlangsamung der Abnahme in der zweiten Hälfte des Zeitraums wie bei der Fläche LBKA gekommen ist. Inwieweit eine Verlagerung in den Mineralboden stattgefunden hat, kann aufgrund der hohen Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs nur schwer festgestellt werden. Der Vergleich mit der benachbarten südexponierten Fläche (LBSH) zeigt eine wesentlich höhere Belastung des Bodens dieser nach Norden geneigten Fläche.

Bewertung Schwermetalle (2015)

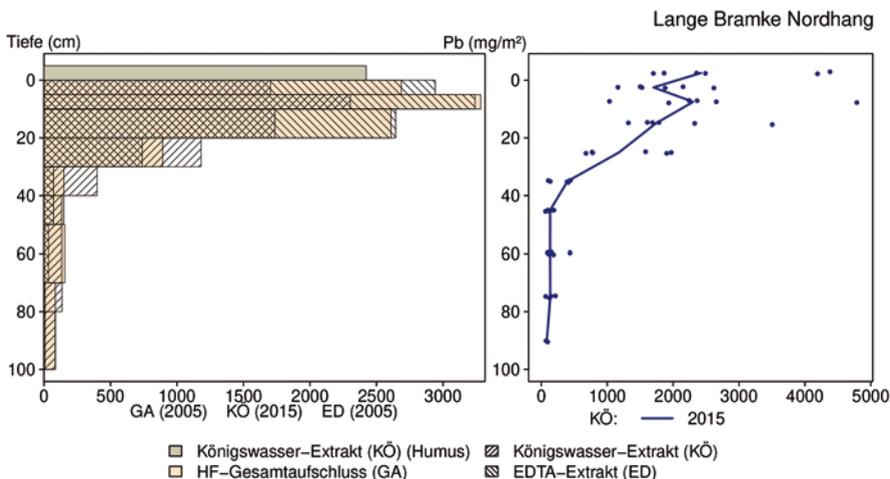
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,12	3,74	20,14	12,23	12,99	330,91	29,81
5	10	0,12	6,04	25,95	12,42	14,88	370,27	35,01
10	20	0,12	9,38	29,51	13,37	18,57	315,15	39,70
20	30	0,14	13,97	29,38	14,89	21,53	222,75	48,99
30	40	0,13	17,07	24,40	15,99	30,38	64,68	60,73
40	50	0,11	19,00	19,70	17,70	37,03	28,23	56,70
50	70	0,10	21,94	15,86	18,18	41,26	23,19	45,74
70	80	0,12	21,77	19,08	15,93	40,03	22,67	43,14
80	100	0,09	23,81	19,93	15,53	45,40	15,19	55,50
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

> Vorsorgewert

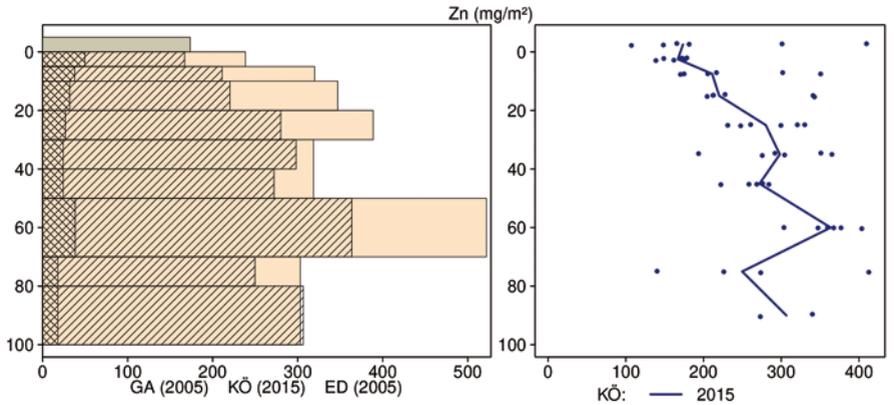
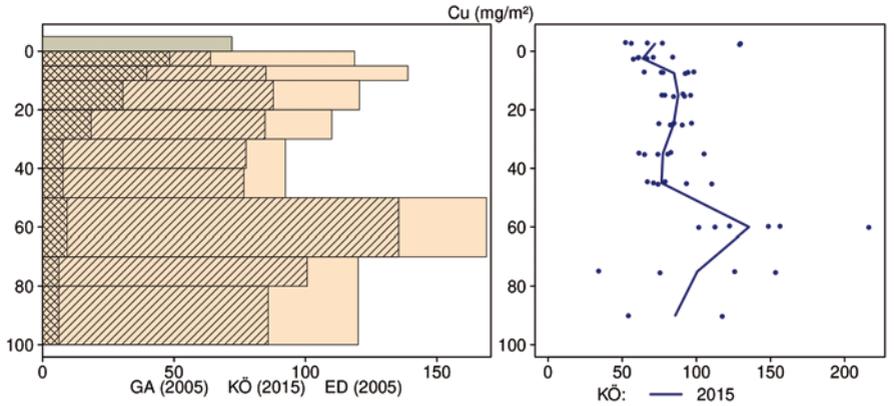
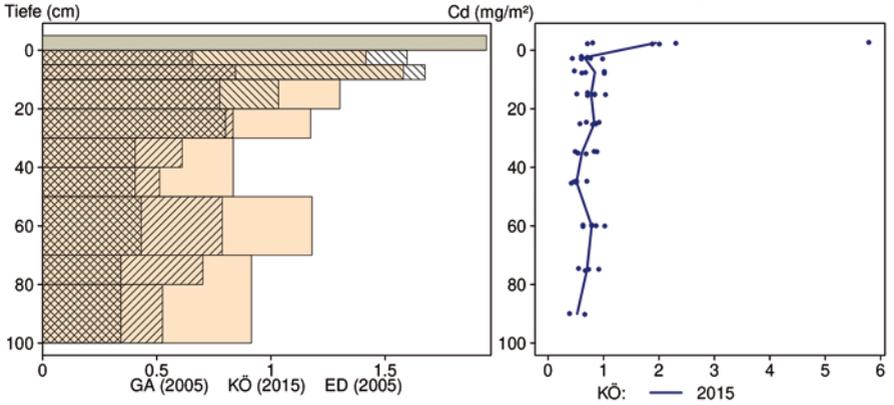
> 1/2 Vorsorgewert

LBNH

Schwermetallvorräte



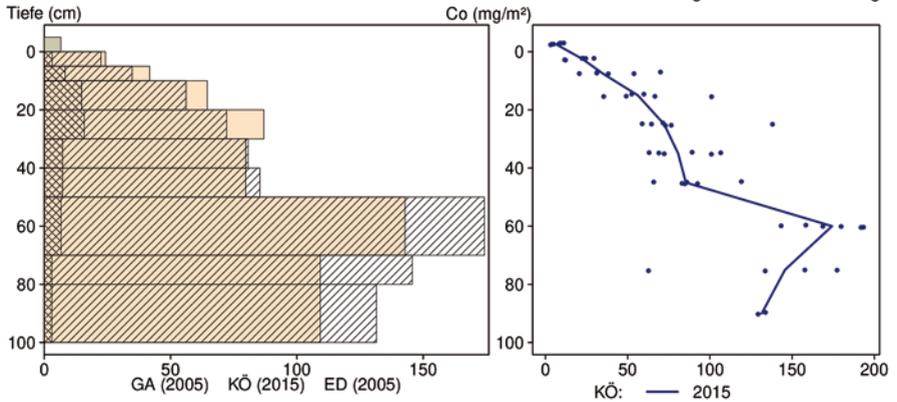
Lange Bramke Nordhang



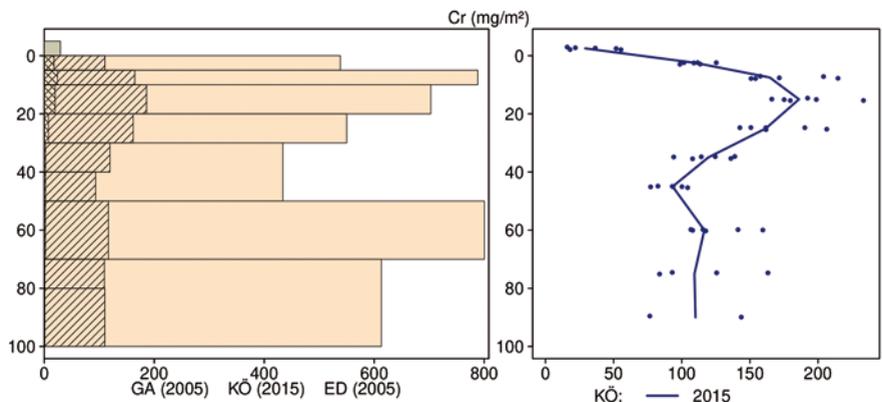
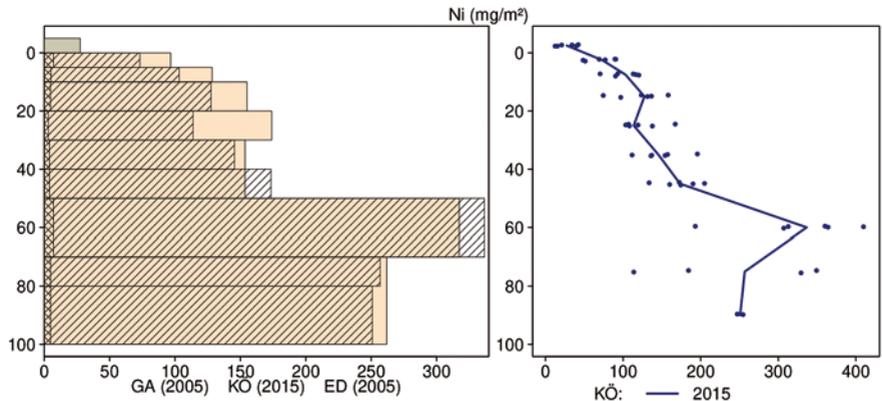
- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus) ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA) ▨ EDTA-Extrakt (ED)

LBNH

Lange Bramke Nordhang



LBNH



Königwasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königwasser-Extrakt (KÖ)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 EDTA-Extrakt (ED)

12.16 Lange Bramke Südhang (LBSH)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Clausthal 361j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Harz	597300			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	600/16/NN0		
Montaner Ober- und Mittelharz	5746000			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
sehr stark subatlantisch	1221	1266	507	519
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
sehr stark subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	5,9	7	12,2	13,4
Monitoringprogramme				
BDF-F 22 (Intensiv), Level II Plot 302, Forsthydrologisches Forschungsgebiet				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1974 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1995, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1995, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1995-2005, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Respiration, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
saure Magmatite und Metamorphite	Böden aus basenarmem Festgestein		40-60 %, sehr skelettreich	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
feinhumusreicher rohhumusartiger Moder (MRR)	Braunerde-Podsol		-	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
24.3.-2.2f	ziemlich frisch, mesotroph		82 (bis 80 cm)	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
75	14,7/1,9		starke Niederdurchforstung	
sonstiges: -				

LBSH

Profilbeschreibungen (nach KA5)

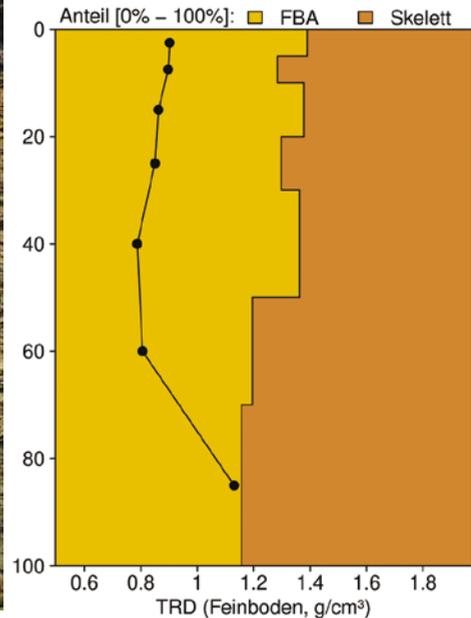
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-16 - -15	0	Vn	h7	Ld0	c0	1,8
Of	-15 - -8	0	Vn	h7	Ld0	c0	15,4
Oh	-8 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	20,8
Aeh	0 - 4	20	Ut3	h2	Ld2	c0	7,4
Bsh	4 - 13	20	Ut3	h2	Ld3	c0	15,8
Bhs	13 - 25	30	Ut3	h1	Ld3	c0	17,6
Bs	25 - 35	60	Ut3	h1	Ld3	c0	8,4
Bv-Cv	35 - 80	60	Uls	h1	Ld3	c0	32,4
Σ bis 80 cm nur Mineralboden							81,6
Σ bis 80 cm incl. Humusauflage							119,6

Schwender 27.4.2015

LBSH



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2015

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	33,5	6,2	18,8	8,0	0,28	28,8	13,7	24,9	4,03	3,26
Of	-	-	86,1	20,1	42,5	26,2	1,01	26,0	44,0	102	3,66	2,88
Oh	-	-	49,6	46,9	136	25,1	1,02	24,6	60,0	116	3,41	2,76
0 - 5	4,7	47,0	12,1	4,3	15,3	13,4	0,63	21,5	106	64,5	3,69	2,96
5 - 10	3,8	37,5	6,9	2,5	11,1	7,8	0,39	20,1	87,7	44,3	3,80	3,10
10 - 20	3,0	70,8	8,7	3,9	23,1	13,1	0,71	18,5	200	105	3,97	3,33
20 - 30	3,7	48,8	5,5	2,4	20,1	9,6	0,55	17,5	179	109	4,24	3,69
30 - 40	4,8	29,2	4,2	1,4	19,5	6,0	0,41	14,6	171	136	4,55	4,14
40 - 50	10,1	16,8	3,7	1,1	19,6	3,4	0,30	11,3	153	99,3	4,69	4,30
50 - 70	7,5	20,8	4,7	1,2	30,4	3,5	0,40	8,6	259	140	4,64	4,35
70 - 80	7,4	12,2	4,7	0,7	15,0	1,5	0,22	6,8	142	108	4,48	4,28
Σ L-80cm		283	220	90,7	352	118	5,91		1416	1049		

LBSH

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf dieser Versuchsfläche, die auf einem südexponierten Hang liegt, stockt ein Fichten-Reinbestand. Der Boden ist ein skelettreicher, mittelgründiger, saurer und nährstoffarmer lehmiger Schluffboden. Er ist sehr inhomogen, was das AK/Corg-Verhältnis, das bei den Inventuren 1995, 2005 und 2015 relativ weit auseinander liegt und bei den Inventuren 1984 und 1990 jeweils stark abweicht, zeigt. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte ist mit Variationskoeffizienten von bis zu 70 % ebenfalls sehr hoch.

Da die Messwerte der ersten beiden Inventuren (1974, 1990) in ganz anderen Bereichen liegen als die der drei folgenden Inventuren und der Probenumfang sehr gering war, werden sie in die folgenden Überlegungen nicht einbezogen.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat lag 2015 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016), bei mäßig weitem bis mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. Im Oberboden und in der Humusauflage sind die Kohlenstoff (C)- und N-Vorräte zwischen 1995 und 2005 leicht angestiegen. Im Oberboden haben sie bis 2015 wieder etwas abgenommen. In der Humusauflage blieben sie fast gleich. Für den Unterboden liegen nur wenige Messwerte vor, so dass eine Bewertung nicht möglich ist. Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte sind im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe gering. Zwischen 2005 und 2015 haben die Ca-Vorräte im Ober- und Unterboden abgenommen. In der Humusauflage sind sie im gesamten Untersuchungszeitraum fast gleich geblieben. Beim K und Mg ist keine Veränderung festzustellen.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2015 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1416 t/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median der Vorräte aller Flächen. Im Vergleich zu den Flächen Lange Bramke Kamm (LBKA) und Lange Bramke Nordhang (LBNH) ist der P-Vorrat der Niedrigste. Zwischen 2005 und 2015 zeigt sich im Oberboden eine leichte Tendenz zu weiter abnehmenden Werten.

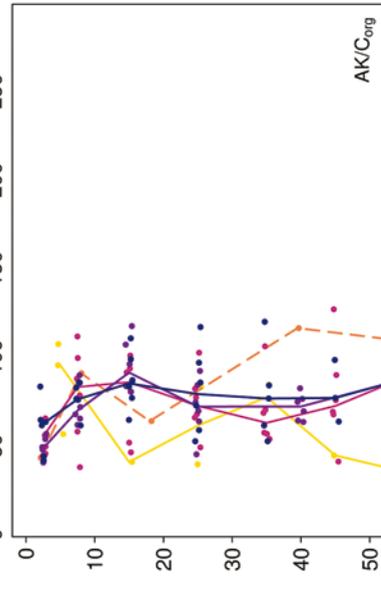
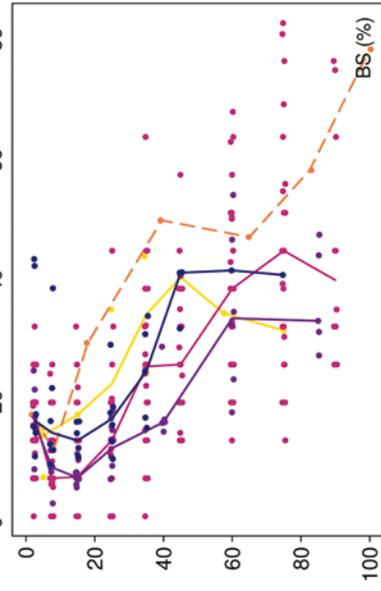
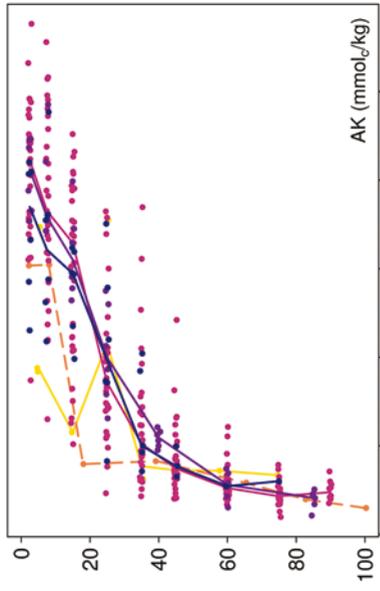
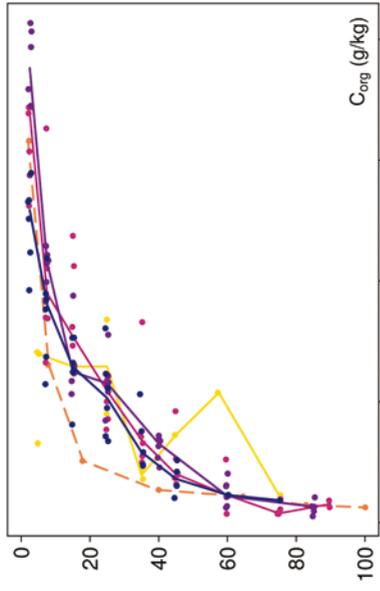
Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 1049 kg/ha ebenfalls zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median mit hohen Anteilen bis in 70 cm Tiefe. Zwischen 1995 und 2005 haben die S-Vorräte im ganzen Mineralboden stark abgenommen, wobei die Abnahme im Unterboden wesentlich größer war. In der Humusauflage ist keine Veränderung festzustellen.

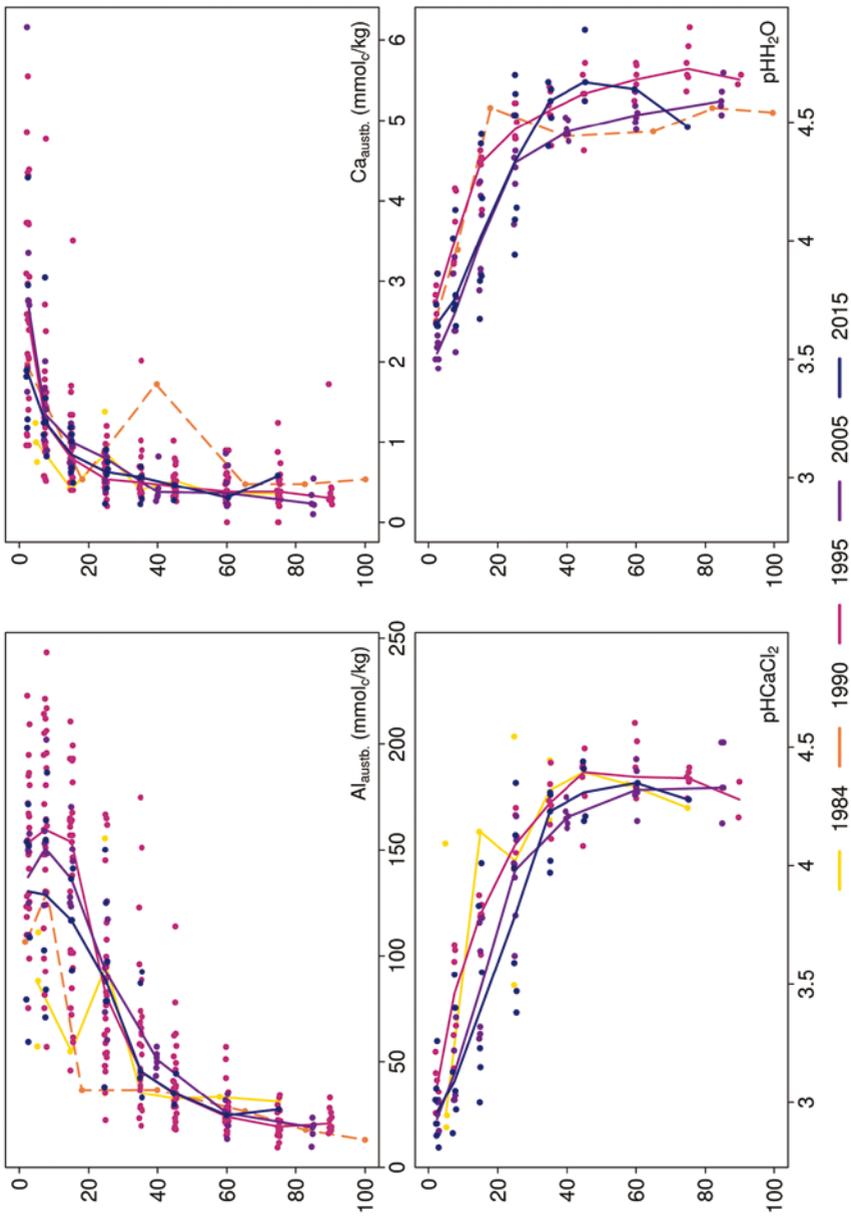
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 20 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 8 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1995 und 2005 hat die Basensättigung im Mineralboden weiter leicht abgenommen. Ab 2005 deutet sich insbesondere im Oberboden ein Trend zu steigenden Basensättigungswerten an.

Lange Bramke Südhäng

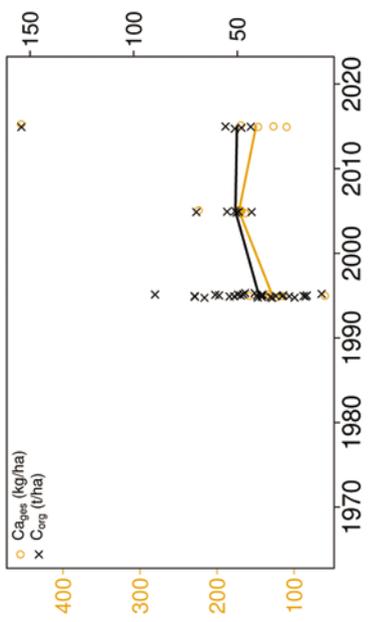
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



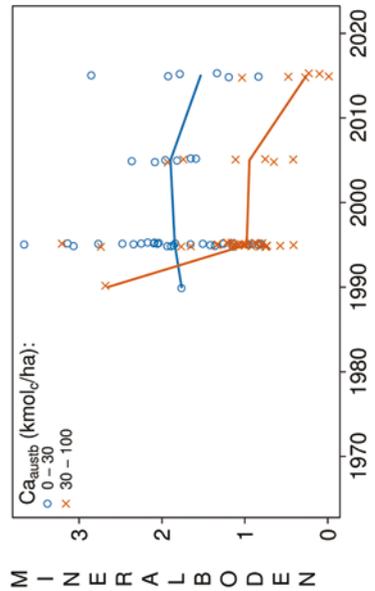
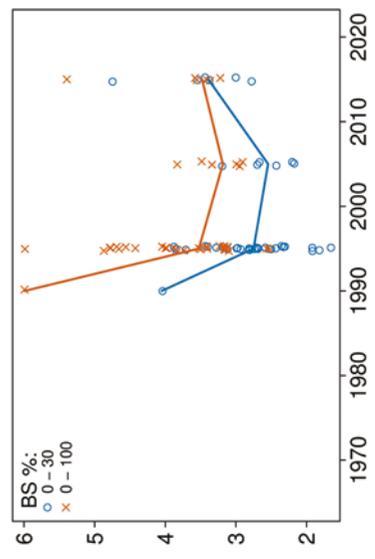
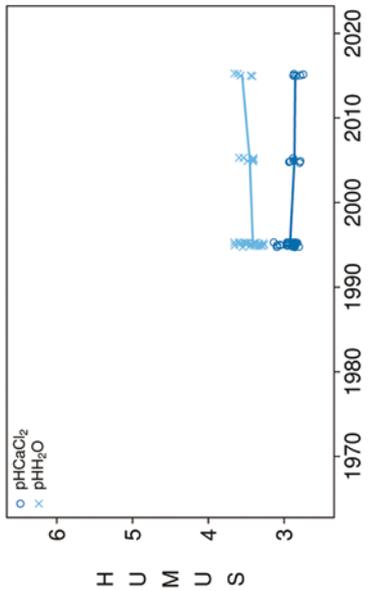


LBSH

Vorrats- und pH-Änderungen



Lange Bramke Südhang



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2015)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	13,36	0,10	22,42	1,85	0,84	0,20	0,39	0,24	0,108	2,53	21,62	12,41	10,80	342,52	29,00
5	10	14,57	0,09	25,56	1,93	0,89	0,36	0,38	0,19	0,084	4,25	23,17	10,88	13,30	309,55	28,96
10	20	17,89	0,09	28,53	2,06	1,06	0,75	0,39	0,20	0,104	8,41	27,92	11,74	18,74	310,14	42,72
20	30	20,54	0,11	30,82	2,24	1,27	1,06	0,39	0,24	0,124	11,46	30,37	13,08	27,43	171,72	53,57
30	40	22,35	0,14	32,76	2,28	1,52	1,12	0,38	0,30	0,131	14,71	30,64	14,46	40,37	47,05	70,91
40	50	17,27	0,18	29,40	2,15	1,62	1,35	0,32	0,21	0,116	16,70	22,32	14,31	44,07	14,95	60,69
50	70	14,62	0,19	29,03	2,17	1,49	1,31	0,34	0,18	0,087	14,56	20,95	14,18	42,47	10,28	56,73
70	80	15,63	0,17	29,38	2,19	1,52	0,94	0,35	0,27	0,072	10,32	22,05	12,85	43,49	8,02	60,93

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2015)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	37	25	25	15	40	52	14	16	20	34	27	19	30	20	24
5	10	41	33	26	13	45	66	15	26	21	70	30	26	41	40	41
10	20	41	47	19	13	45	57	11	32	44	72	28	31	56	42	66
20	30	28	50	19	11	32	75	11	28	41	57	18	23	55	50	50
30	40	12	36	8	10	19	23	9	27	18	16	15	14	27	65	22
40	50	18	24	6	10	14	14	9	33	7	4	8	8	6	24	29
50	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

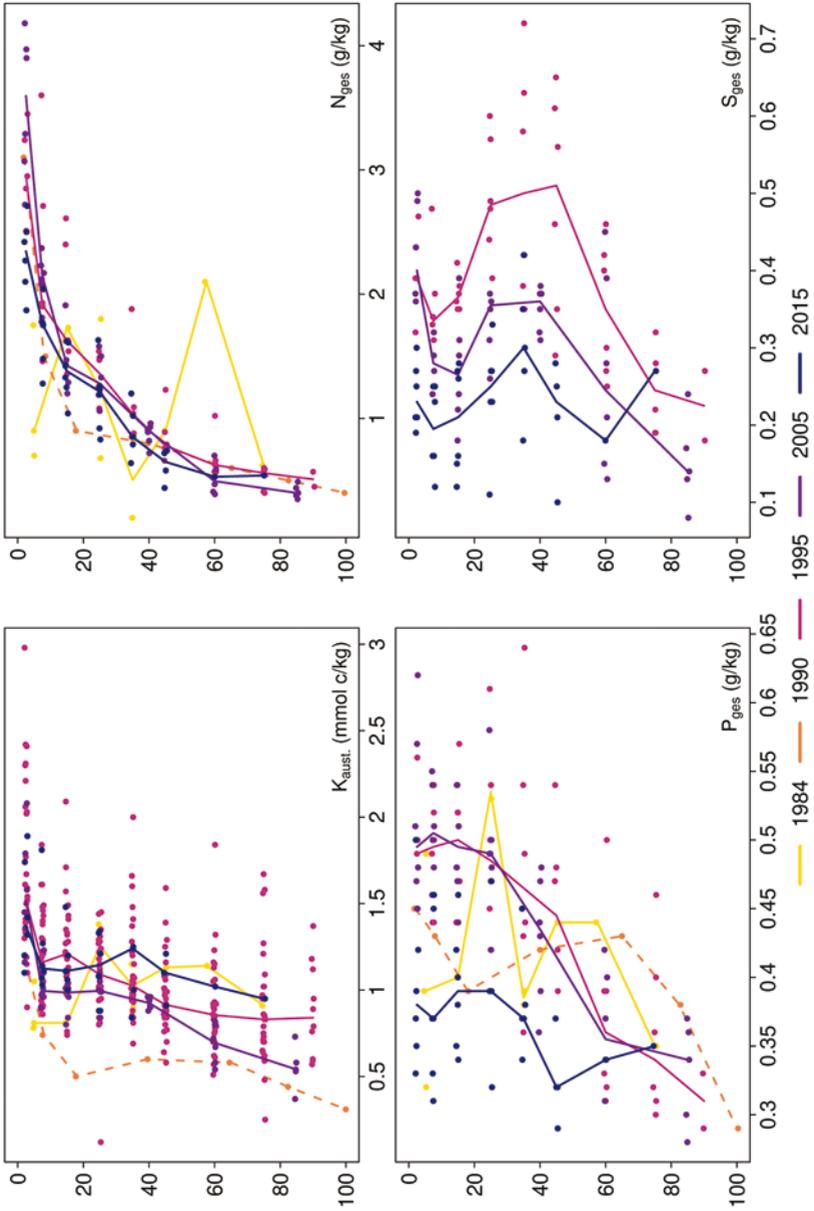
0-20 %

20-50 %

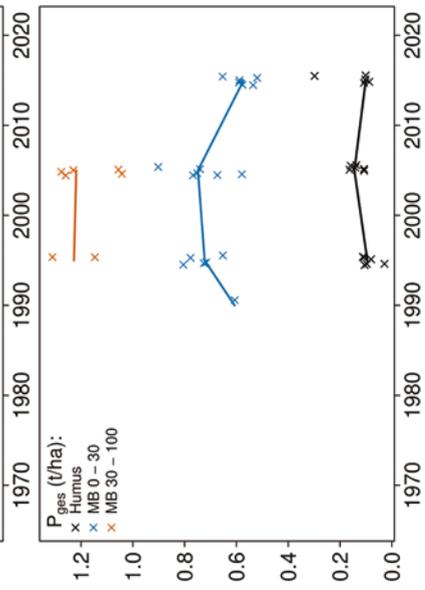
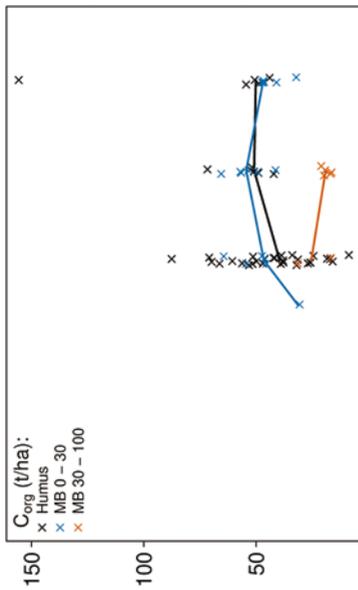
>50 %

Lange Bramke Südhang

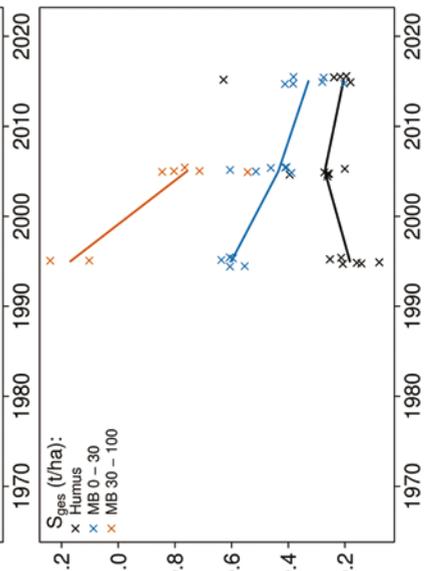
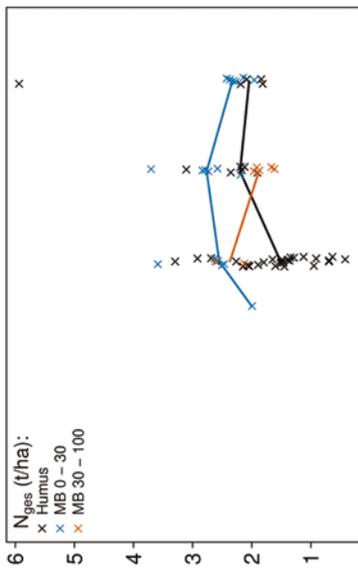
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Lange Bramke Südhang



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein Braunerde-Podsol, der sich aus sauren Magmatiten und Metamorphiten gebildet hat. Dieser sehr skelettreiche Boden weist hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine sehr starke Kontamination Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen zudem bis in 30 cm Tiefe über dem Vorsorgewert der BBodSchV und in 30-40 cm immer noch über dem halben Vorsorgewert. Für Nickel (Ni) überschreiten sie den halben Vorsorgewert ab 30 cm Tiefe.

In der Humusaufgabe sind die Pb-Gehalte fast sechsmal so hoch wie der kritische Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht. Und auch im Mineralboden, für den kritische Level bis in 10 cm Tiefe gelten, kommt es zu einer zwei- bis dreifachen Überschreitung dieses Werts.

LBSH

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für alle Schwermetalle über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021), wobei vor allem Pb durch sehr hohe Werte auffällt. Im Mineralboden werden sie für Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Ni und Pb überschritten.

Im Mineralboden liegen die Gehalte fast aller Schwermetalle bis in 1 m Tiefe im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen. Lediglich die Pb-Gehalte sind nur bis in 30 cm Tiefe sehr hoch und nehmen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich ab.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte von Cadmium (Cd), Cu, Ni, Pb und Zink (Zn) sehr hoch (oberes Quartil), und für Cr niedriger (Median – 75 %-Quartil).

Zwischen 1995 und 2005 haben die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusaufgabe zugenommen und zwischen 2005 und 2015 wieder auf das Niveau von 1995 abgenommen. Für den Mineralboden kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für 2015 Messwerte gibt. Die Humusaufgabe ist durch alle Schwermetalle kontaminiert, da ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Im Mineralboden sind die Gehalte aller Schwermetalle wegen des schwermetallhaltigen Ausgangsgesteins hoch und überschreiten für Pb sogar den kritischen Level und den Vorsorgewert der BBodSchV bis in 30 cm Tiefe. In der Humusaufgabe haben die Vorräte aller Schwermetalle zunächst zu- und dann wieder abgenommen. Eine Erklärung könnten die sehr hohen Humusvorräte an zwei Probennahmepunkten bei der Inventur 2005 sein, die bei den Inventuren in 1995 und 2015 nicht zu finden sind. Die Streuung der Humusvorräte ist auf diesem steilen Hang mit einer Neigung von 23° vergleichsweise hoch. Inwieweit eine Verlagerung in den Mineralboden stattgefunden hat, kann aufgrund der hohen Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs nur schwer festgestellt werden. Der Vergleich mit der benachbarten nordexponierten Fläche LBNH zeigt eine wesentlich geringere Belastung des Bodens dieser südexponierten Fläche, die sich insbesondere in den wesentlich niedrigeren Pb-Gehalten in der Humusaufgabe zeigt.

Bewertung Schwermetalle (2015)

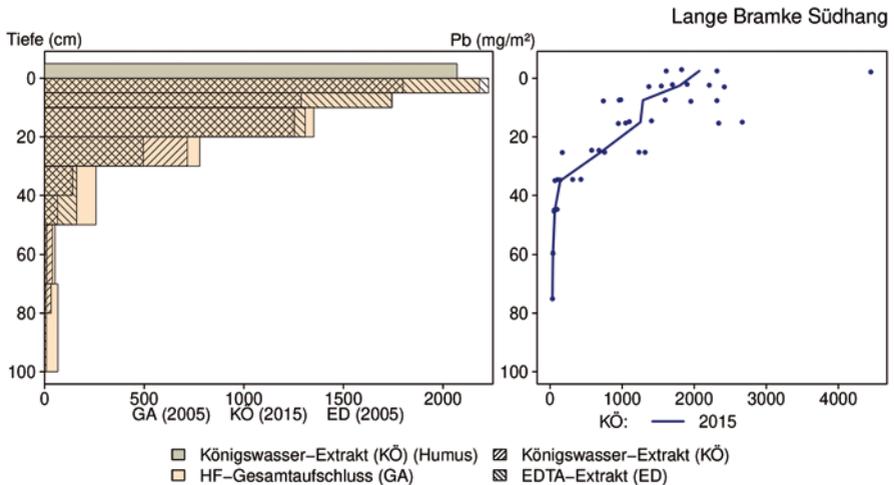
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,11	2,53	21,62	12,41	10,80	342,52	29,00
5	10	0,08	4,25	23,17	10,88	13,30	309,55	28,96
10	20	0,10	8,41	27,92	11,74	18,74	310,14	42,72
20	30	0,12	11,46	30,37	13,08	27,43	171,72	53,57
30	40	0,13	14,71	30,64	14,46	40,37	47,05	70,91
40	50	0,12	16,70	22,32	14,31	44,07	14,95	60,69
50	70	0,09	14,56	20,95	14,18	42,47	10,28	56,73
70	80	0,07	10,32	22,05	12,85	43,49	8,02	60,93
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

> Vorsorgewert

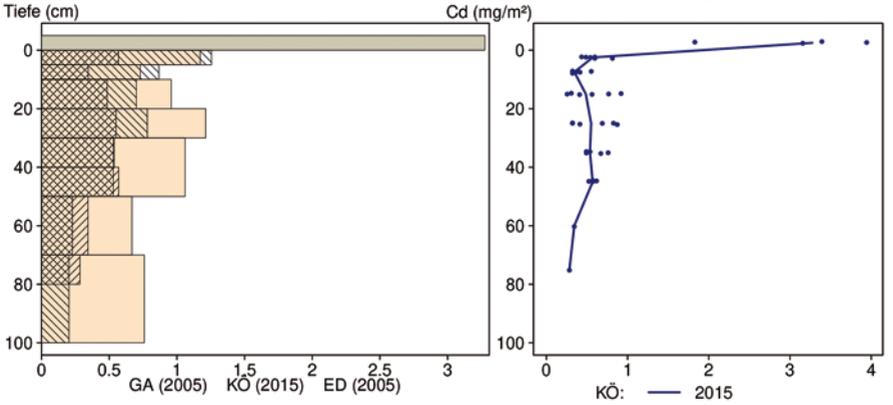
> 1/2 Vorsorgewert

LBSH

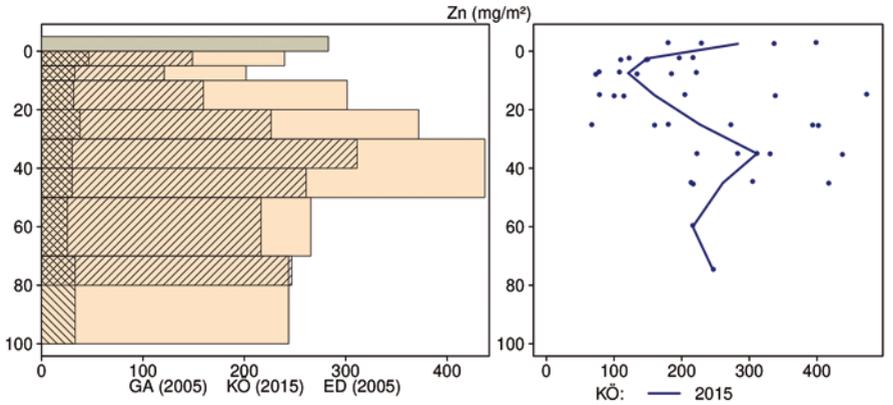
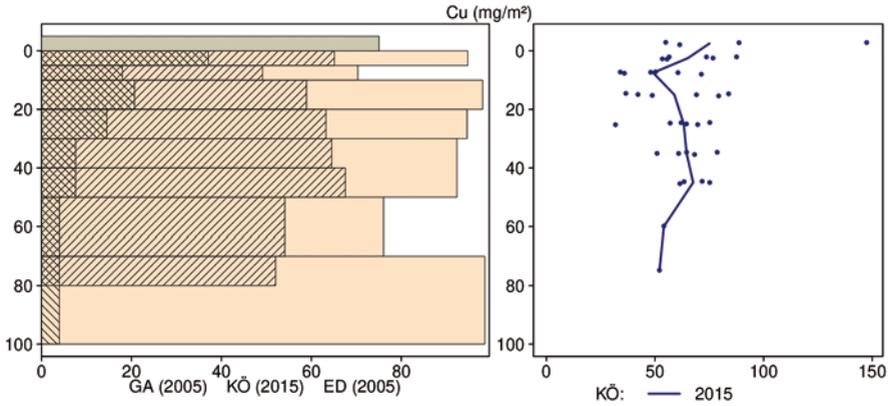
Schwermetallvorräte



Lange Bramke Südhang

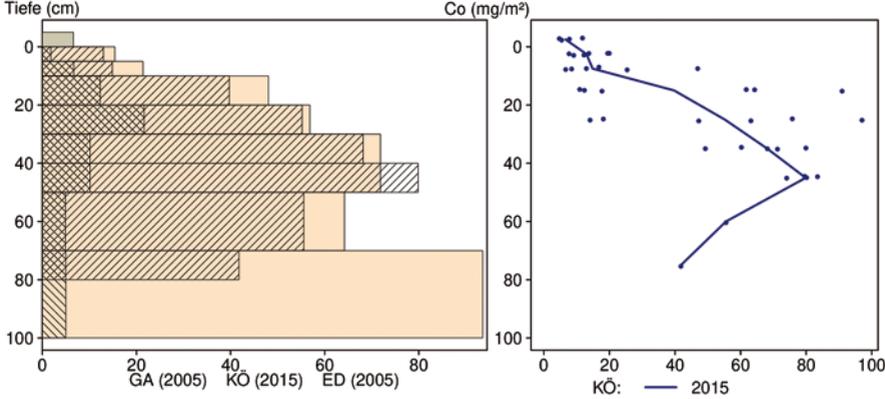


LBSH

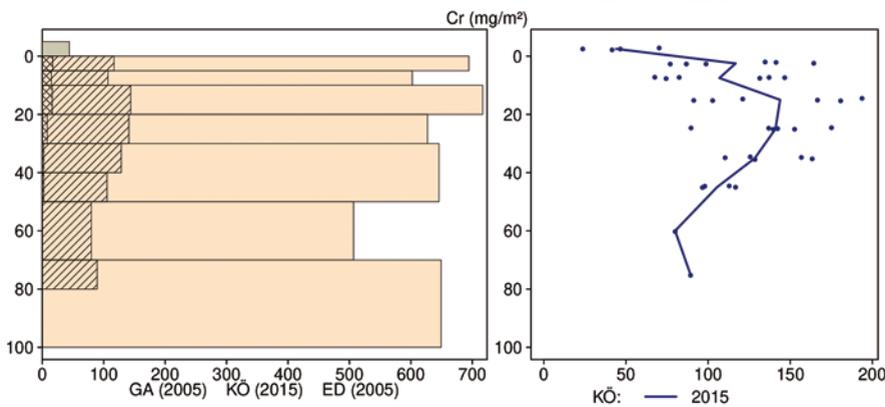
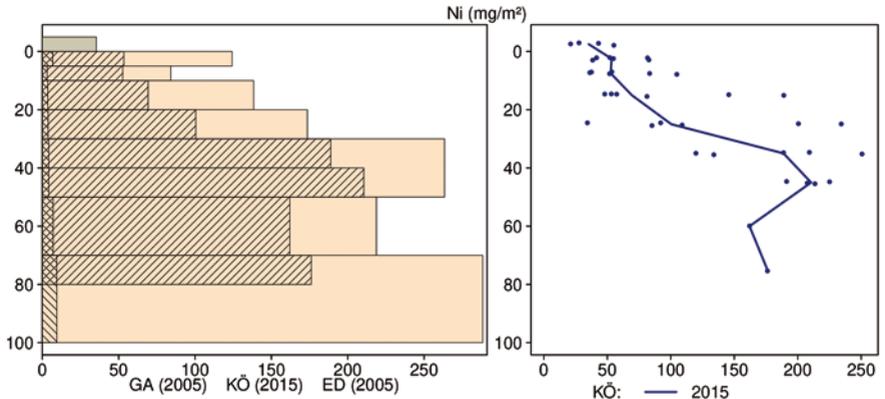


- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- ▨ EDTA-Extrakt (ED)

Lange Bramke Südhang



LBSH



Königwasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königwasser-Extrakt (KÖ)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 EDTA-Extrakt (ED)

12.17 Lüss Buche (LSBU)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Unterlüss 349j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Ostniedersächsischen Tiefland	585300	115/0/-		
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N			
Hohe Heide	5855200			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
schwach subatlantisch	816	815	360	353
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
schwach subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,2	9,3	14,7	15,7
Monitoringprogramme				
BDF-F 3 (Intensiv), Level II plot 301				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische und mikrobiologische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1995, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1995, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1995-2007, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Bodenrespiration				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviale Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		2-10 %, skeletttarm	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusreicher Rohhumus (ROR)	Podsol		Albic Podzol (Abruptic, Endoskeletal, Pantoarenic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
42.3.3.1	ziemlich frisch, mesotroph		112	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Rotbuche	Eiche		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
147	5,6/2,3		einmalige Durchforstung	
sonstiges: -				

LSBU

Profilbeschreibungen (nach KA5)

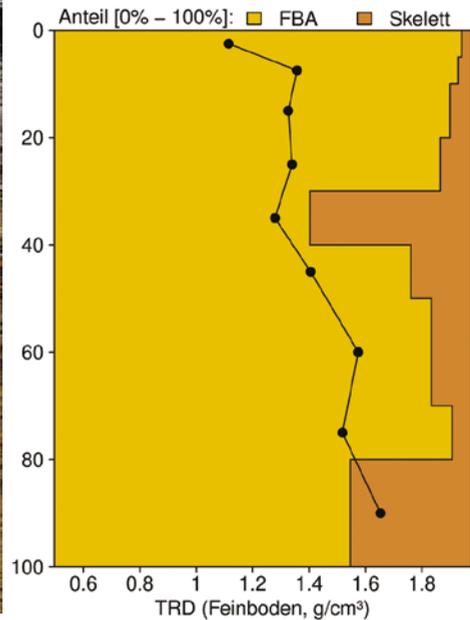
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-16 - -14	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,6
Of	-14 - -8	0	Vb	h7	Ld0	c0	13,2
Oh	-8 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	20,8
Ae	0 - 10	1	Su2	h1	Ld3	c0	10,9
Bsh	10 - 20	1	Su2	h2	Ld4	c0	11,9
IIBs	20 - 46	5	Su2	h1	Ld4	c0	24,7
IIBv-Cv	46 - 76	1	fSms	h0	Ld3	c0	41,6
IICv	76 - 90	55	fSms	h0	Ld4	c0	8,8
IIICv	90 - 100	1	fSms	h0	Ld3	c0	13,9
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							111,7
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							149,3

Melms 28.3.2017

LSBU



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2017

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	74,2	8,1	17,9	4,7	0,12	38,3	7,5	9,3	5,49	4,91
Of	-	-	90,6	16,6	53,2	15,5	0,62	25,3	26,3	60,3	4,49	3,39
Oh	-	-	33,9	21,5	44,7	21,0	0,91	23,1	30,0	112	3,81	2,80
0 - 5	12,9	19,6	12,9	5,5	23,4	18,9	0,74	25,6	44,8	93,9	3,90	3,04
5 - 10	9,9	17,6	9,1	3,3	14,6	10,7	0,37	29,0	42,3	59,3	3,89	3,20
10 - 20	7,4	42,4	15,4	5,2	27,1	19,6	0,68	28,9	95,8	101	4,06	3,50
20 - 30	8,1	31,7	11,8	3,6	24,4	12,9	0,44	29,0	106	89,0	4,48	3,99
30 - 40	9,1	14,1	5,6	1,7	12,1	5,1	0,04	129	59,8	44,1	4,61	4,21
40 - 50	9,8	18,2	7,2	2,1	18,0	4,9	0,06	76,2	100	60,7	4,66	4,26
50 - 70	11,4	31,9	15,0	3,6	36,0	5,4	0,06	89,1	181	96,3	4,68	4,27
70 - 80	12,6	13,0	6,2	1,5	16,4	1,5	0,02	78,8	90,6	38,4	4,78	4,27
80 - 100	13,0	20,5	10,8	2,2	26,3	2,1	0,03	60,9	175	62,2	4,81	4,27
100 - 150	14,5							77,7			4,90	4,26
150 - 200	20,7							46,9			5,00	4,22
Σ L-100cm		209	293	74,8	314	122	4,10		958	827		

LSBU

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Bestand aus Rotbuchen und Eichen stockt auf einem skelettarmen, tiefgründigen, armen Sandboden. Der Boden ist sehr homogen, was das AK/Corg-Verhältnis zeigt, das bei allen vier Inventuren eng zusammen liegt. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte ist, insbesondere im Unterboden, vergleichsweise groß, was auf die insgesamt niedrigen Gehalte zurückzuführen ist.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat war 2017 gering (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei weitem C/N-Verhältnis im Oberboden und sehr weitem Verhältnis in größerer Tiefe. Eine Veränderung der N- und Kohlenstoff (C)-Vorräte ist nicht festzustellen.

Die Calcium (Ca)-, Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräte waren 2017 gering. Aufgrund der großen Streuung der Ca- und Mg-Messwerte lässt sich für diese Elemente kein Trend erkennen, während die K-Vorräte im Mineralboden zwischen 2007 und 2017 leicht angestiegen sind.

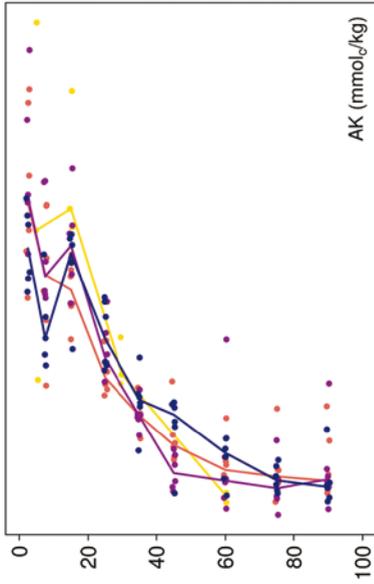
Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2017 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 958 t/ha im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1995 und 2017 zeigt sich kein Trend.

Für Schwefel (S) lag der Vorrat mit 827 kg/ha ebenfalls im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen, mit höheren Anteilen in 0-5 cm Tiefe. Wegen der hohen Streuung der Messwerte kann kein Trend festgestellt werden.

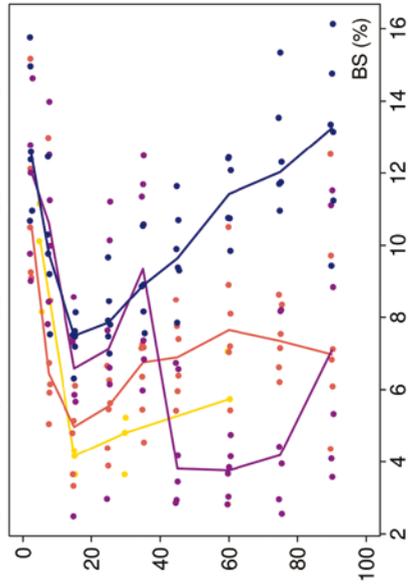
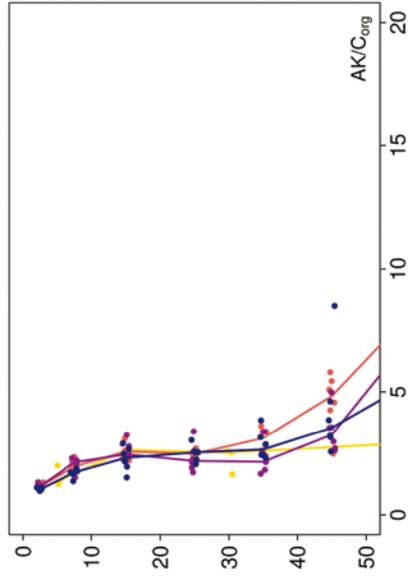
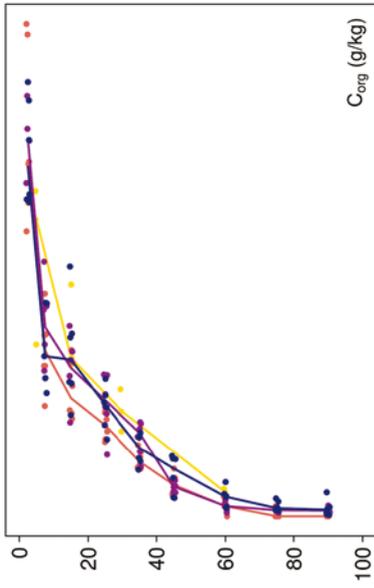
Säure-Base-Status und -Dynamik

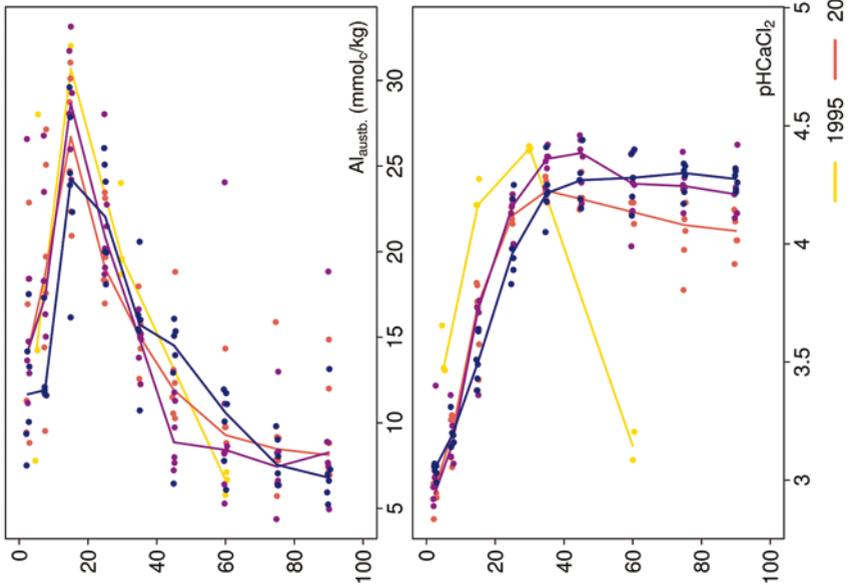
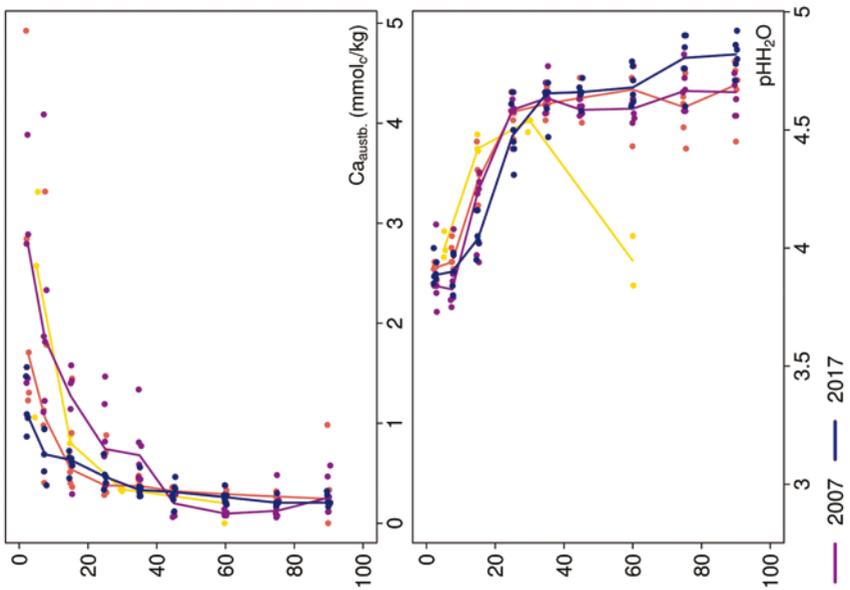
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 20 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 15 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1995 und 2017 zeigt sich eine leichte Zunahme der Basensättigung, was darauf hindeutet, dass die Versauerung nicht weiter voranschreitet oder sogar rückläufig ist.

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

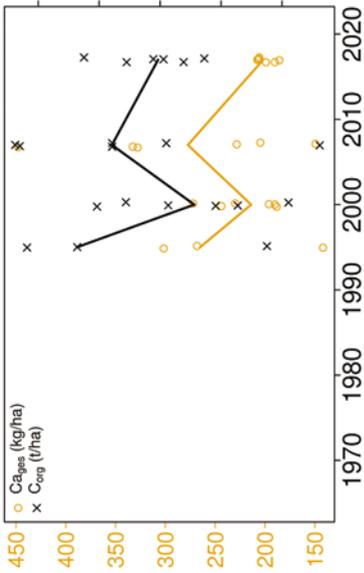


Löss Buche

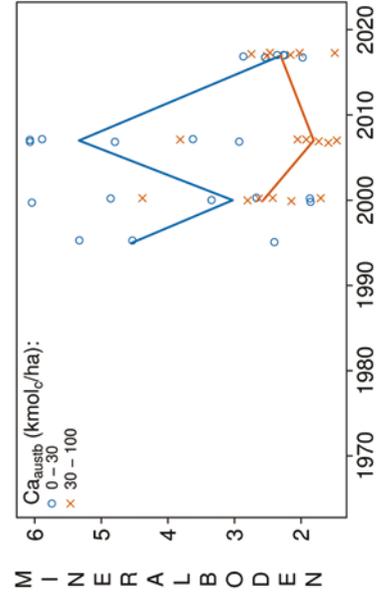
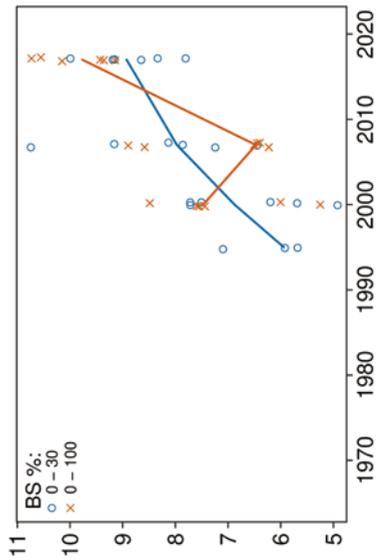
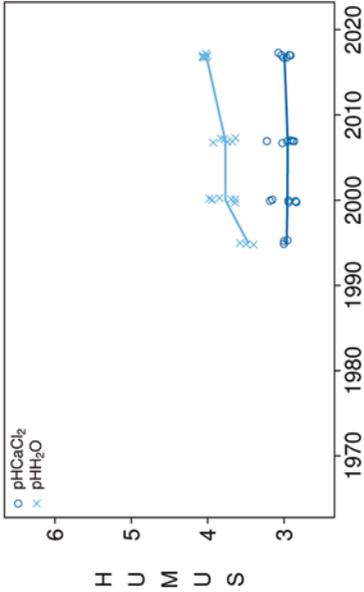




Vorrats- und pH-Änderungen



Löss Buche



Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2017)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	2,12	0,10	3,06	0,19	0,13	0,02	0,08	0,17	0,034	0,38	2,93	2,27	1,41	14,13	7,05
5	10	2,82	0,11	4,11	0,21	0,17	0,03	0,07	0,10	0,019	0,44	3,46	1,77	1,64	10,75	7,16
10	20	4,11	0,13	5,53	0,27	0,25	0,04	0,08	0,08	0,023	0,60	4,38	1,63	2,29	14,36	8,92
20	30	6,00	0,13	6,60	0,32	0,34	0,06	0,09	0,07	0,032	0,95	5,26	1,64	3,64	10,80	12,34
30	40	6,67	0,14	6,21	0,36	0,40	0,06	0,08	0,06	0,033	1,16	5,49	1,62	4,26	6,74	11,81
40	50	7,42	0,13	7,05	0,41	0,46	0,04	0,08	0,05	0,031	1,36	6,04	2,12	5,21	5,12	14,09
50	70	6,31	0,08	5,21	0,40	0,37	0,04	0,06	0,03	0,018	1,39	5,24	1,68	4,70	3,51	10,64
70	80	5,56	0,08	4,98	0,38	0,34	0,04	0,06	0,03	0,018	1,50	4,77	1,64	4,09	3,17	9,43
80	100	5,42	0,11	5,78	0,38	0,38	0,05	0,07	0,03	0,021	1,61	4,67	1,99	4,29	3,29	10,11
100	150	6,24	0,17	6,30	0,47	0,48	0,11	0,09	0,04	0,036	2,11	4,83	3,48	4,85	3,15	10,69
150	200	4,45	0,11	4,88	0,41	0,37	0,06	0,07	0,02	0,022	1,58	4,14	2,39	3,35	2,59	7,87

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (geseibte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2017)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	26	26	23	18	24	14	15	16	29	20	17	10	23	15	14
5	10	31	26	33	23	30	30	27	28	29	20	21	29	35	32	30
10	20	23	30	18	20	23	26	17	19	19	27	18	26	25	18	22
20	30	23	31	23	19	29	34	20	18	25	28	15	34	28	20	24
30	40	18	44	18	20	27	31	11	8	14	27	13	29	23	21	31
40	50	21	41	30	14	25	24	23	18	29	22	14	42	26	32	26
50	70	22	39	24	26	29	18	16	34	15	19	11	33	27	23	24
70	80	24	44	33	20	36	42	29	35	37	31	26	33	30	27	37
80	100	39	76	69	31	70	55	63	68	61	42	44	64	51	51	62
100	150	36	73	36	7	36	76	50	65	78	44	18	56	44	31	33
150	200	28	51	36	25	38	35	42	42	30	39	18	59	31	26	35

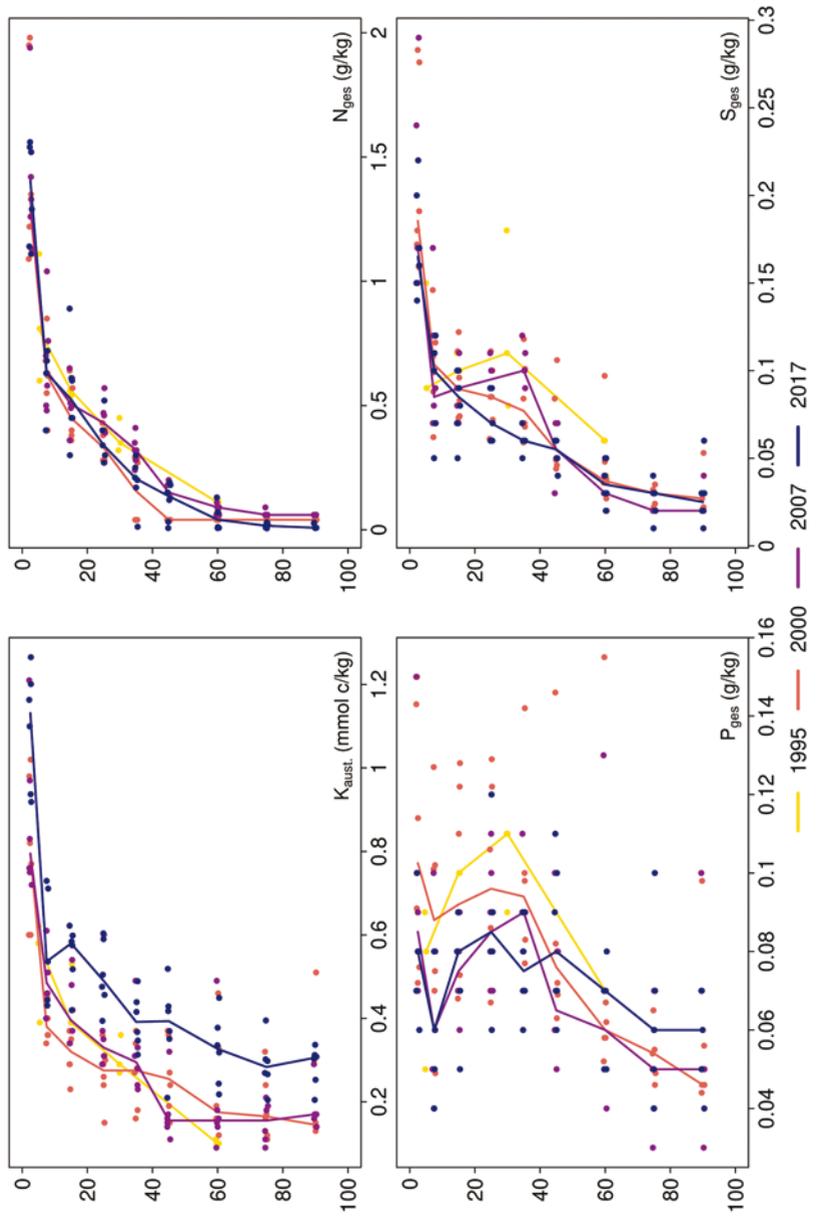
0-20%

20-50%

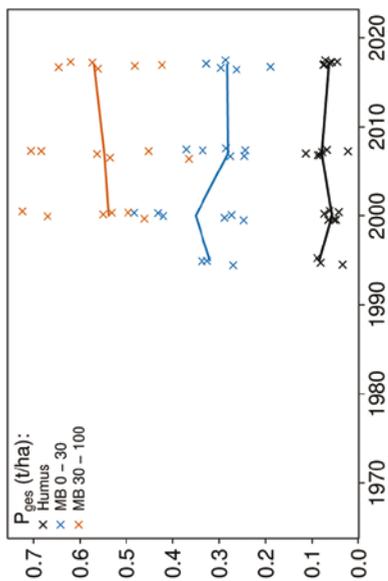
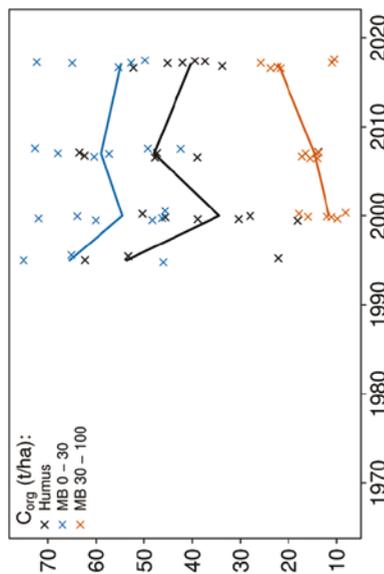
>50%

Löss Buche

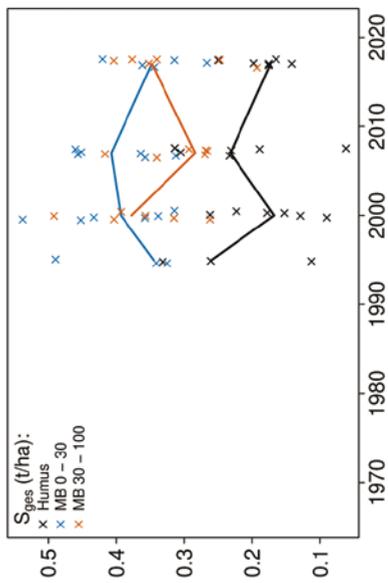
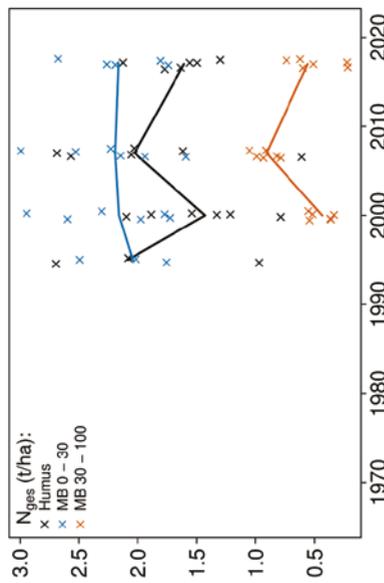
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Löss Buche



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein Podsol, der sich aus eiszeitlichen fluvialen Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand gebildet hat. Dieser skelettarme Boden weist niedrige Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine leichte Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

In der Humusaufgabe überschreiten die Pb-Gehalte zudem den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden nicht überschritten.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Pb und Zink (Zn) über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie nicht überschritten.

Im Mineralboden liegen die Pb-Gehalte bis in 20 cm Tiefe über dem Median der Gehalte aller Flächen und nehmen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich auf sehr niedrige Werte ab. Die Kobalt (Co)- und Nickel (Ni)-Gehalte sind im Oberboden sehr niedrig und nehmen mit zunehmender Tiefe zu. Für Cd-, Chrom (Cr)-, und Zn sind sie im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe, mit Ausnahme der Tiefenstufe 20-50 cm, sehr niedrig. In dieser Tiefenstufe liegt eine deutlich schwermetallreichere Schicht. Die Cu-Gehalte, die im 2. Quartil liegen, zeigen keine Tiefendynamik.

In der Humusaufgabe sind die Cd- und Pb-Gehalte sehr hoch, während sie für alle anderen Schwermetalle niedrig sind.

Zwischen 1995 und 2007 zeigt sich in der Humusaufgabe kein einheitlicher Trend. Eine deutliche Abnahme aller Schwermetall-Vorräte zeigt sich erst im Zeitraum von 2007 bis 2017. 2017 waren die Vorräte an Cd, Co und Ni weniger als halb so hoch, die Cu- und Zn-Vorräte betragen nur noch ein Drittel und die Pb-Vorräte nur noch ein Viertel der zu Beginn des Untersuchungszeitraums gemessenen Werte. Für den Mineralboden kann nur für den Zeitraum 2007 bis 2017 eine Aussage gemacht werden, da es nur für diesen Zeitraum Messwerte gibt. In 0-5 cm Tiefe haben die Vorräte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Pb abgenommen, während dieser Trend in 5-10 cm Tiefe nur für Cd, Co, Cr und Ni zu sehen ist.

Die Humusaufgabe ist durch Cd und Pb, in geringem Maße auch durch Cu und Zn kontaminiert. Insgesamt haben die Schwermetall-Vorräte jedoch in der letzten Untersuchungsperiode (2007-2017) deutlich abgenommen. Eine Verlagerung aus der Humusaufgabe in den Mineralboden zeigt sich in den im Vergleich zu den Gehalten im Unterboden viel höheren Pb-Werten bis in 20 cm Tiefe und in höheren Cd- und Cu-Gehalten in 0-5 cm Tiefe sowie in der Abnahme der Vorräte in der Humusaufgabe.

Bewertung Schwermetalle (2017)

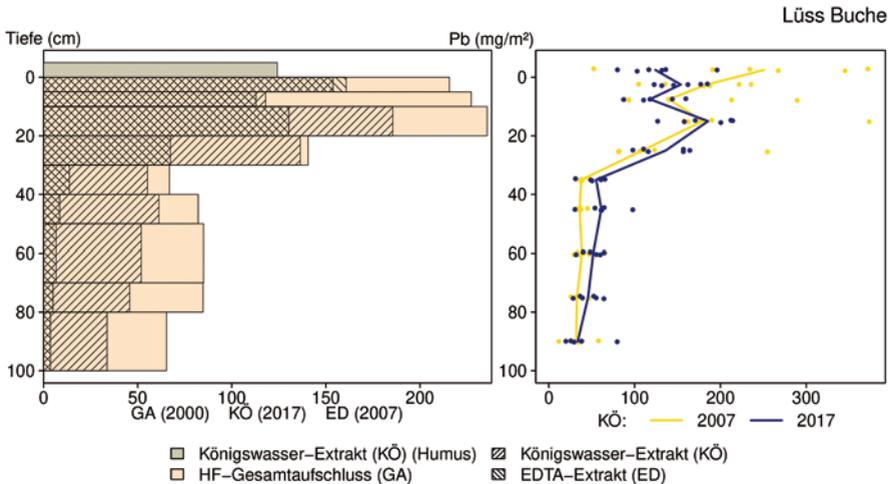
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,03	0,38	2,93	2,27	1,41	14,13	7,05
5	10	0,02	0,39	3,18	1,61	1,44	9,43	6,37
10	20	0,02	0,60	4,38	1,63	2,29	14,36	8,92
20	30	0,03	0,95	5,26	1,64	3,64	10,80	12,34
30	40	0,03	1,16	5,49	1,62	4,26	6,74	11,81
40	50	0,03	1,36	6,04	2,12	5,21	5,12	14,09
50	70	0,02	1,39	5,24	1,68	4,70	3,51	10,64
70	80	0,02	1,50	4,77	1,64	4,09	3,17	9,43
80	100	0,02	1,61	4,67	1,99	4,29	3,29	10,11
100	150	0,04	2,11	4,83	3,48	4,85	3,15	10,69
150	200	0,02	1,58	4,14	2,39	3,35	2,59	7,87
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

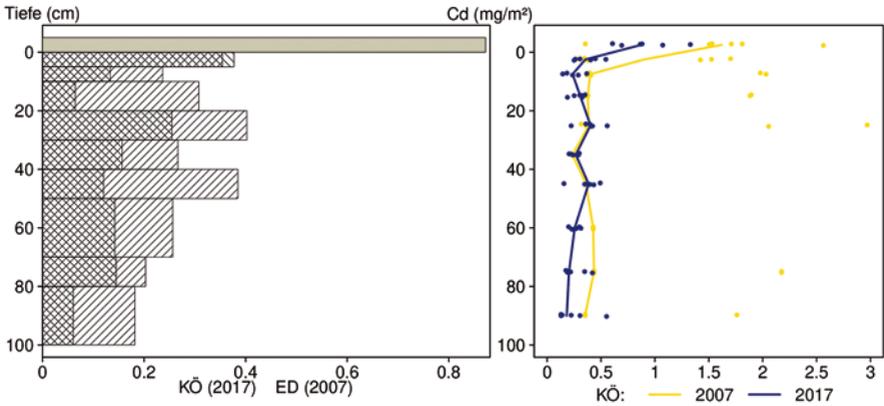
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

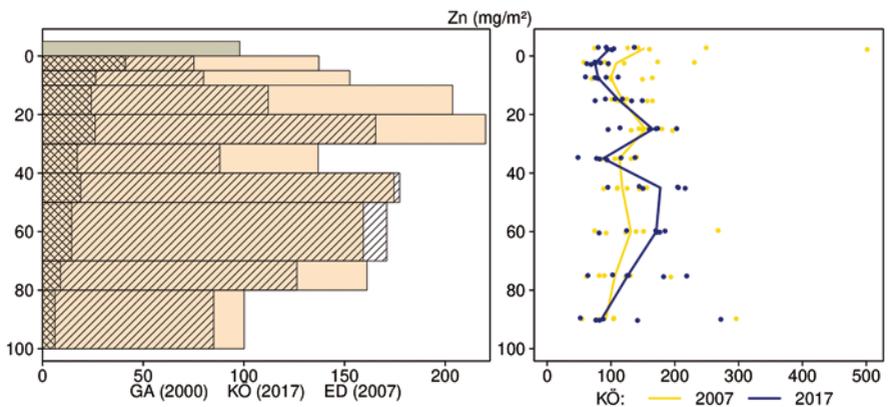
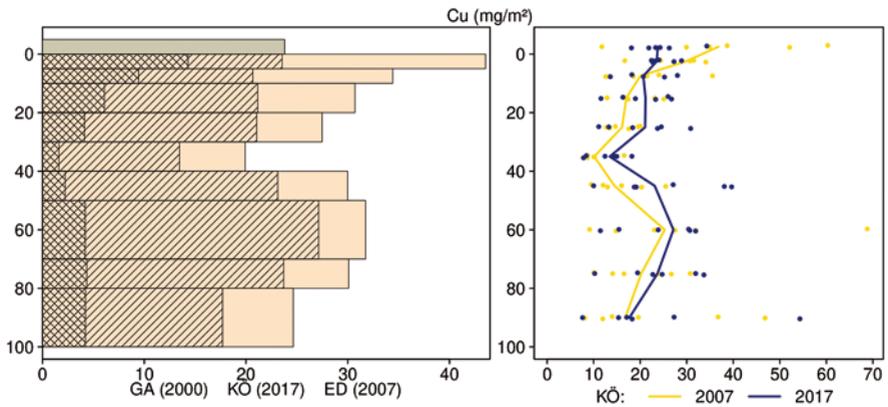
LSBU

Schwermetallvorräte

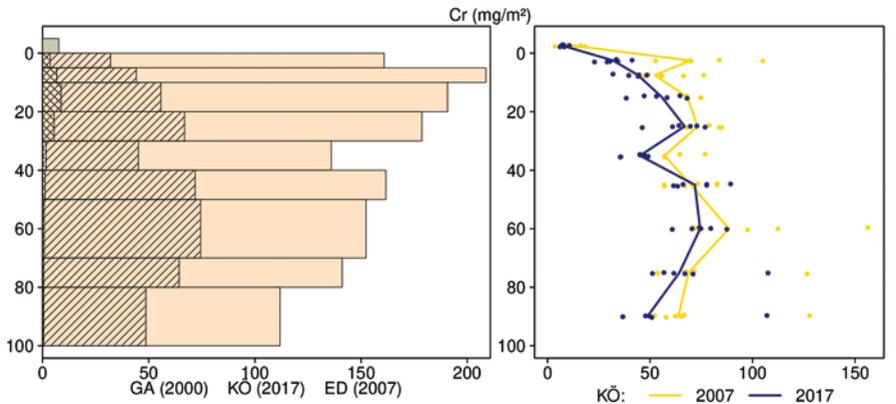
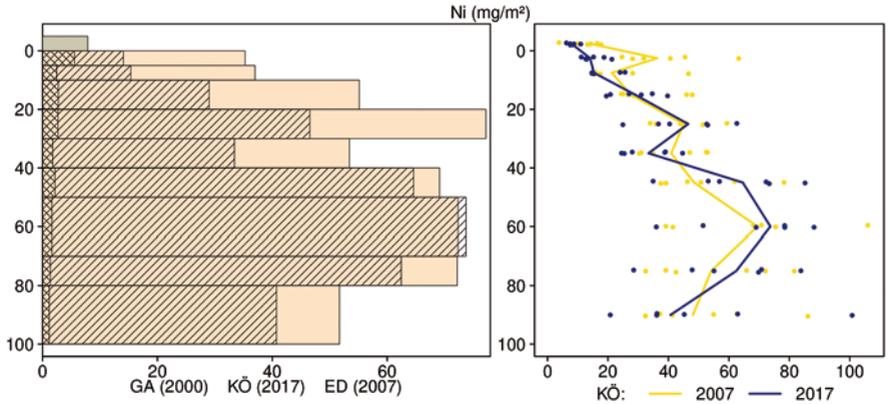
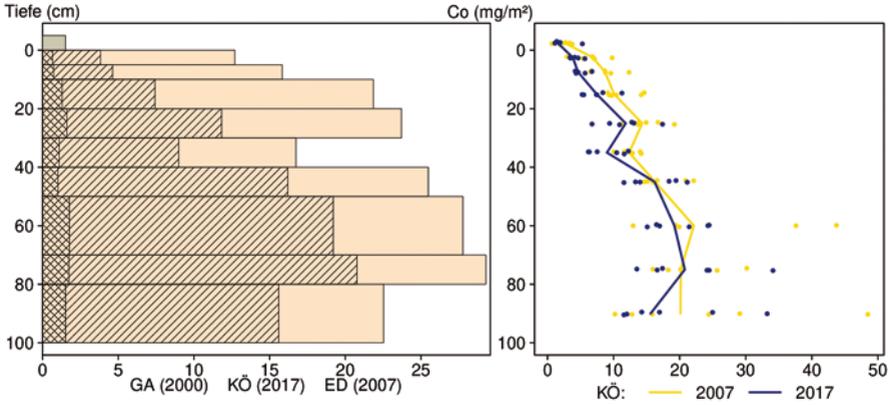




LSBU



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)

12.18 Nedlitz Kiefer (NEKI)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Anhalt 1260a3		Sachsen-Anhalt		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Hoher Fläming	727000			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	113 (110-115)/1/WNW		
Nedlitzer Flämingrandplatte	5772200			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
mäßig subkontinental	601	623	284	313
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subkontinental	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	8,6	9,6	15,6	16,6
Monitoringprogramme				
Level II Core plot 1501, BDF 11 Sachsen-Anhalt				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 2009, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
–				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, LAI, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
eiszeitliche fluviale Ablagerungen aus Mittel- und Feinsand	Böden aus basenarmem Lockergestein		<5 %, sehr skelettarm	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer Moder (MOT)	Braunerde, stark podsolig		Albic Podzol (Pantoarenic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
NeS77, TM2	ziemlich frisch, mesotroph		122	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	–			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Kiefer	Eiche		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
70	5,5/-0,4		mäßige Hochdurchforstung	
sonstiges: –				

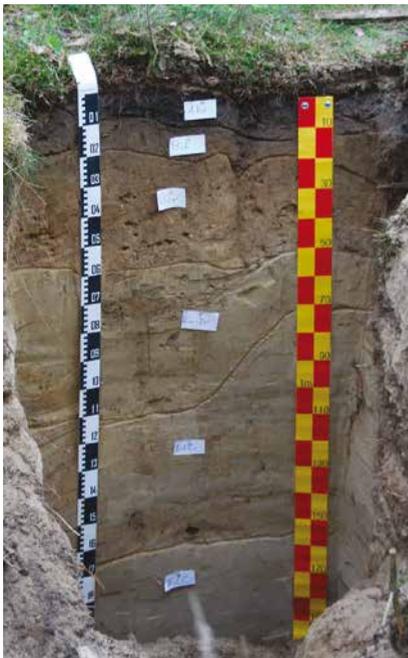
NEKI

Profilbeschreibungen (nach KA5)

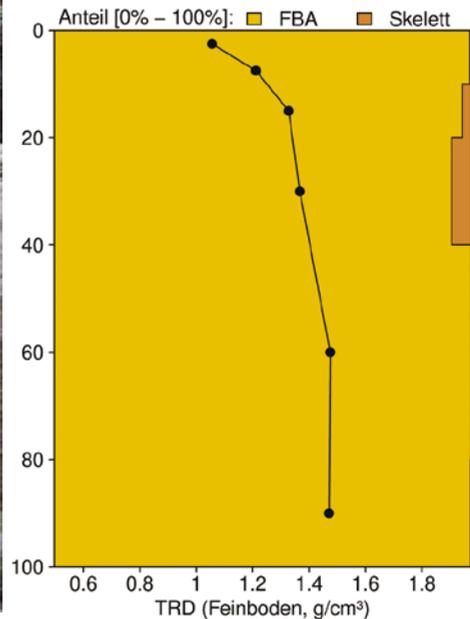
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-6.7 - -5.5	0	Vn	h7	Ld0	c0	2,2
Of	-5.5 - -2.1	0	Vn	h7	Ld0	c0	7,5
Oh	-2.1 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	5,5
Aeh	0 - 13	0	Su2	h4	Ld1	c0	24,7
Bhsv	13 - 21	0	Su2	h3	Ld2	c0	12,8
Bsv	21 - 60	4	Su2	h1	Ld2	c0	48,7
Cv-Bv	60 - 110	2	mSgs	h1	Ld1	c0	44,1
IIilCv	110 - 168	0	mSgs	h0	Ld1	c0	52,2
IIilCv	168 - 200	0	mSgs	h0	Ld1	c0	28,8
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							121,5
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							136,6

Beisecker 4.5.2009

NEKI



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2019

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	63,2	7,2	14,7	6,7	0,18	36,8	10,0	16,0	4,44	3,81
Of	-	-	92,3	11,8	24,2	18,1	0,65	27,9	28,3	75,3	3,68	3,02
Oh	-	-	36,7	18,3	30,2	12,4	0,52	23,6	29,2	73,1	3,53	2,95
0 - 5	8,0	26,3	19,8	2,6	12,6	19,4	0,83	23,4	65,0	111	3,94	3,26
5 - 10	7,5	20,8	11,9	1,7	9,7	14,1	0,58	24,2	61,5	73,1	4,18	3,55
10 - 20	7,1	37,0	20,0	2,8	16,3	17,9	0,73	24,5	158	120	4,60	4,07
20 - 30	8,4	24,3	13,3	1,7	13,0	13,3	0,55	24,2	186	115	4,73	4,36
30 - 40	8,9	18,6	10,6	1,5	10,7	11,1	0,48	23,2	173	119	4,69	4,42
40 - 50	10,2	13,8	5,9	1,2	10,2	6,1	0,28	21,7	143	114	4,65	4,47
50 - 70	11,4	13,5	7,0	1,3	9,4	3,3	0,15	22,9	103	67,0	4,70	4,49
70 - 80	13,2	16,6	9,9	1,4	9,9	1,1	0,06	19,6	55,0	22,3	4,90	4,49
80 - 100	19,3	13,3	17,0	3,8	12,7	1,4	0,09	16,8	84,7	27,9	5,00	4,47
100 - 150	16,0							12,7			4,94	4,37
150 - 200	16,3							4,9			5,08	4,45
Σ L-100cm		184	308	55,4	174	125	5,10		1097	934		

NEKI

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Der Kiefern-Reinbestand stockt auf einem skelettarmen, tiefgründigen, schwach schluffigen, armen Sandboden. Der Boden ist sehr homogen, was das AK/Corg-Verhältnis zeigt, das bei beiden Inventuren eng zusammen liegt. Die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte ist mit Variationskoeffizienten von bis zu 50 % vergleichsweise groß, was auf die insgesamt sehr niedrigen Gehalte zurückzuführen ist.

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Vorräte waren 2019 gering (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei weitem bis mäßig weitem C/N-Verhältnis im gesamten Profil. Zwischen 2009 und 2019 verdoppelten sich die C- und N-Vorräte in der Humusaufgabe und stiegen im Oberboden ebenfalls leicht an. Im Unterboden haben sie sich nur wenig verändert.

Die Calcium (Ca)- und Magnesium (Mg)-Vorräte waren 2017 gering, der Kalium (K)-Vorrat sehr gering. Die Ca-, Mg- und K-Vorräte haben in der Humusaufgabe stark zugenommen, im Mineralboden nahmen sie für Ca leicht ab und veränderten sich für Mg und K nur wenig.

Der Phosphor (P)-Vorrat lag 2019 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mit 1097 t/ha im unteren Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 2009 und 2019 ist der P-Vorrat in der Humusaufgabe und im Mineralboden bis in 60 cm Tiefe leicht angestiegen.

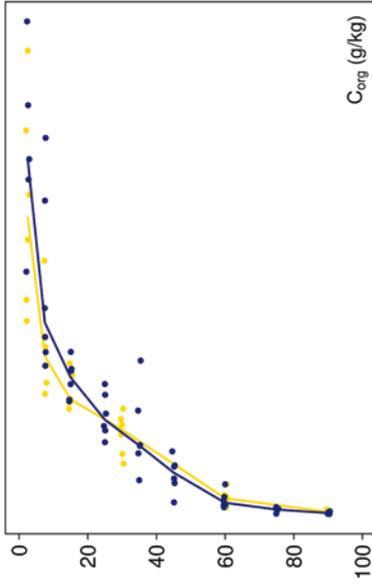
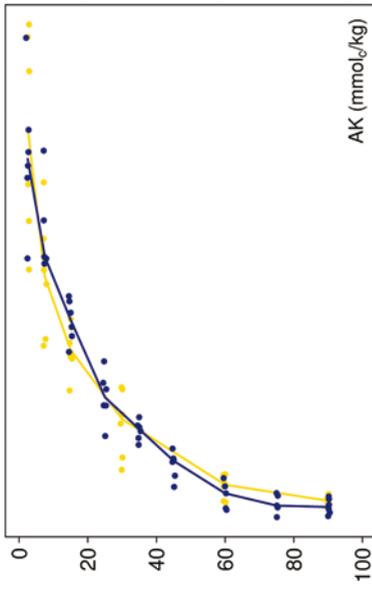
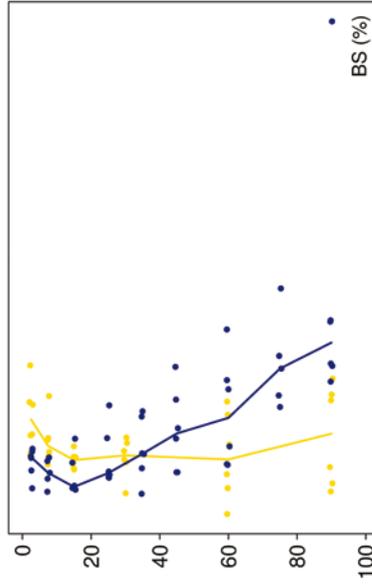
Für Schwefel (S) lag der Vorrat 2019 mit 934 kg/ha zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median der Vorräte aller Flächen, mit hohen Anteilen bis in 40 cm Tiefe. In der Humusaufgabe und im Mineralboden zeigt sich bis in 60 cm Tiefe ein leichter Aufwärtstrend.

Säure-Base-Status und -Dynamik

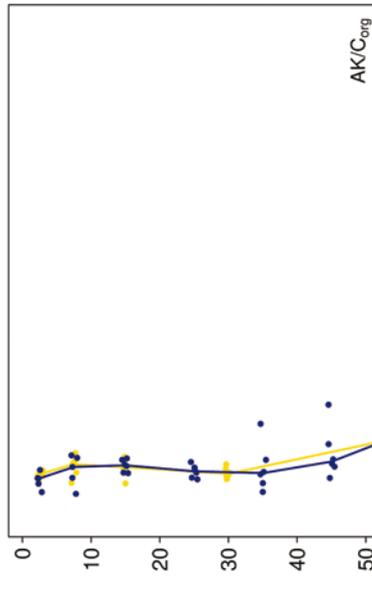
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 15 % durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Während die pH-Werte und die Basensättigung im Oberboden leicht abgenommen haben, deutet sich im Unterboden ein leichter Anstieg an.

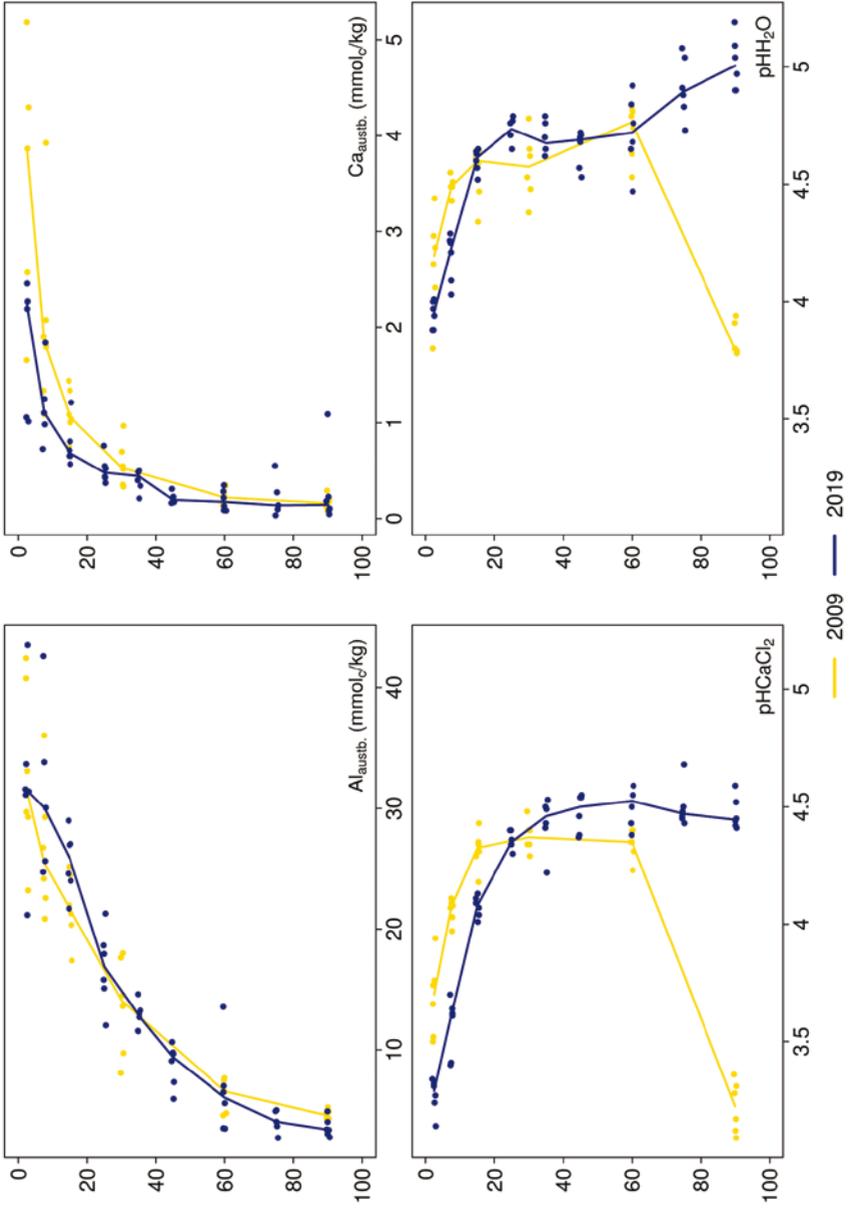
Nedlitz Kiefer

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

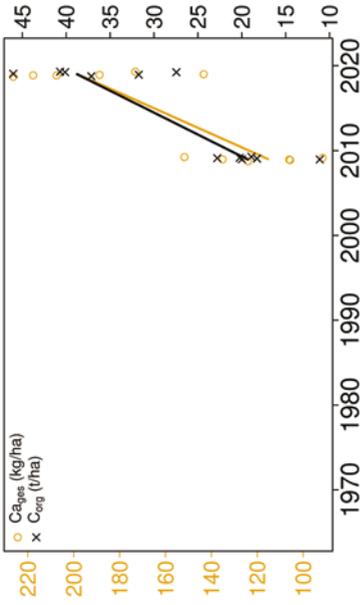
AK (mmol_e/kg) C_{org} (g/kg)

BS (%)

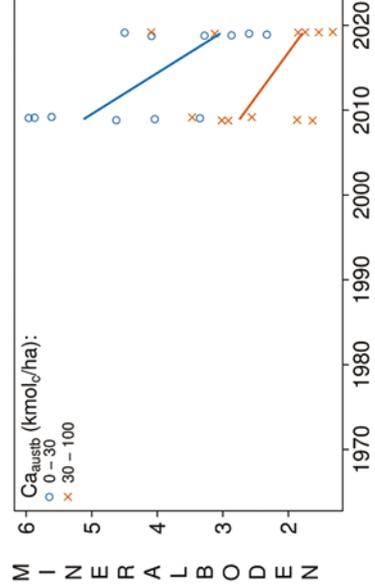
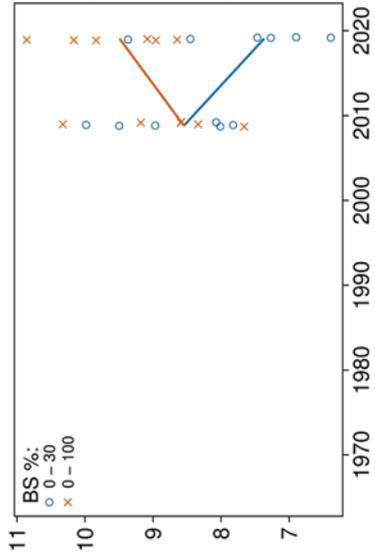
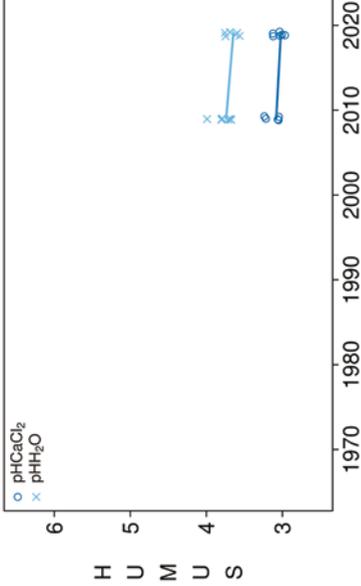
AK/ C_{org} 



Vorrats- und pH-Änderungen



Nedlitz Kiefer



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2019)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	3,55	0,15	3,45	0,20	0,26	0,02	0,12	0,21	0,048	0,59	3,97	3,95	2,02	38,92	10,54
5	10	4,21	0,14	3,54	0,21	0,31	0,04	0,10	0,12	0,030	0,61	3,76	1,89	1,95	26,25	10,28
10	20	5,43	0,13	3,27	0,20	0,32	0,07	0,12	0,09	0,029	0,77	3,50	1,25	2,19	13,53	10,86
20	30	6,33	0,13	3,14	0,21	0,33	0,04	0,14	0,09	0,026	0,81	3,44	1,08	2,44	5,31	10,86
30	40	6,25	0,12	3,08	0,22	0,34	0,03	0,13	0,09	0,021	0,87	3,40	1,04	2,44	3,62	10,57
40	50	4,92	0,11	2,57	0,20	0,29	0,03	0,10	0,08	0,016	0,77	2,79	0,92	1,95	2,46	8,24
50	70	2,85	0,09	2,04	0,20	0,23	0,02	0,06	0,04	0,009	0,65	2,22	0,76	1,36	1,66	4,88
70	80	1,79	0,07	2,20	0,19	0,16	0,02	0,03	0,02	0,009	0,59	1,89	0,79	1,20	1,28	2,90
80	100	1,58	0,08	1,56	0,19	0,16	0,02	0,04	0,01	0,008	0,57	1,82	0,61	0,96	1,16	2,53
100	150	1,42	0,07	1,46	0,19	0,14	0,02	0,02	0,01	0,008	0,57	1,76	0,60	0,96	1,24	2,25
150	200	1,25	0,06	1,31	0,18	0,12	0,02	0,02	0,01	0,008	0,55	1,61	0,55	0,92	0,98	2,06

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2019)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	23	21	19	16	25	32	19	24	40	22	19	19	28	19	24
5	10	22	13	15	13	21	42	17	20	35	21	16	12	22	9	20
10	20	20	13	16	15	23	35	20	17	25	20	16	10	22	14	23
20	30	19	17	13	9	19	43	26	22	17	15	11	4	15	20	22
30	40	24	19	13	10	16	32	34	38	33	13	10	8	15	14	26
40	50	31	23	21	12	24	30	34	51	30	21	21	16	25	23	33
50	70	29	27	29	23	33	23	24	53	22	24	28	32	29	25	35
70	80	21	25	57	22	27	26	31	45	25	20	22	50	36	18	29
80	100	16	16	21	24	25	25	7	17	2	25	20	24	25	17	26
100	150	12	18	11	11	13	8	17	37	2	3	15	11	14	22	13
150	200	10	16	16	10	15	13	10	14	2	11	15	16	7	13	16

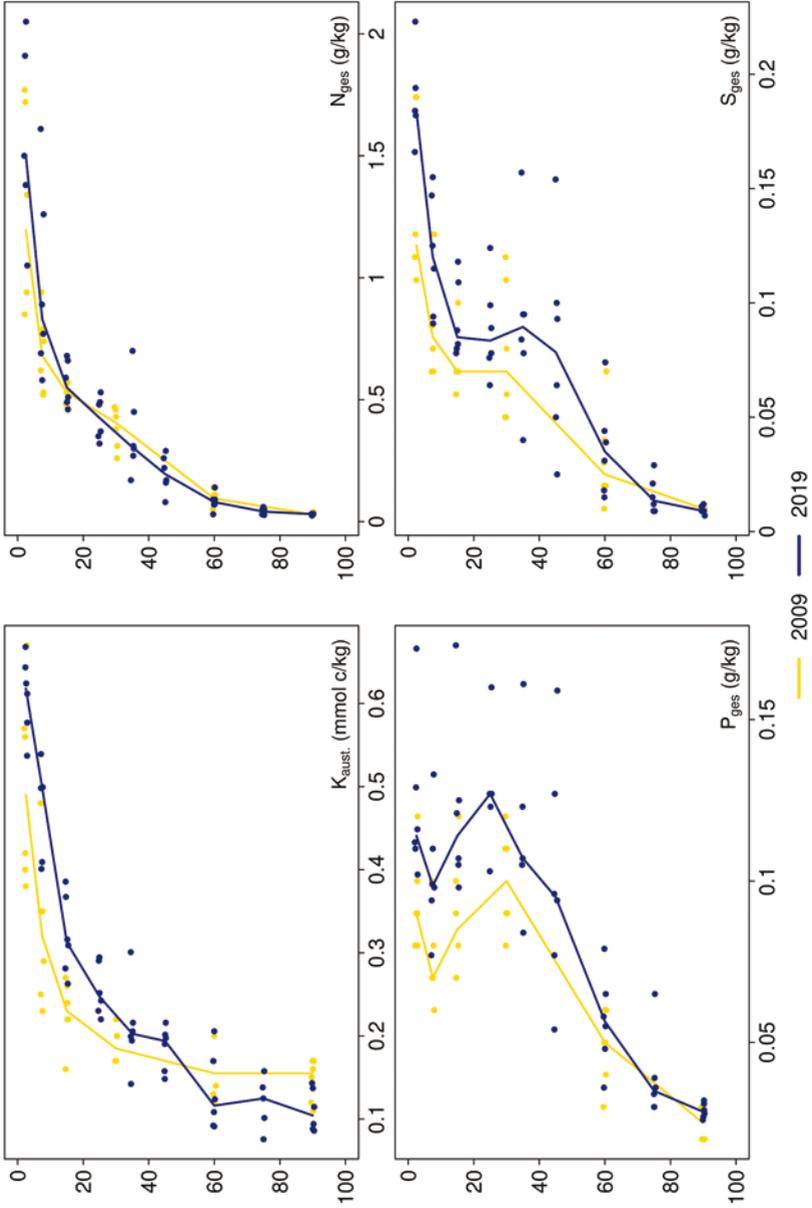
0-20 %

20-50 %

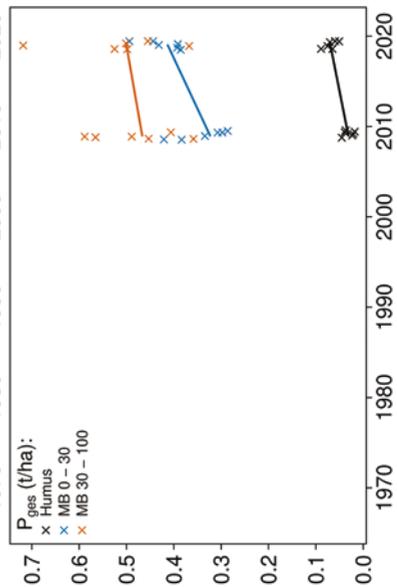
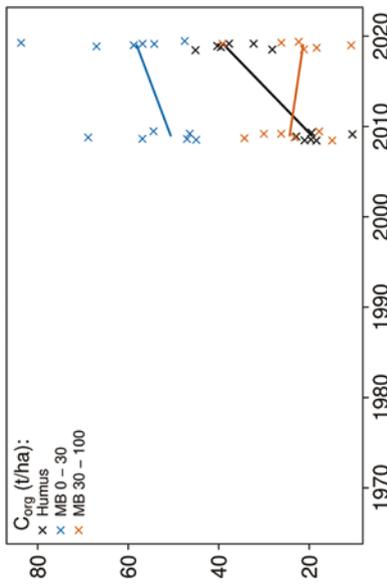
>50 %

Nedlitz Kiefer

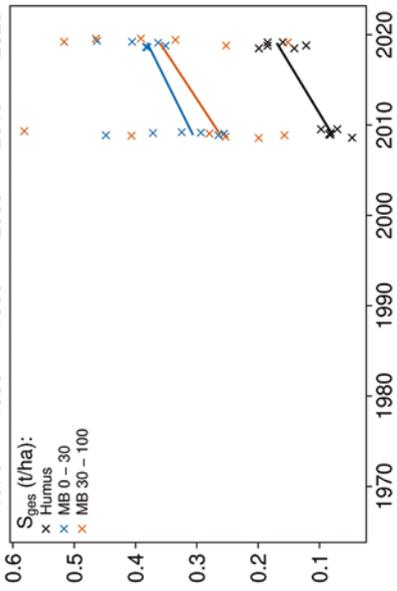
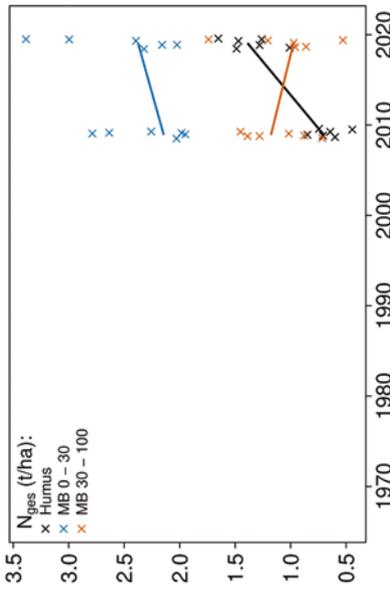
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



Vorratsänderungen (t/ha)



Nedlitz Kiefer



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist ein reiner Sandboden mit niedrigen Schwermetall-Gehalten geogenen Ursprungs.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt für Blei (Pb) eine starke, für Cadmium (Cd) und Kupfer (Cu) eine leichte und für Chrom (Cr), Nickel (Ni) und Zink (Zn) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen bis in 10 cm Tiefe zudem über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV. Die Gehalte der Humusaufgabe überschreiten für Cd, Cu und Pb die Hintergrundwerte von Waldböden (Bommarez et al. 2021). Für Pb wird dieser Wert auch im Mineralboden überschritten.

Kritische Level (CL), ab deren Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht, werden nicht verletzt.

Im Oberboden liegen die Pb-Gehalte bis in 10 cm Tiefe im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen, die Cd- und Cu-Gehalte bis in 5 cm Tiefe über dem Median, und die Zn-Werte bis in 40 cm Tiefe zwischen dem 25 %-Quartil und dem Median. In größerer Tiefe liegen sie im unteren Quartil. Die Kobalt (Co)-, Cr- und Ni-Gehalte sind im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe sehr niedrig.

In der Humusaufgabe waren die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Cu unter dem Median (2019). Für Cu lagen sie zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil.

Zwischen 2009 und 2019 haben die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusaufgabe stark zugenommen. Und auch im Mineralboden zeigt sich in diesem Zeitraum eine starke Zunahme der Pb-Vorräte und eine Tendenz zu steigenden Cu- und Cd-Vorräten bis in 10 cm Tiefe, während sich die Vorräte aller anderen Schwermetalle kaum verändert haben.

Die Humusaufgabe ist durch Cd, Cu und Pb kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte überschreiten. Im oberen Mineralboden sind die Gehalte an Cd, Cu, Pb und Zn ebenfalls erhöht, und überschreiten für Pb sogar den halben Vorsorgewert der BBodSchV. Die Zunahme der Schwermetall-Vorräte in der Humusaufgabe und im Oberboden ist bemerkenswert, da ein derartiger Trend auf keiner weiteren der untersuchten Flächen gefunden wurde. Die Zunahme von Pb, Cd und Cu im Oberboden deutet zudem auf eine Verlagerung dieser Elemente aus der Humusaufgabe in den Mineralboden hin.

Bewertung Schwermetalle (2019)

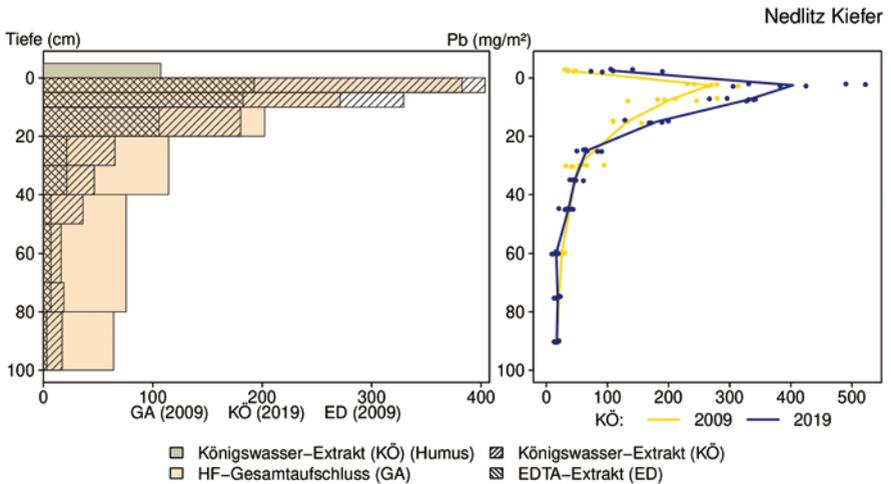
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,05	0,59	3,97	3,95	2,02	38,92	10,54
5	10	0,03	0,61	3,76	1,89	1,95	26,25	10,28
10	20	0,03	0,77	3,50	1,25	2,19	13,53	10,86
20	30	0,03	0,81	3,44	1,08	2,44	5,31	10,86
30	40	0,02	0,87	3,40	1,04	2,44	3,62	10,57
40	50	0,02	0,77	2,79	0,92	1,95	2,46	8,24
50	70	0,01	0,65	2,22	0,76	1,36	1,66	4,88
70	80	0,01	0,59	1,89	0,79	1,20	1,28	2,90
80	100	0,01	0,57	1,82	0,61	0,96	1,16	2,53
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Sand)		0,4	-	30	20	15	40	60

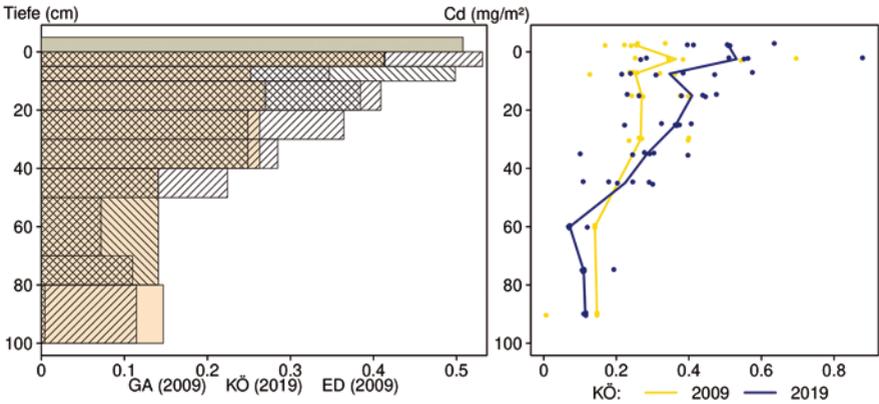
> Vorsorgewert

> 1/2 Vorsorgewert

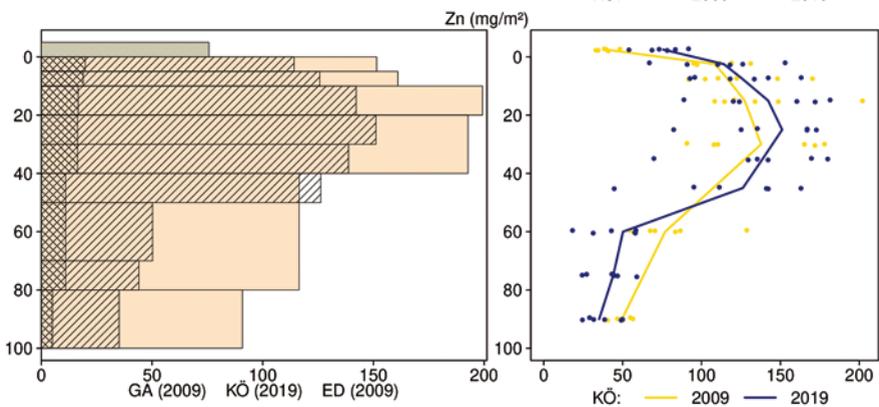
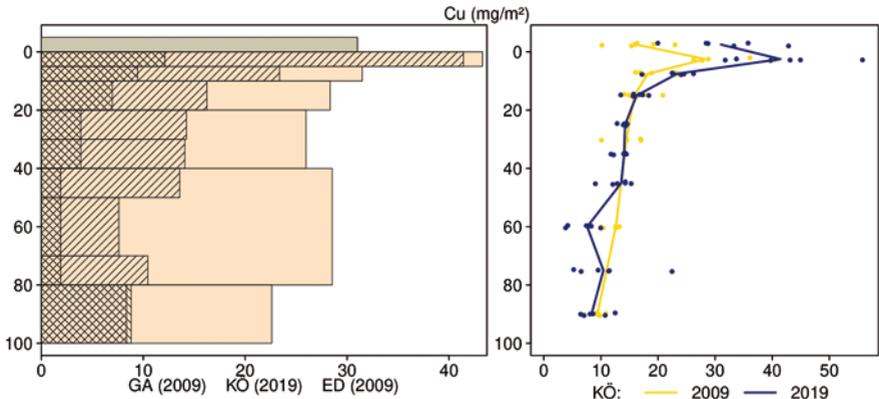
NEKI

Schwermetallvorräte



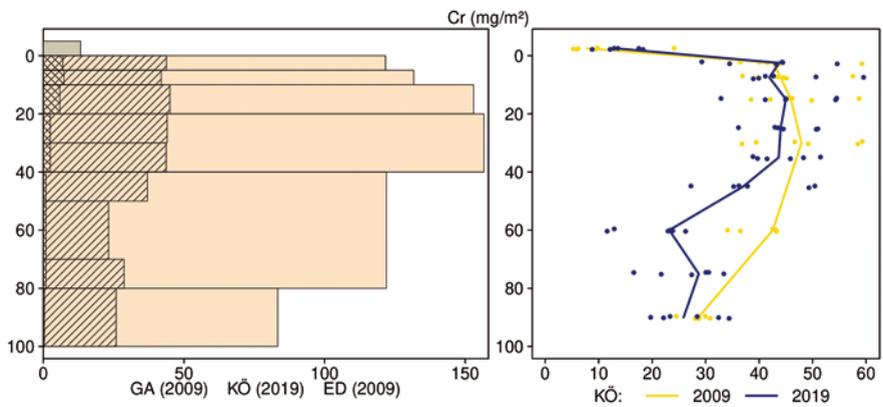
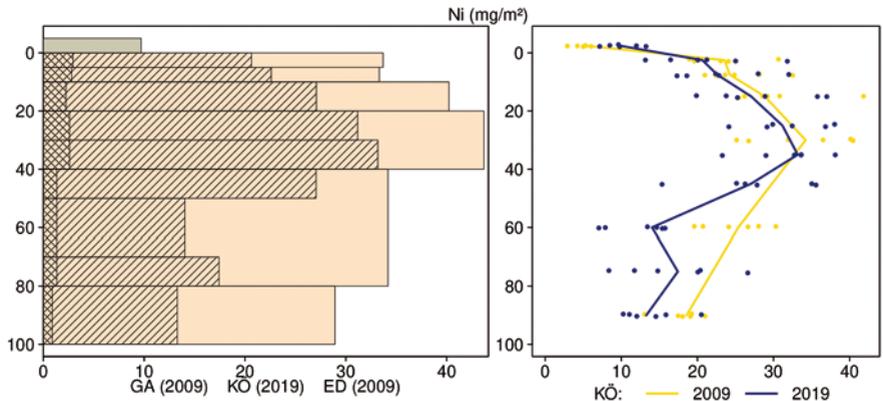
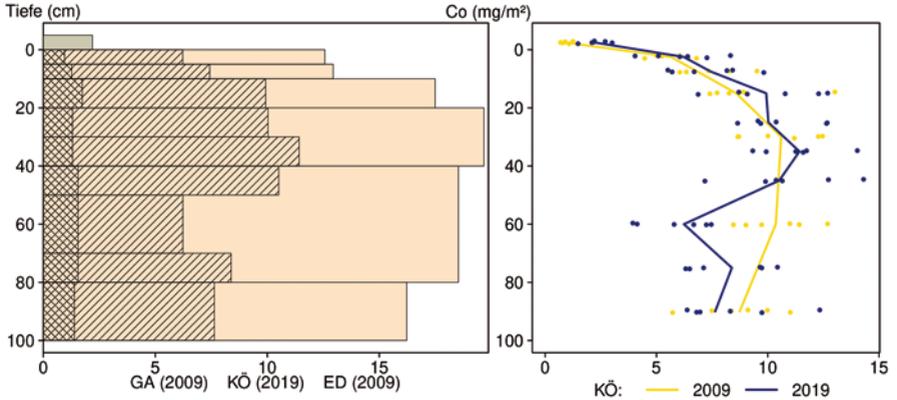


NEKI



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus) ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA) ▨ EDTA-Extrakt (ED)

Nedlitz Kiefer



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 EDTA-Extrakt (ED)

NEKI

12.19 Solling Buche (SLB1)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Dassel 4251j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland		539900		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N	508/0-2/S	
Hoher Solling		5734700		
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
BDF-F 4 (Intensiv), Level II Core plot 304				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1966 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1993, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1993, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1993-2001, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Bodenrespiration, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
Lößlehm-Fließberden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-20 %, mäßig skeletthaltig	
<i>Humusform (n. KAS)</i>	<i>Bodentyp (n. KAS)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusarmer Moder (MOA)	Braunerde		Dystric Cambisol (Epiarenic, Loamic, Nechic, Protospodic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
9.4.-2.3	betont frisch, mesotroph		176	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Rotbuche	Eiche		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
174	4,1/3,1		Sanitärhiebe	
sonstiges: -				

SLB1

Profilbeschreibungen (nach KA5)

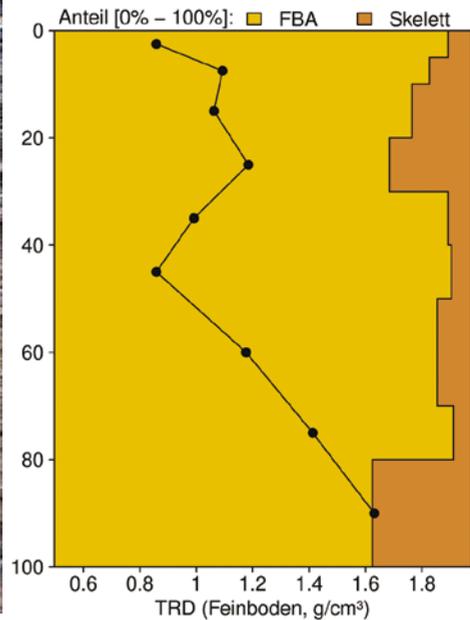
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-3.5 - -1.8	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,1
Of	-1.8 - -0.3	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,3
Oh	-0.3 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	0,8
Aeh	0 - 7	4	Ut2	h3	Ld1	c0	16,8
Bv	7 - 40	4	Ut3	h2	Ld2	c0	72,9
Bv	40 - 70	4	Ut3	h1	Ld2	c0	63,4
Cv	70 - 100	30	Lt3	h0	Ld3	c0	23,1
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							176,1
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							183,3

Benecke 30.6.1984

SLB1



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2020

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
Of	-	-	83,0	18,8	42,0	11,6	0,53	21,8	23,6	48,4	4,19	3,37
Oh	-	-	41,3	35,4	91,2	10,8	0,55	19,8	30,8	57,7	3,64	2,97
0 - 5	7,3	42,9	24,5	7,1	28,6	16,2	0,83	19,2	139	95,1	3,76	3,21
5 - 10	5,3	49,7	15,1	5,8	29,4	14,5	0,78	18,5	157	92,9	3,88	3,40
10 - 20	4,6	71,8	12,7	7,0	41,8	18,7	1,12	16,6	258	129	4,06	3,67
20 - 30	4,5	56,4	8,8	4,8	35,9	13,8	0,93	14,8	258	121	4,24	3,92
30 - 40	4,9	46,9	6,3	3,4	35,4	8,6	0,68	12,5	246	116	4,36	4,06
40 - 50	4,8	42,5	5,0	3,2	34,6	5,2	0,46	10,9	192	88,9	4,38	4,05
50 - 70	4,9	123	15,3	8,5	110	6,1	0,79	7,8	478	194	4,41	3,96
70 - 80	4,8	103	17,5	7,3	91,5	2,5	0,44	5,6	333	103	4,36	3,87
80 - 100	5,0	161	20,8	12,7	154	3,8	0,67	5,7	601	172	4,39	3,86
Σ L-100cm		697	318	122	706	117	7,94		2724	1230		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

SLB1

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf der Monitoringfläche Solling Buche stockt ein aus Naturverjüngung hervorgegangener 174-jähriger Buchenbestand (2021), der weitgehend der potenziell natürlichen Vegetation entspricht. Es handelt sich um die Waldmonitoringfläche mit der längsten Beobachtungszeit in Europa. Der Schluffboden mit mäßigem Skelettanteil zeigt hinsichtlich der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte eine vergleichsweise geringe Variabilität (VK 20 % bis 50 cm, 30 % unter 50 cm).

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N) und Kohlenstoff (C)-Vorräte lagen 2020 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. In der Humusaufgabe stiegen die C- und N-Vorräte von 1966 bis 1993 leicht an (Meiwes et al. 2009), nahmen bis 2001 ab und blieben bis 2020 auf ähnlichem Niveau. Im Oberboden dauerte der Anstieg bis 2001 an. Danach nahmen die Vorräte bis 2020 kontinuierlich ab. Im Unterboden, für den Messwerte erst ab 1993 vorliegen, zeigt sich zwischen 1993 und 2020 eine leichte Abnahme.

Der Calcium (Ca)-Vorrat war 2020 gering. Die Vorräte an Magnesium (Mg) und Kalium (K) lagen im mäßigen bzw. mittleren Bereich. In der Humusaufgabe verhält sich der Ca-Vorrat wie der Humusvorrat. Er stieg bis 1993 stark an, nahm bis 2010 stark ab und stieg danach wieder an. Im Oberboden nahm der Ca-Vorrat bis 1983 stark ab, bis 2001 wieder zu und danach wieder leicht ab. Im Unterboden ist ein leicht negativer Trend zwischen 1993 und 2001 zu erkennen. Zwischen 2010 und 2020 deutete sich eine Trendwende an, da der Ca-Vorrat im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe um 10 %, die K- und Mg-Vorräte um 30 % zugenommen haben. Mit einem Vorrat von 2724 kg/ha lag der Phosphor (P)-Vorrat 2020 zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil der Vorräte aller Flächen. Im Mineralboden hat er bis 2010 kontinuierlich ab- und danach wieder leicht zugenommen. In der Humusaufgabe veränderte er sich nur wenig.

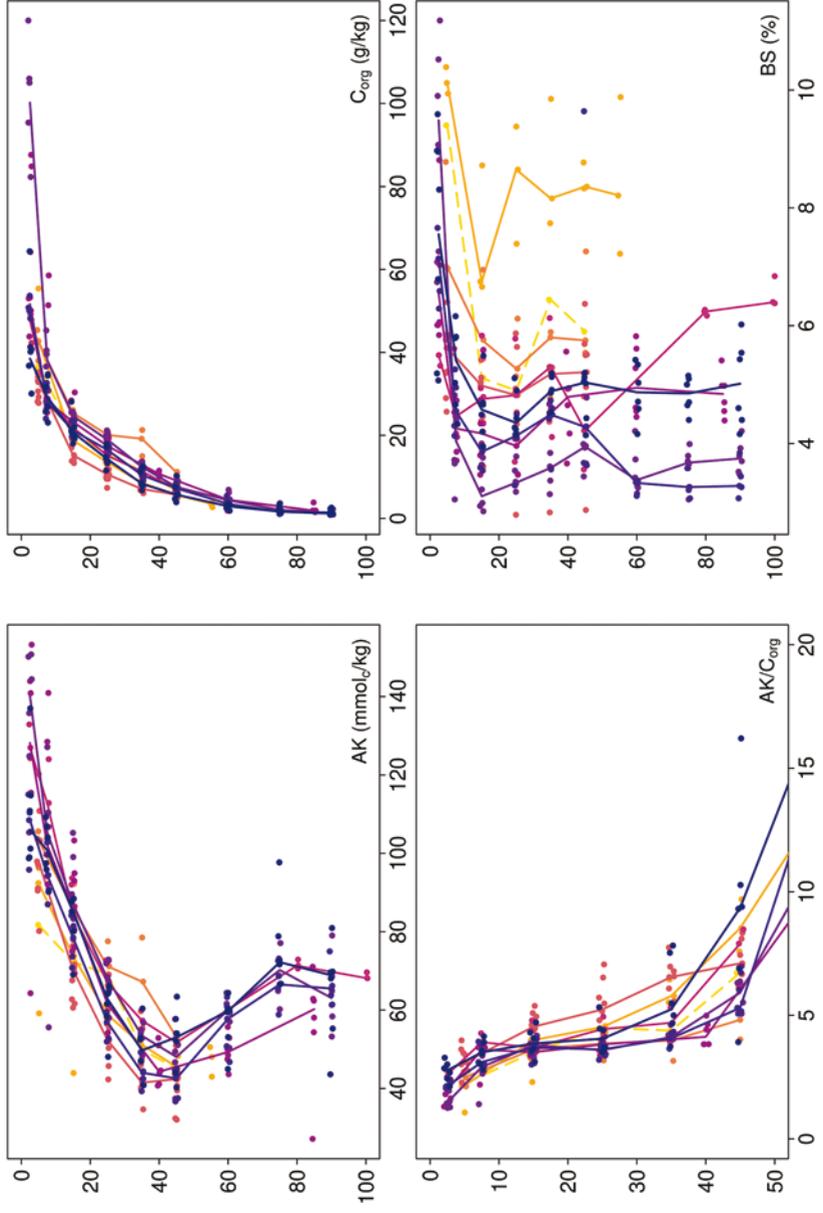
Der Schwefel (S)-Vorrat lag mit 1230 kg/ha im oberen Quartil der Vorräte aller Flächen, mit hohen Anteilen im Oberboden, insbesondere in 0-5 cm Tiefe. Zwischen 2001 und 2010 hat er insbesondere im Unterboden sehr stark abgenommen, und sich danach nur noch wenig verändert.

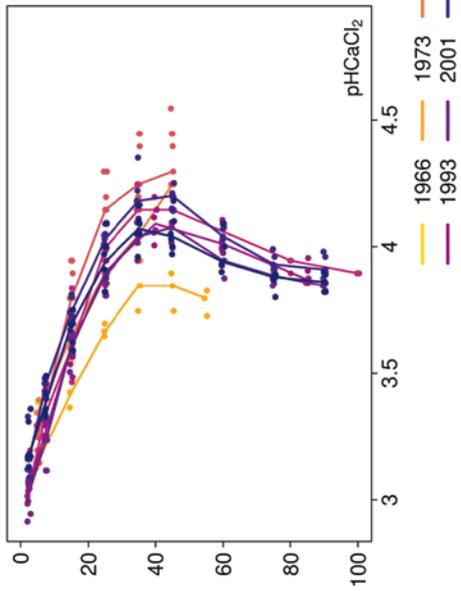
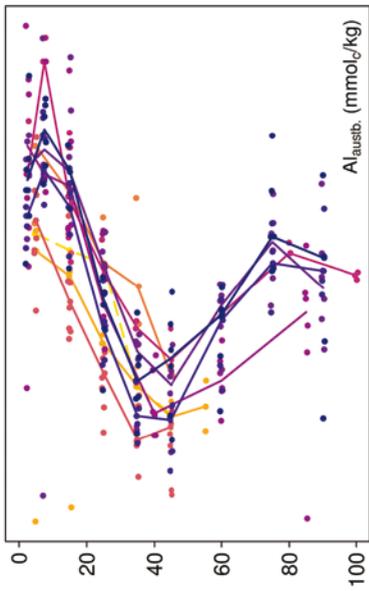
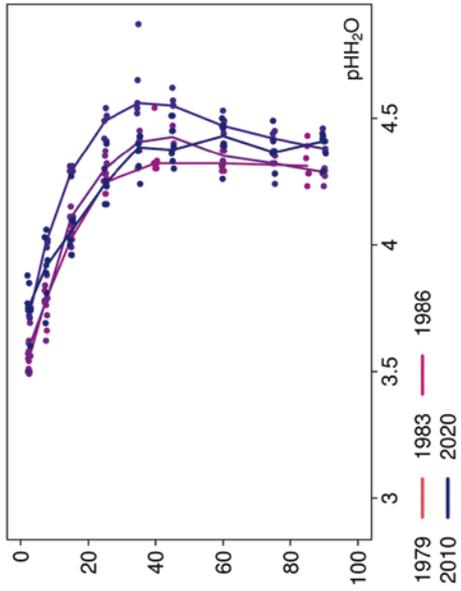
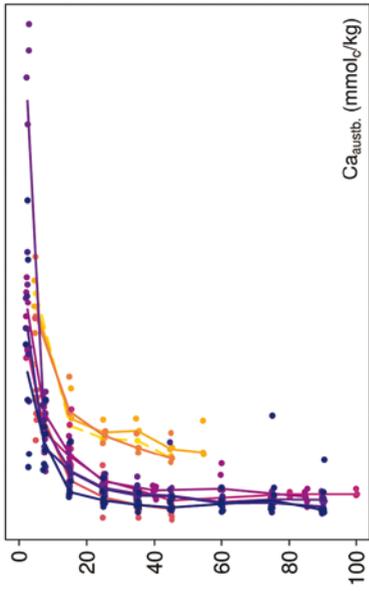
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der tiefgründig versauerte Boden kann anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 20 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich und in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zugeordnet werden. Im Untersuchungszeitraum haben sich die pH-Werte kaum verändert. Im gesamten Profil ist der Boden mit einer Basensättigung von unter 5 % durchgehend sehr basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1973 und 1983 hat sich die Basensättigung im Oberboden fast halbiert. Im Unterboden zeigt sich zwischen 1993 und 2001 ebenfalls ein negativer Trend. Für den Zeitraum vor 1993 liegen für den Unterboden keine Messwerte vor. Ab 2010 deuten sich leicht ansteigende Basensättigungswerte im gesamten Profil an.

Solling Buche

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

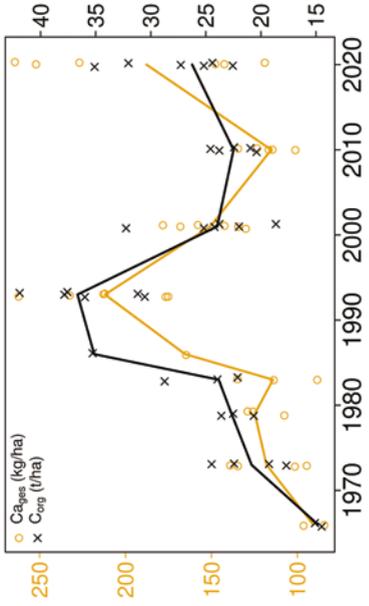




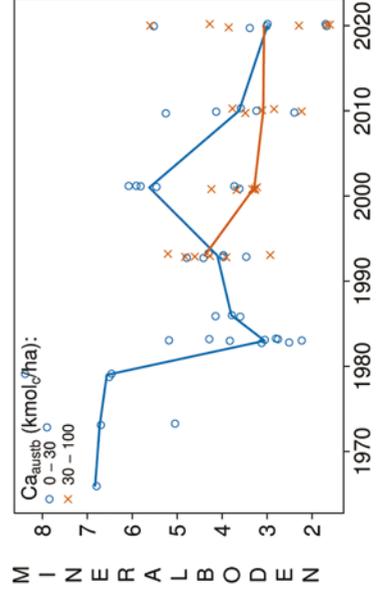
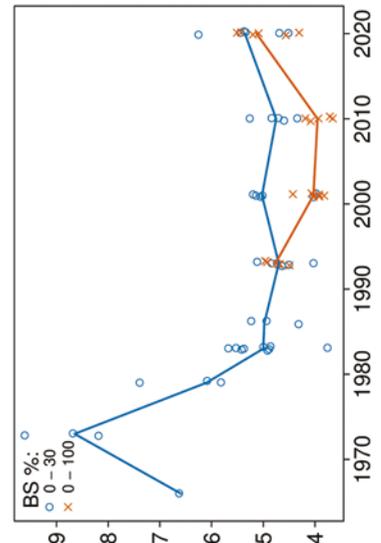
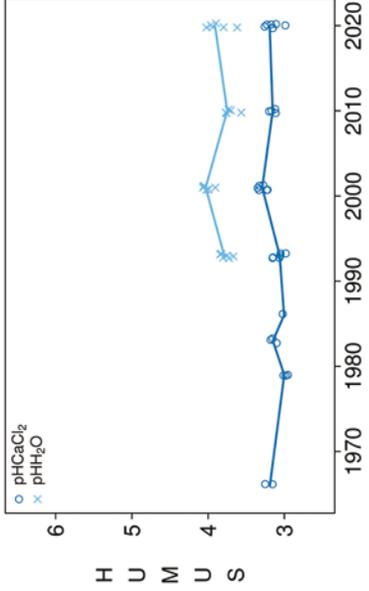
1966 1973 1979 1983 1986
 1993 1999 2001 2010 2020

SLB1

Vorrats- und pH-Änderungen



Solling Buche



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2020)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	15,51	0,21	14,34	2,76	1,46	0,16	0,36	0,24	0,061	1,67	16,68	4,65	5,30	67,02	17,27
5	10	17,49	0,20	16,54	2,91	1,67	0,34	0,32	0,19	0,050	2,66	18,58	4,15	6,37	51,90	20,53
10	20	19,54	0,19	16,50	2,98	1,78	0,55	0,30	0,15	0,072	4,10	19,46	3,90	7,05	29,92	23,27
20	30	20,88	0,17	16,83	3,13	1,92	0,61	0,28	0,13	0,071	5,70	20,57	3,76	9,01	16,90	28,31
30	40	22,50	0,16	17,82	3,43	2,16	0,58	0,26	0,12	0,057	6,32	21,80	4,04	11,51	10,68	35,92
40	50	24,39	0,14	19,96	4,06	2,45	0,52	0,23	0,11	0,051	6,88	23,79	4,58	13,80	10,20	38,79
50	70	24,36	0,09	20,79	4,50	2,56	0,55	0,22	0,09	0,044	7,66	23,35	4,94	14,15	9,98	32,98
70	80	25,95	0,05	23,26	5,44	2,80	0,45	0,25	0,08	0,048	6,88	24,99	5,43	13,92	10,54	29,98
80	100	23,95	0,05	21,98	4,76	2,54	0,47	0,24	0,07	0,044	6,79	23,51	5,46	13,39	9,53	27,07

bis 25%-Quartil

25 %-Quartil - Med.

Med. - 75 %-Quartil

75 %-Quartil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2020)

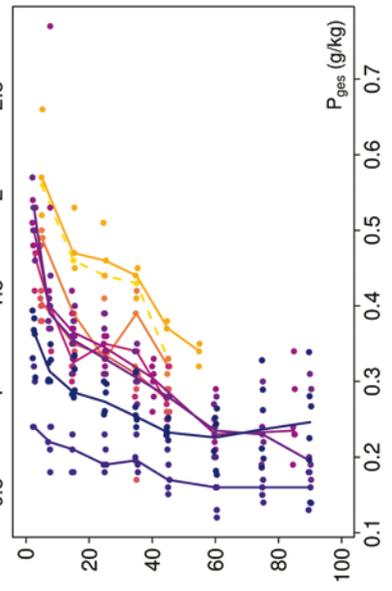
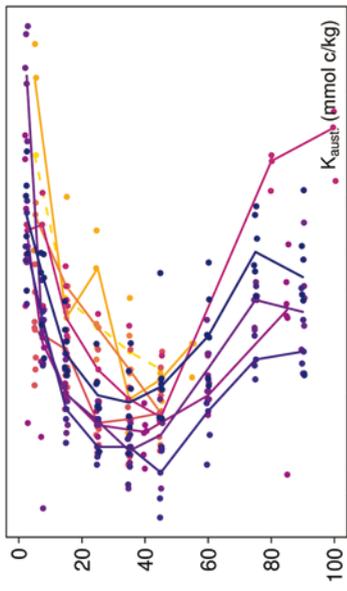
von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	9	21	5	16	13	30	9	9	119	15	10	16	13	16	15
5	10	5	22	7	12	10	26	6	6	68	14	6	10	7	6	10
10	20	7	34	6	13	11	17	7	4	71	14	7	14	11	4	12
20	30	8	16	7	13	12	17	7	5	42	26	7	17	21	20	17
30	40	5	18	7	14	9	11	9	13	12	12	5	21	12	12	16
40	50	10	27	11	21	14	14	4	15	11	10	12	19	13	7	16
50	70	3	31	8	16	13	16	15	19	10	8	3	17	12	15	21
70	80	7	16	16	15	20	27	21	11	13	9	13	21	20	23	24
80	100	15	30	29	25	31	22	26	23	22	14	28	31	32	18	33

0-20 %

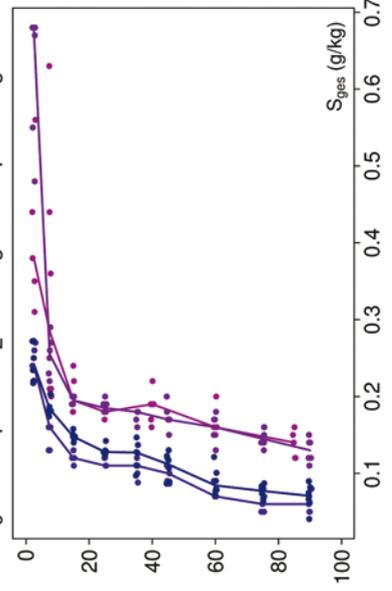
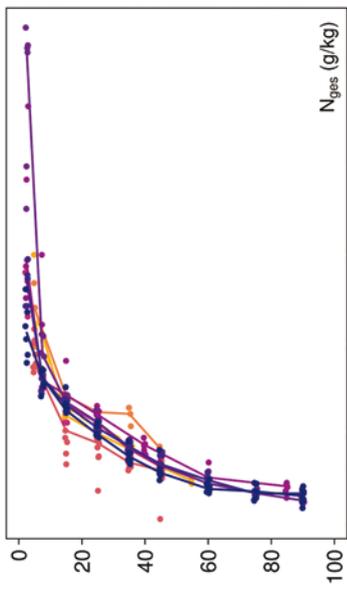
20-50 %

>50 %

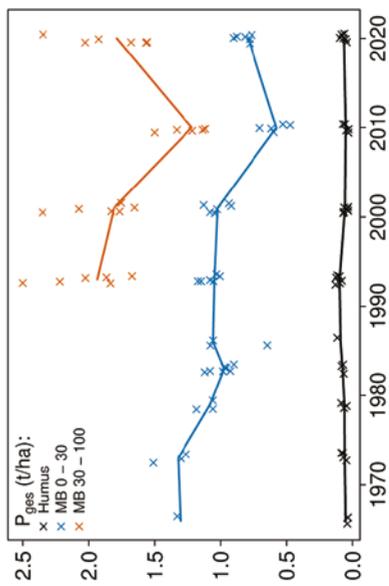
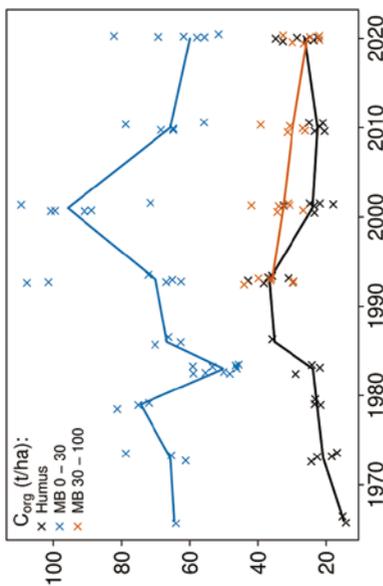
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



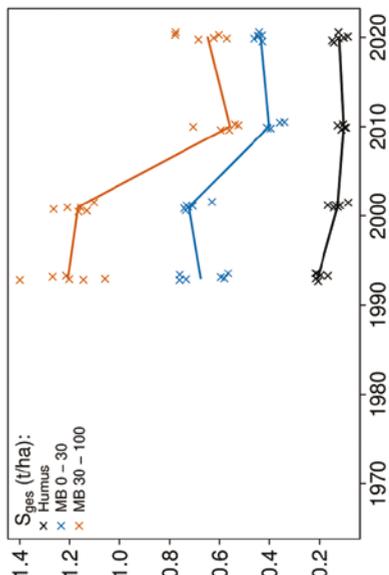
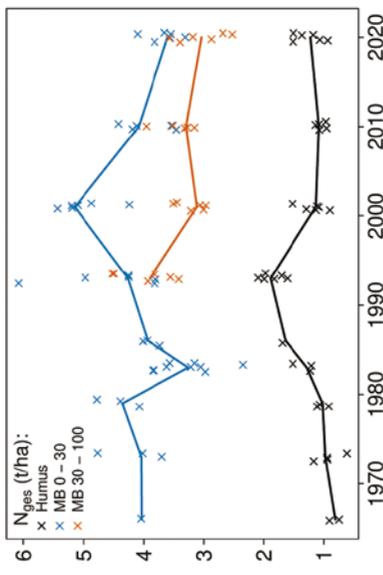
Solling Buche



Vorratsänderungen (t/ha)



Solling Buche



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine podsolige Braunerde, die sich aus Lösslehm-Fließerden über Buntsandstein gebildet hat. Dieser mäßig skeletthaltige Boden weist mäßige, ab 50 cm Tiefe hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine mittlere Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte überschreiten zudem bis in 10 cm Tiefe den halben Vorsorgewert der BBodSchV.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Pb und Zink (Zn) über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie für Cr, Cu und Pb überschritten.

In der Humusaufgabe überschreiten die Pb-Gehalte auch den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Die Pb-Gehalte liegen bis in 20 cm Tiefe im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen und nehmen mit zunehmender Tiefe stark ab. Für Kobalt (Co), Nickel (Ni) und Zn liegen sie bis in 10 cm Tiefe unter dem Median und nehmen mit zunehmender Tiefe auf Werte, die zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil liegen, leicht zu. Die Cadmium (Cd)-, Cu- und Cr-Gehalte liegen im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe im 3. Quartil und zeigen nur für Cr eine leichte Zunahme mit der Tiefe.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte fast aller Schwermetalle hoch. Nur für Cd, dessen Werte unter dem Median liegen, sind sie niedriger.

Zwischen 1993 und 2001 haben die Cu-, Pb- und Zn-Vorräte in der Humusaufgabe stark abgenommen. Danach verändern sie sich für Cu und Pb nur noch wenig, während sie für Zn bis 2020 weiter abnehmen. Die Abnahme der Cd-Vorräte beginnt erst 2001 und dauert bis 2020 an. Die Ni-Vorräte haben erst zwischen 2010 und 2020 abgenommen, während sie sich für Co und Cr kaum verändert haben. Im Mineralboden nehmen die Pb-Vorräte zwischen 2010 und 2020 bis in 10 cm Tiefe und die Cu-Vorräte bis in 5 cm Tiefe zu. Die Cd- und Zn-Vorräte verändern sich nur wenig. Für Co, Cr und Ni wurden 2020 bis in 10 cm Tiefe höhere Vorräte als 2010 gefunden. Für den Zeitraum vor 2010 können für den Mineralboden keine Aussagen gemacht werden, da es keine Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch Cr, Cu, Pb und Zn kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Im Mineralboden sind die Gehalte fast aller Schwermetalle höher als der Median der Gehalte aller Flächen. Für Cu und Pb zeigt sich eine Verlagerung in die Tiefe in der Abnahme der Vorräte in der Humusaufgabe und der Zunahme der Vorräte im Mineralboden. Der Vergleich mit der sich in unmittelbarer Nähe befindenden mit Fichten bestockten Fläche SLF1 zeigt eine wesentlich geringere Belastung der Humusaufgabe. Dies kann auf die geringere Interzeptionsfläche vor allem im Herbst und Winter zurückgeführt werden. Auffällig ist die wesentlich gleichmäßigere Verteilung der Schwermetalle im Mineralboden dieser Fläche und die wesentlich niedrigeren Schwermetall-Gehalten vor allem in tieferen Schichten.

Bewertung Schwermetalle (2020)

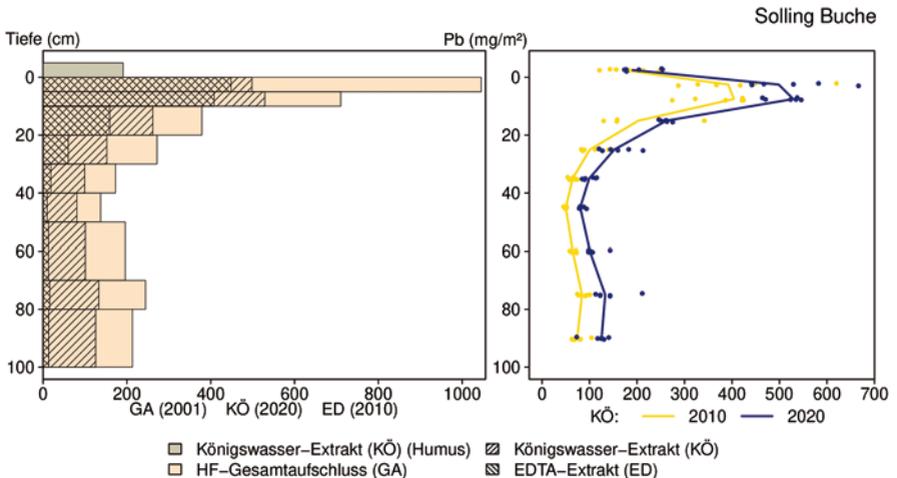
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,06	1,67	16,68	4,65	5,30	67,02	17,27
5	10	0,05	2,66	18,58	4,15	6,37	51,90	20,53
10	20	0,07	4,10	19,46	3,90	7,05	29,92	23,27
20	30	0,07	5,70	20,57	3,76	9,01	16,90	28,31
30	40	0,06	6,32	21,80	4,04	11,51	10,68	35,92
40	50	0,05	6,88	23,79	4,58	13,80	10,20	38,79
50	70	0,04	7,66	23,35	4,94	14,15	9,98	32,98
70	80	0,05	6,88	24,99	5,43	13,92	10,54	29,98
80	100	0,04	6,79	23,51	5,46	13,39	9,53	27,07
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

> Vorsorgewert

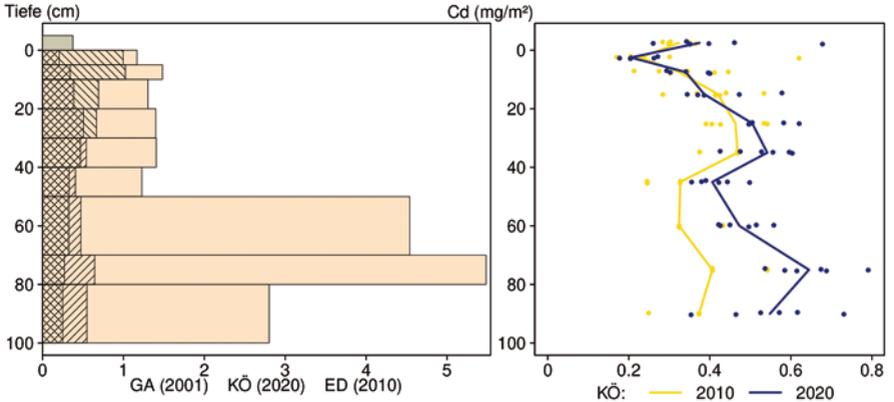
> 1/2 Vorsorgewert

SLB1

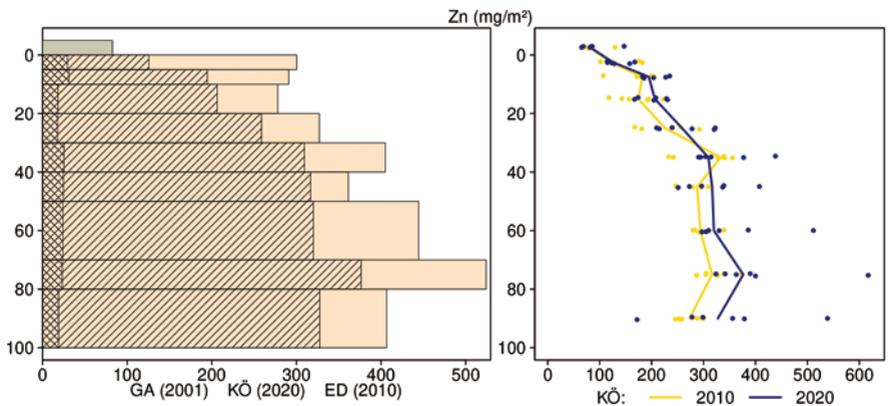
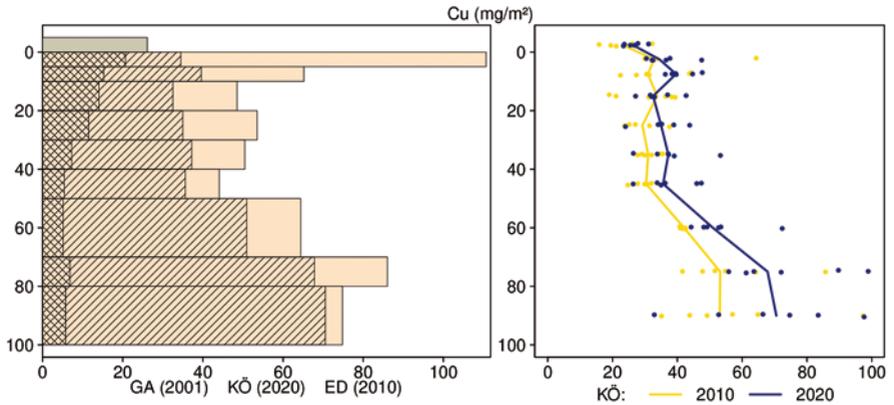
Schwermetallvorräte



Solling Buche

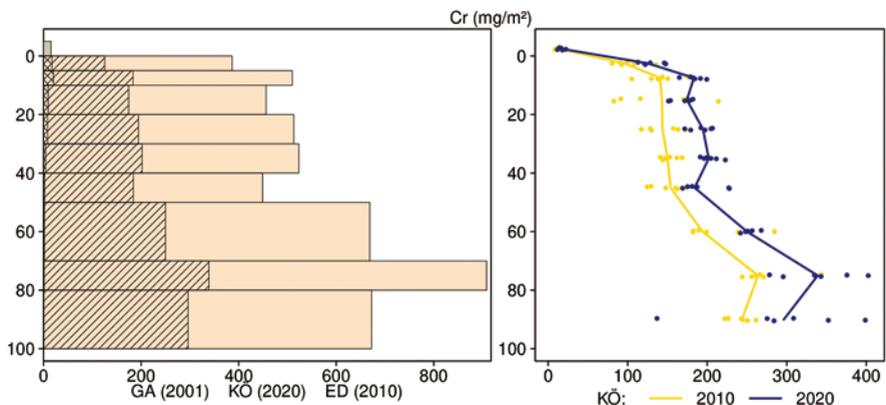
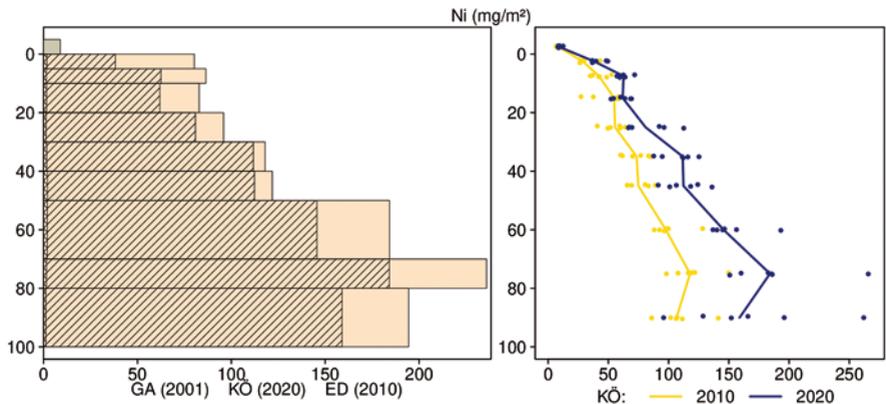
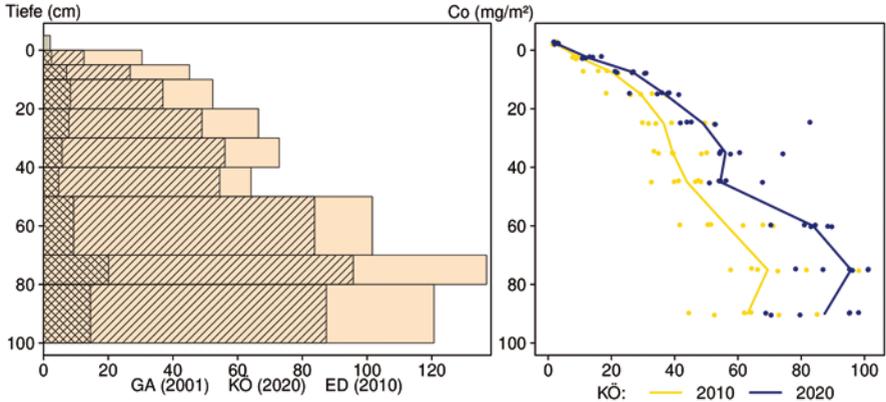


SLB1



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus) ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA) ▨ EDTA-Extrakt (ED)

Solling Buche



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- EDTA-Extrakt (ED)

SLB1

12.20 Solling Buche Düngung (SLBD)

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Dassel 4251j		Niedersachsen		
Wuchsgebiet		UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition	
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland		539900		
Wuchsbezirk		UTM N		
Hoher Solling		5734700	508/0-2/S	
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
–				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1973 (Forschungsprojekte), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, 1993-2010, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
–				
weitere Untersuchungen				
–				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-15 %, mäßig skeletthaltig	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
typischer feinhumusarmer Moder (MOA)	Braunerde		Dystric Cambisol (Epiarenic, Loamic, Nechic, Protospodic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
9.4-.2.3	betont frisch, mesotroph		176	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5K	1973: 300 kg N/ha Kalkammonsalpeter (65 % Ammoniumnitrat, 35 % Calciumcarbonat), 200 kg K/ha 50er Kali (Kaliumsulfat), 1975: 2 t CaO/ha Hüttenkalk (4,4 t/ha), 1980: 4 t CaMg(CO ₃) ₂ /ha Dolomit			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Rotbuche	–		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m ³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
174	4,1/3,1		Sanitärhiebe	
sonstiges: –				

SLBD

Profilbeschreibungen (nach KA5)

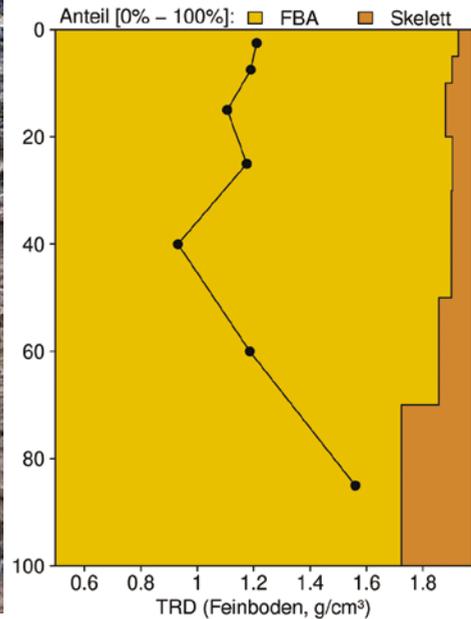
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-3.5 - -1.8	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,1
Of	-1.8 - -0.3	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,3
Oh	-0.3 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	0,8
Aeh	0 - 7	4	Ut2	h3	Ld1	c0	16,8
Bv	7 - 40	4	Ut3	h2	Ld2	c0	72,9
Bv	40 - 70	4	Ut3	h1	Ld2	c0	63,4
Cv	70 - 100	30	Lt3	h0	Ld3	c0	23,1
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							176,1
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							183,3

Benecke 30.6.1984

SLBD



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2010

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	17,7	2,6	4,7	1,2	0,04	27,7	2,4	3,1	4,72	4,33
Of	-	-	83,6	27,6	76,1	6,6	0,30	21,7	16,7	27,4	4,52	4,04
Oh	-	-	40,1	26,4	83,9	4,9	0,27	17,8	17,8	30,5	4,02	3,54
0 - 5	27,7	72,4	302	71,9	43,7	28,7	1,72	16,7	291	193	4,19	3,51
5 - 10	18,8	65,0	153	40,7	28,7	16,1	0,97	16,5	236	106	4,30	3,64
10 - 20	11,4	86,0	117	36,1	36,5	18,2	1,23	14,8	359	131	4,44	3,81
20 - 30	8,5	78,5	64,2	22,8	36,9	16,1	1,25	12,9	422	142	4,53	3,96
30 - 50	6,7	99,7	52,7	22,0	59,0	13,3	1,29	10,3	556	164	4,60	4,06
50 - 70	6,3	141	52,3	30,4	118	6,8	1,05	6,5	641	137	4,55	3,96
70 - 100	6,1	262	68,3	52,6	256	6,4	1,56	4,1	1243	211	4,50	3,89
Σ L-100cm		805	951	333	744	118	9,68		3785	1145		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Die Monitoringfläche befindet sich im selben Waldbestand in unmittelbarer Nähe zur Fläche SLB1 und dient als Vergleichsfläche zur Beobachtung der Wirkung einer Düngungsmaßnahme. Sie wurde 1973 mit 300 kg N/ha als Kalkammonsalpeter (65 % Ammoniumnitrat, 35 % Calciumcarbonat) und 200 kg K/ha als 50er Kali (Kaliumsulfat), 1975 mit 2 t CaO/ha als Hüttenkalk (4,4 t/ha) und 1980 mit 4 t CaMg(CO₃)₂/ha als Dolomit beaufschlagt. Der Boden ist vergleichsweise homogen, da es sich um einen Schluffboden mit mäßigem Skelettanteil handelt. Dies zeigt das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren relativ eng zusammen liegt.

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Vorräte lagen 2010 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei mäßig weitem bis mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. Im Vergleich zur unbehandelten Fläche SLB1 ist der N-Vorrat im Oberboden höher und in der Humusaufgabe und im Unterboden auf einem ähnlichen Niveau. In der Humusaufgabe sind die C- und N-Vorräte zwischen 1973 und 1983 leicht angestiegen. Danach haben sie bis 2020

wieder auf das Niveau der 70er Jahren abgenommen. Im Oberboden war der Anstieg ausgeprägter und dauerte bis 1993 an. Danach veränderten sich die Vorräte nur noch wenig. Im Unterboden schwanken sie zwischen 1993 und 2010 stark, weshalb kein Trend zu erkennen ist. Für den Zeitraum vor 1993 gibt es für den Unterboden keine Messwerte.

Die Calcium (Ca)-, Kalium (K)- und Magnesium (Mg)-Vorräte lagen 2010 im mittleren Bereich, und sind damit wesentlich höher als auf der Fläche SLB1. Da die K-Vorräte zwischen 1976 und 1983 stark abgenommen haben, muss die Versorgung mit Kalium nach der Ausbringung des Kaliumsulfats in den 70er Jahren noch wesentlich besser gewesen sein.

In der Auflage verhält sich der Ca-Vorrat wie der Humusvorrat. Er stieg zwischen 1973 und 1983 stark an, nahm bis 1993 wieder stark ab und änderte sich bis 2010 nur noch wenig. Im Oberboden nahm der Ca-Vorrat bis 2001 stark zu und danach wieder ab. Im Unterboden ist ab 1993 kein Trend zu sehen. Vor 1993 gibt es keine Messwerte.

Mit einem Vorrat von 3785 kg/ha lag der Phosphor (P)-Vorrat 2010 im oberen Quartil der Vorräte aller Flächen und deutlich über dem Vorrat der Fläche SLB1, obwohl bei der Düngung kein Phosphor ausgebracht wurde. Im Oberboden hat der P-Vorrat zwischen 1973 und 1983 leicht abgenommen, veränderte sich danach nur wenig und stieg ab 2001 wieder leicht an. Im Unterboden ist der Verlauf ab 1993 wie im Oberboden. Vor 1993 gibt es keine Messwerte. In der Humusaufgabe veränderten sich die Vorräte nur wenig.

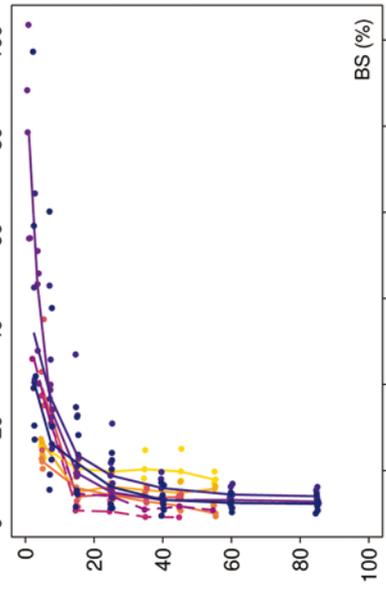
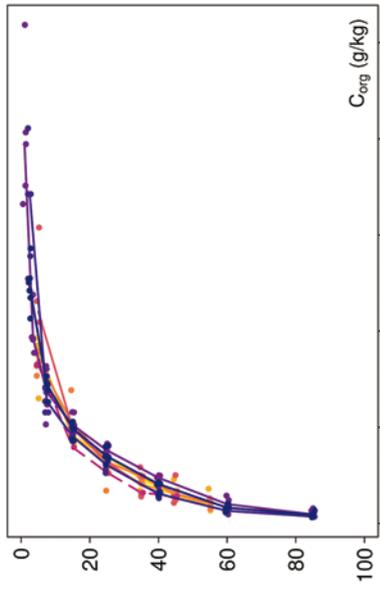
Der Schwefel (S)-Vorrat lag 2010 mit 1145 kg/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil, mit hohen Anteilen im Oberboden, insbesondere in 0-5 cm Tiefe. Zwischen 2001 und 2010 hat der Schwefel (S)-Vorrat im Mineralboden insbesondere im Unterboden sehr stark abgenommen. In der Humusaufgabe ist keine Veränderung festzustellen.

Säure-Base-Status und -Dynamik

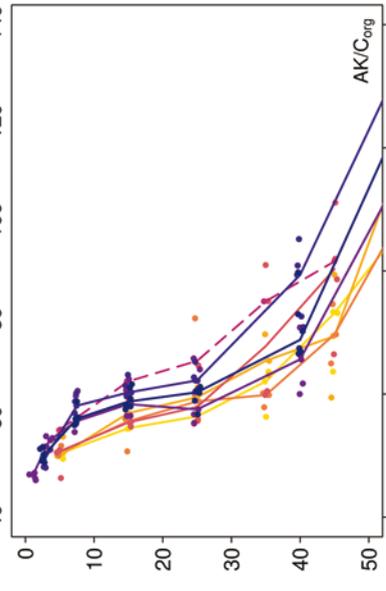
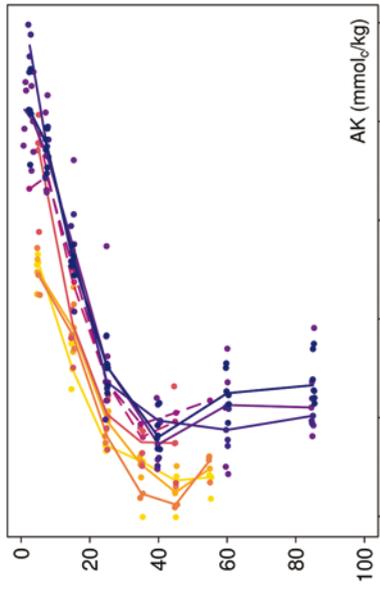
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte 2010 bis in 5 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich, in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1974 und 1993 hat sich die Basensättigung im Oberboden mit Werten von fast 20 % mehr als verdoppelt und zwischen 2001 und 2010 wieder auf fast 15 % abgenommen. Im Unterboden ist der Verlauf ähnlich wie im Oberboden, auch hier hat die Basensättigung zwischen 2001 und 2010 abgenommen. Für den Zeitraum vor 1993 liegen für den Unterboden keine Messwerte vor.

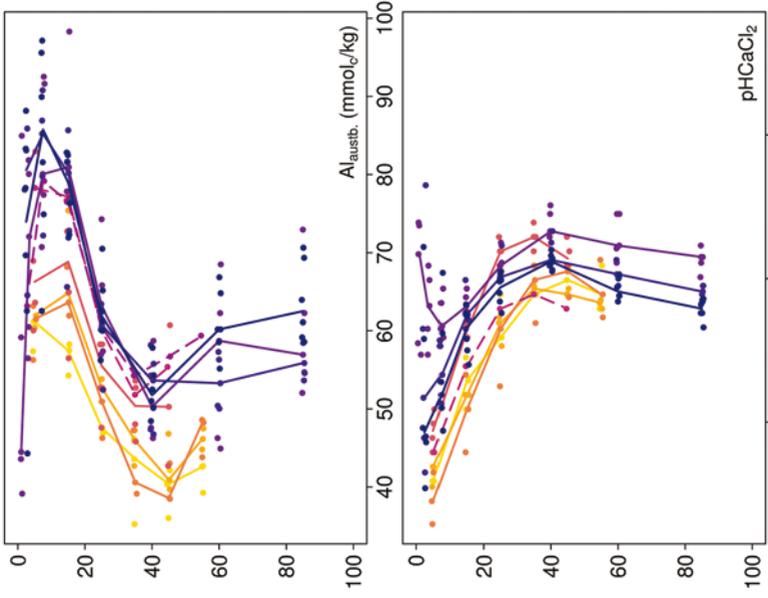
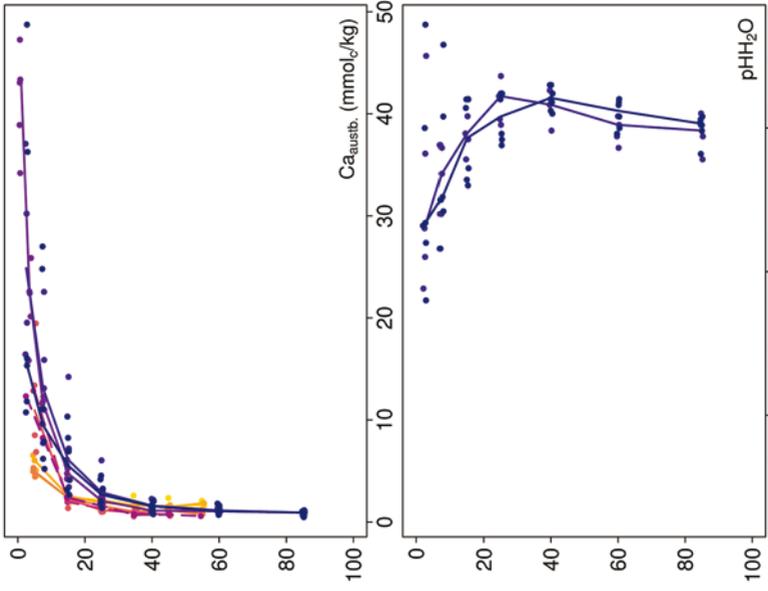
Beim pH-Wert ist ein leichter Anstieg mit zunehmender Tiefe zu verzeichnen, was auf eine mit zunehmender Tiefe abnehmende Versauerung hindeutet. Zwischen 1974 und 1983 nahmen die in CaCl_2 -Lösung gemessenen pH-Werte in der Humusaufgabe um fast 1,5 pH-Einheiten stark zu, und bis 2010 wieder kontinuierlich um eine pH-Einheit ab. Im Mineralboden ist der Verlauf in geringerem Ausmaß ähnlich.

Solling Buche Düngung



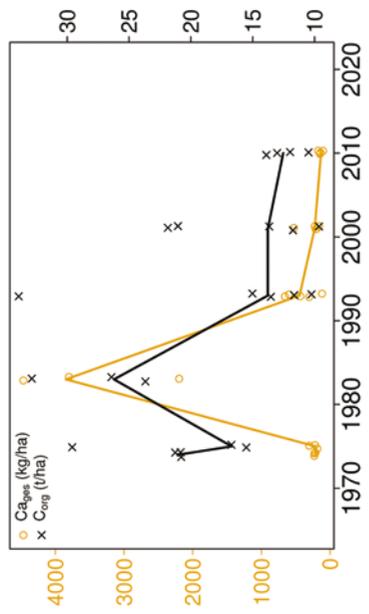
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



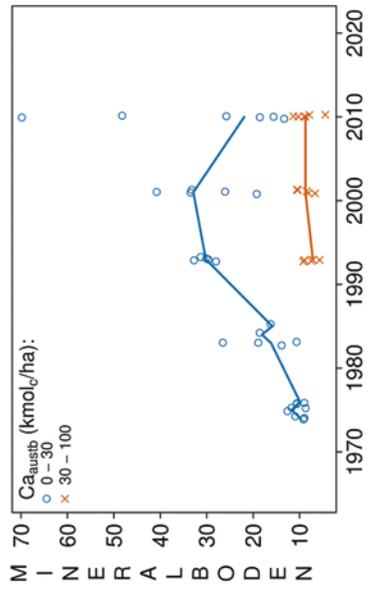
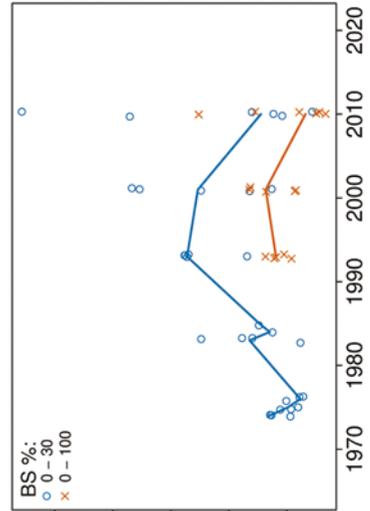
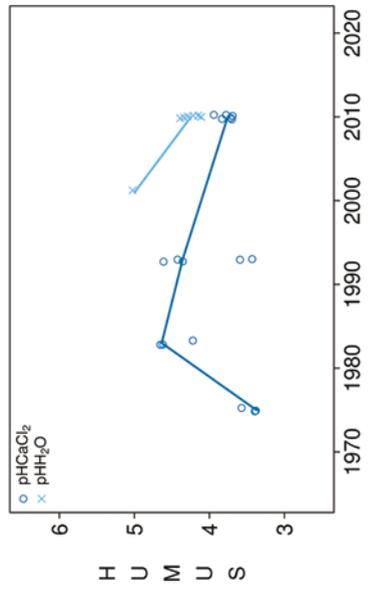


SLBD

Vorrats- und pH-Änderungen



Solling Buche Düngung



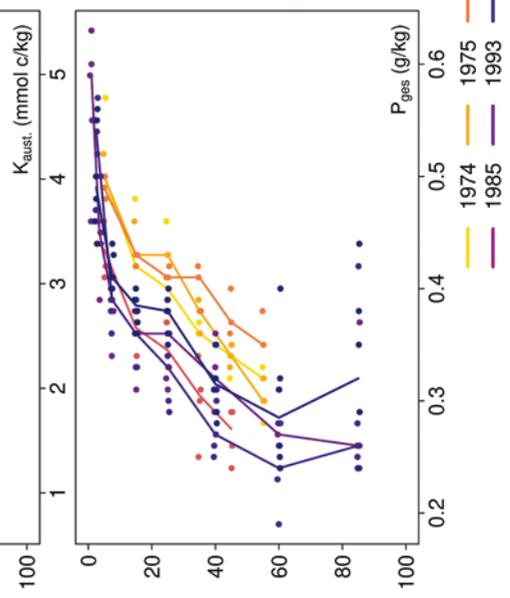
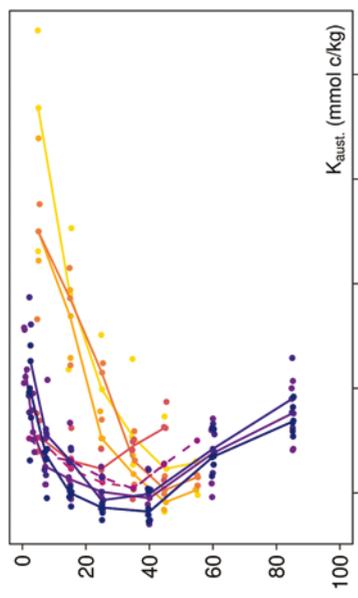
Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe

<i>keine Werte vorhanden</i>

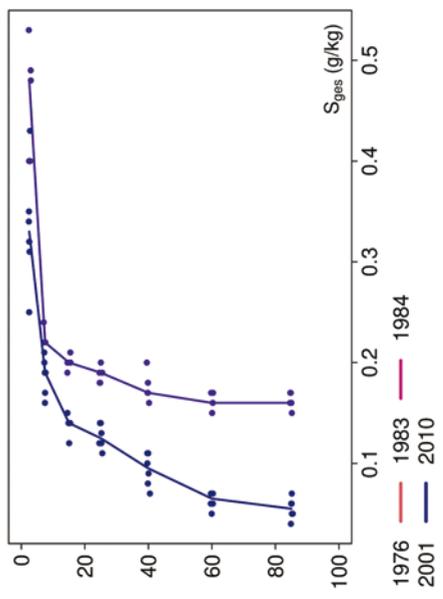
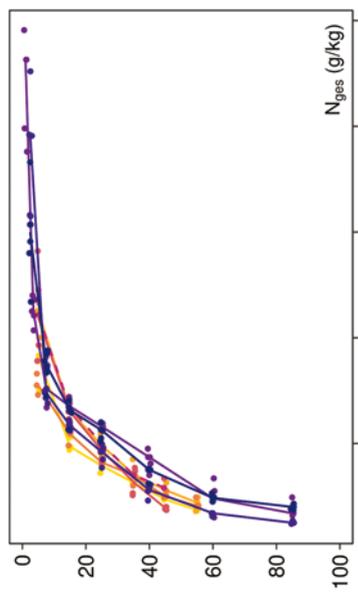
Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe

<i>keine Werte vorhanden</i>

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

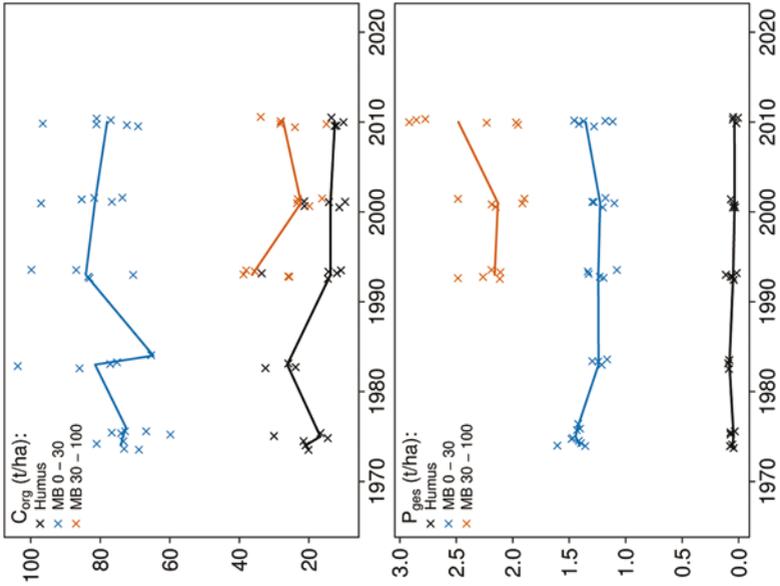


Solling Buche Düngung



Solling Buche Düngung

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine podsolige Braunerde, die sich aus Lösslehm-Fließerden über Buntsandstein gebildet hat. Dieser mäßig skeletthaltige Boden weist mäßige, ab 50 cm Tiefe hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Da für den Mineralboden keine Messwerte vorliegen, kann nur die Situation in der Humusaufgabe betrachtet werden.

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen 2010 für alle Schwermetalle über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommarez et al. 2021) und überschreiten für Blei (Pb) den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte aller Schwermetalle sehr hoch (im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen).

Über eine Veränderung der Schwermetall-Vorräte kann keine Aussage gemacht werden, da es nur von einer Inventur Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch Schwermetalle kontaminiert, da Ihre Gehalte im oberen Quartil liegen, die Hintergrundwerte überschreiten und für Pb sogar höher als der kritische Level sind. Der Vergleich mit der sich in unmittelbarer Nähe befindenden unbehandelten Fläche SLB1 zeigt höhere Gehalte für alle Schwermetalle im Humus dieser Fläche. Dies könnte an der Behandlung dieser Fläche mit Hüttenkalk (4,4 t) liegen, der zahlreiche Spurenelemente enthält. Die mit Fichten bestockte Parzelle SLFD mit gleicher Behandlung zeigt ähnlich hohe Werte.

SLBD

Bewertung Schwermetalle

keine Werte vorhanden

SLBD

Schwermetallvorräte

keine Werte vorhanden

SLBD

keine Werte vorhanden

keine Werte vorhanden

SLBD

12.21 Solling Buche Kalkung (SLBK)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Dassel 4251j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>		UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>	
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland		539900		
<i>Wuchsbezirk</i>		UTM N		
Hoher Solling		5734700	508/0-2/S	
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
–				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1982 (Forschungsprojekte), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1993, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
–				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
–				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-15 %, mäßig skeletthaltig	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusarmer Moder (MOA)	Braunerde		Dystric Cambisol (Epiarenic, Loamic, Nechic, Protospodic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
9.4.-2.3	betont frisch, mesotroph		176	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5K	30 t/ha Dolomit/1982			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Rotbuche	–		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
174	4,1/3,1		Sanitärhiebe	
sonstiges: –				

SLBK

Profilbeschreibungen (nach KA5)

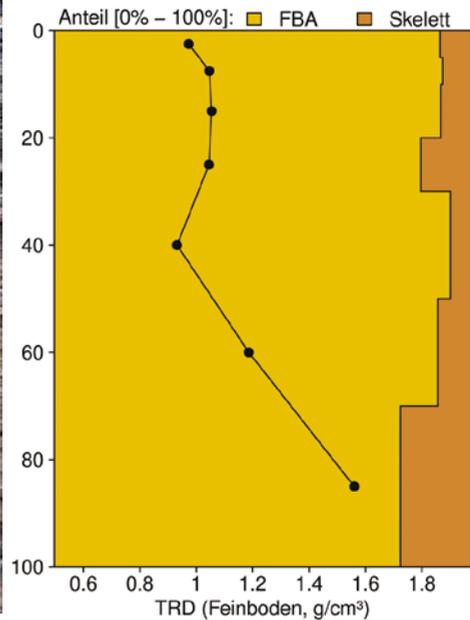
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus- gehalt	Lagerungs- dichte	Carbonat- gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-3.5 - -1.8	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,1
Of	-1.8 - -0.3	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,3
Oh	-0.3 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	0,8
Aeh	0 - 7	4	Ut2	h3	Ld1	c0	16,8
Bv	7 - 40	4	Ut3	h2	Ld2	c0	72,9
Bv	40 - 70	4	Ut3	h1	Ld2	c0	63,4
Cv	70 - 100	30	Lt3	h0	Ld3	c0	23,1
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							176,1
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							183,3

Benecke 30.6.1984

SLBK



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2020

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	76,8	13,6	9,9	4,2	0,12	35,1	6,1	9,1	5,26	4,78
Of	-	-	93,9	30,9	55,2	5,8	0,25	23,0	14,2	21,6	4,68	4,02
Oh	-	-	49,5	36,9	85,8	4,9	0,26	19,7	18,0	26,0	4,03	3,41
0 - 5	59,6	71,0	663	142	39,8	29,3	1,59	18,6	193	153	4,19	3,63
5 - 10	51,0	63,1	460	131	32,2	21,2	1,12	18,9	181	107	4,29	3,76
10 - 20	39,6	106	523	202	54,8	28,8	1,61	17,5	339	163	4,41	3,90
20 - 30	28,0	72,7	197	106	44,1	17,9	1,14	15,5	297	118	4,55	4,07
30 - 50	16,4	105	130	89,6	77,4	17,0	1,36	12,4	477	165	4,63	4,13
50 - 70	10,7	131	65,8	68,6	123	8,7	1,04	8,2	579	141	4,43	4,03
70 - 100	9,0	237	69,3	97,9	261	7,7	1,51	4,9	1196	227	4,50	3,98
Σ L-100cm		785	2327	919	783	146	9,98		3301	1129		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Die Monitoringfläche befindet sich im selben Waldbestand angrenzend zur Fläche SLB1 und dient als Vergleichsfläche zur Beobachtung der Wirkung einer hochdosierten Kalkungsmaßnahme. Die Fläche wurde 1982 mit 30 t/ha dolomitischem Kalk beaufschlagt. Die Kalkmenge sollte ausreichen, um die Basensättigung im Mineralboden bis 50 cm Tiefe auf mindestens 20 % anzuheben (Meiwes 2000). Der Boden ist vergleichsweise homogen, da es sich um einen Schluffboden mit mäßigem Skelettanteil handelt. Dies zeigt die Streuung der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte, die mit Variationskoeffizienten unter 20 % für alle Elemente mit Ausnahme von Calcium (Ca) und Schwefel (S) gering ist.

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N)- und Kohlenstoff (C)-Vorräte lagen 2020 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei mäßig weitem bis mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. Im Vergleich zur unbehandelten Fläche SLB1 ist der N-Vorrat im gesamten Profil höher.

In der Humusaufgabe nahmen die C- und N-Vorräte zwischen 1982 und 2010 ab, möglicherweise als Folge der Kalkungsmaßnahme. Im Mineralboden ist eine Abnahme nur bis 1999 zu beobachten, danach stiegen die C- und N-Vorräte bis 2010 wieder an. Zwischen 2010 und 2020 änderten sie sich im gesamten Profil nur noch wenig.

Die Ca- und Magnesium (Mg)-Vorräte lagen 2020 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe im mäßig hohen Bereich. Sie sind damit wesentlich höher als im Boden der nicht gekalkten Fläche SLB1. Die Kalium (K)-Vorräte liegen im mittleren Bereich und sind damit mit denen der Fläche SLB1 vergleichbar.

In der Auflage verhalten sich die Ca- und Mg-Vorräte wie die Humusvorräte. Sie nahmen bis 2010 sehr stark ab und bis 2020 wieder leicht zu. Diese Veränderung zeigt sich auch in der Humusform, die sich vom feinhumusarmen Moder in einen mullartigen Moder gewandelt hat. Im Oberboden nahmen Ca- und Mg-Vorräte bis 2010 stark zu und danach wieder leicht ab. Im Unterboden ist keine Veränderung zu sehen. Der austauschbare K-Vorrat nahm zwischen 1999 und 2010 im ganzen Mineralboden ab und bis 2020 wieder leicht zu. Durch die hohe Zufuhr von Ca- und Mg-Ionen aufgrund der Kalkung wurde K wahrscheinlich von den Austauscherplätzen verdrängt.

Mit einem Vorrat von 3301 kg/ha lag der Phosphor (P)-Vorrat 2020 im oberen Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1986 und 2020 hat er sich nur wenig verändert.

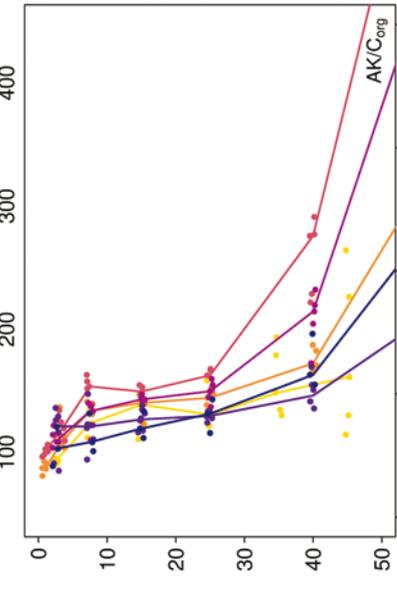
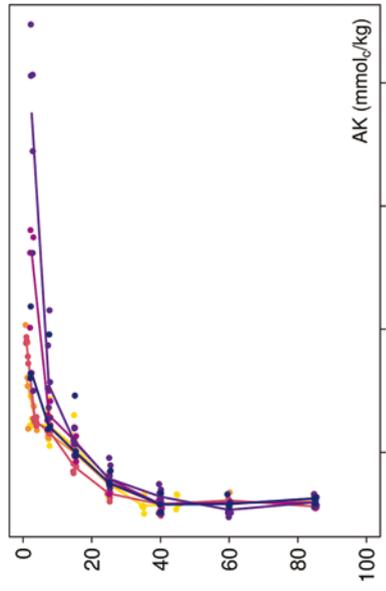
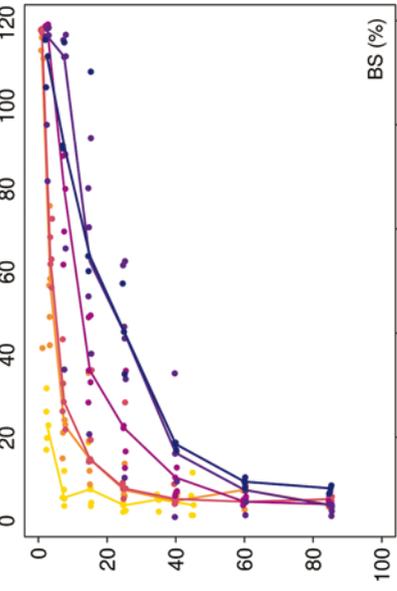
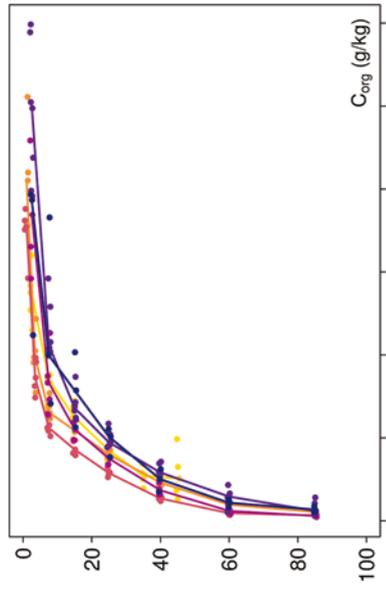
Der S-Vorrat lag 2020 mit 1129 kg/ha zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil mit hohen Anteilen im Oberboden, insbesondere in 0-10 cm Tiefe. Zwischen 2001 und 2010 hat der S-Vorrat im Unterboden sehr stark abgenommen. Danach hat sich dieser Trend deutlich abgeschwächt. In der Humusaufgabe und im Oberboden war die Abnahme sehr viel geringer.

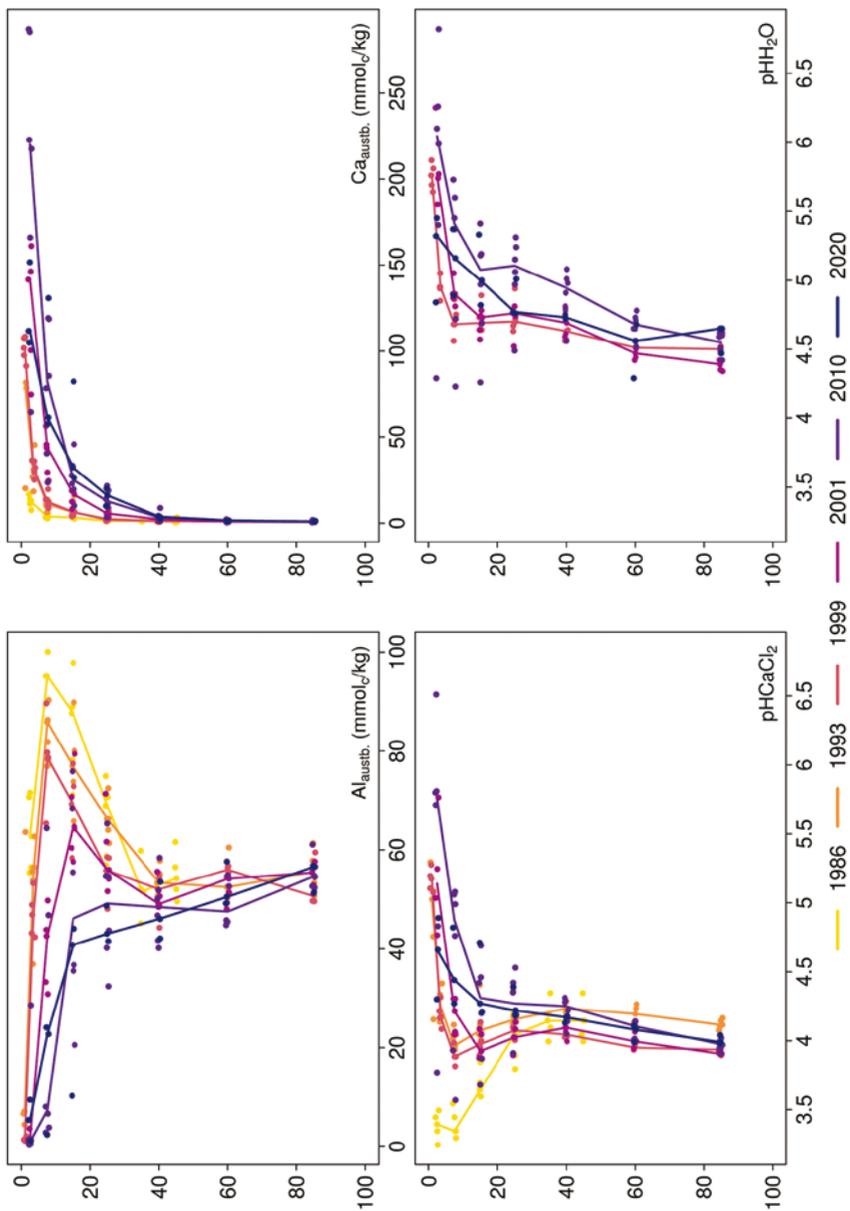
Säure-Base-Status und -Dynamik

Der zu Beginn des Untersuchungszeitraums (1986) tiefgründig versauerte Boden konnte anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 20 cm dem Aluminium-Pufferbereich und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zugeordnet werden. Im gesamten Profil war der Boden durchgängig basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Nach der Kalkung stiegen die pH-Werte (CaCl_2) in der Humusaufgabe zwischen 1986 und 2001 um fast 1,5 pH-Einheiten stark an, und nahmen danach wieder sehr stark ab. Im Oberboden stiegen sie zwischen 1986 und 2010 sogar um bis zu 3 pH-Einheiten an und nahmen bis 2020 nur leicht ab. 2020 konnte der Boden deshalb bis in 5 cm Tiefe dem Aluminium-Pufferbereich und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich zugeordnet werden. Die Basensättigung stieg zwischen 1986 und 2010 im Oberboden von unter 10 % auf z. T. über 90 % an. Im Unterboden wurden Werte bis 20 % erreicht. Auch der Basensättigungsverlauf entspricht nicht mehr dem Typ 5, sondern dem Typ 6 nach Hartmann und von Wilpert (2016). Ab 2010 nahm die Basensättigung wieder leicht ab. Eine Berechnung der Ca-Vorräte ergab, dass von den 180 kmolc/ha Ca, die dem Boden durch die Kalkung zugeführt wurden, 160 kmolc/ha austauschbar gebundenes Ca im Oberboden gefunden werden konnten (2010).

Solling Buche Kalkung

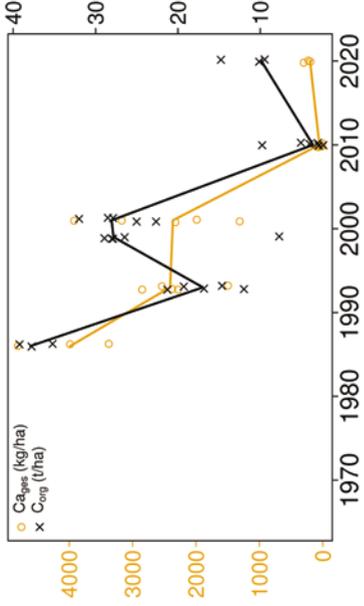
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



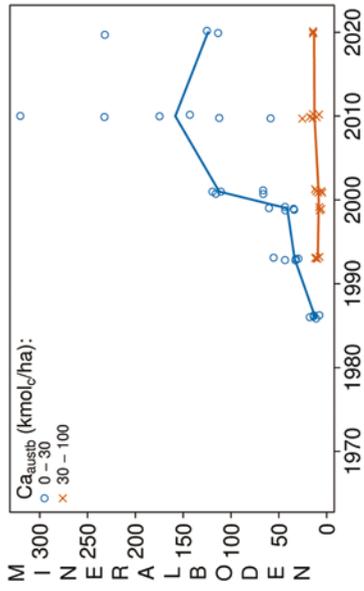
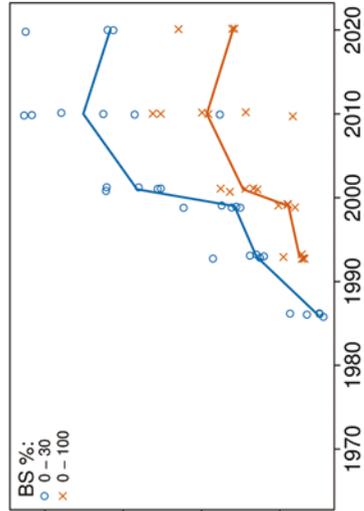
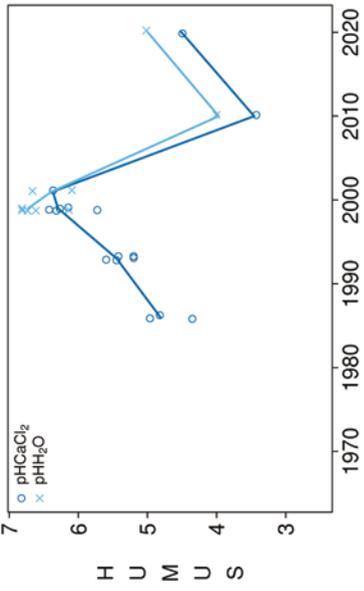


SLBK

Vorrats- und pH-Änderungen



Solling Buche Kalkung



Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2020)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	16,58	1,61	17,88	4,00	2,29	0,43	0,42	0,34	0,200	2,94	19,19	6,85	9,22	97,87	41,35
5	10	18,79	1,07	20,21	4,41	2,54	0,45	0,37	0,22	0,106	3,61	21,19	5,03	10,41	64,19	36,61
10	20	21,43	0,64	21,29	4,62	2,77	0,54	0,35	0,17	0,080	4,83	23,51	4,69	12,42	41,37	40,76
20	30	23,81	0,33	22,43	4,89	2,99	0,67	0,32	0,13	0,091	6,82	25,03	3,94	18,61	20,64	48,80
30	50	24,90	0,18	23,67	5,42	3,40	0,57	0,27	0,09	0,064	8,03	26,55	3,55	25,10	12,47	59,74
50	70	25,59	0,09	27,18	6,51	3,69	0,50	0,27	0,07	0,056	8,46	28,14	3,94	25,83	12,40	55,17
70	100	26,08	0,06	29,30	7,14	3,91	0,63	0,31	0,06	0,065	10,04	29,50	4,20	29,72	13,63	57,35

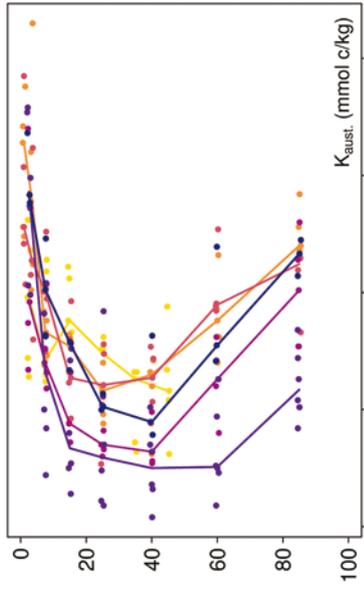
bis 25%-Quantil
 25 %-Quantil - Med.
 Med. - 75 %-Quantil
 75 %-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2020)

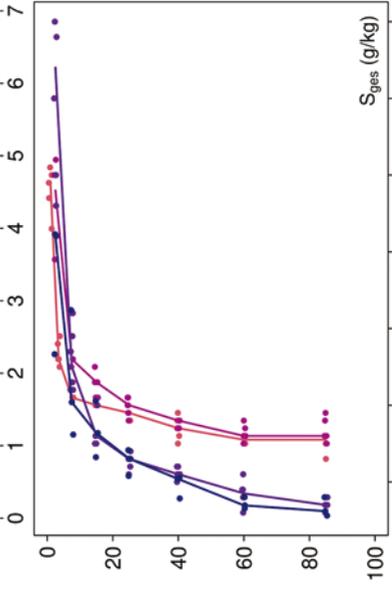
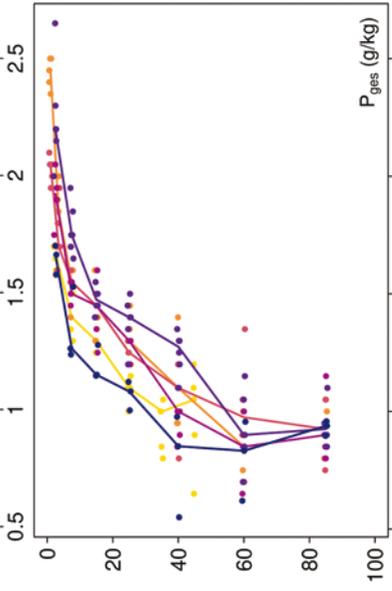
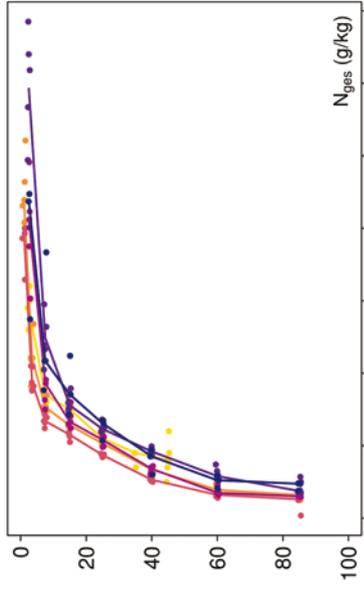
von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	13	69	12	14	19	39	8	22	62	31	10	21	18	16	25
5	10	16	84	13	17	19	21	6	33	42	29	12	34	24	29	17
10	20	11	83	8	16	16	12	5	28	25	21	10	27	22	41	13
20	30	8	46	9	14	13	8	4	19	30	18	9	9	41	32	10
30	50	5	35	8	14	11	23	11	11	16	22	6	9	25	15	8
50	70	5	31	6	13	11	10	11	13	9	15	5	20	14	25	9
70	100	6	22	5	4	8	21	11	19	7	11	5	21	18	23	11

0-20 %
 20-50 %
 >50 %

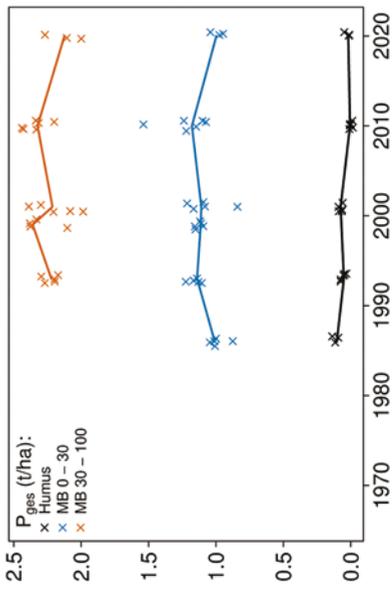
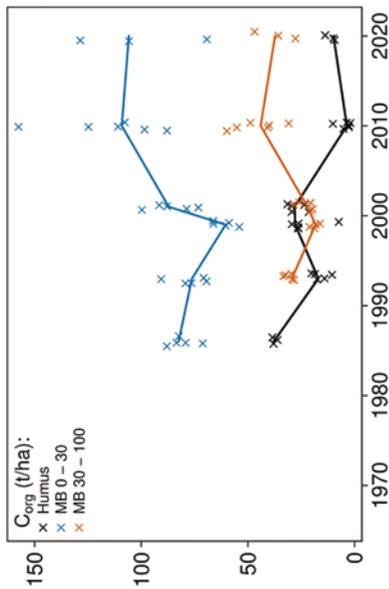
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



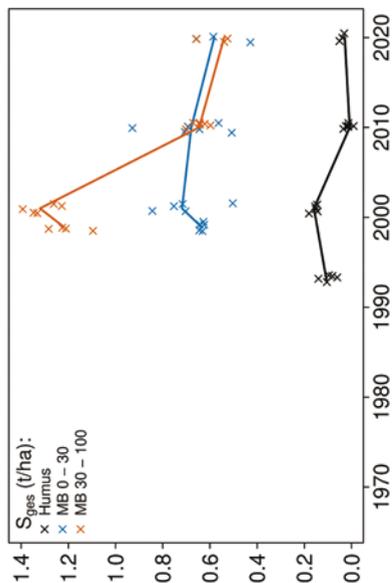
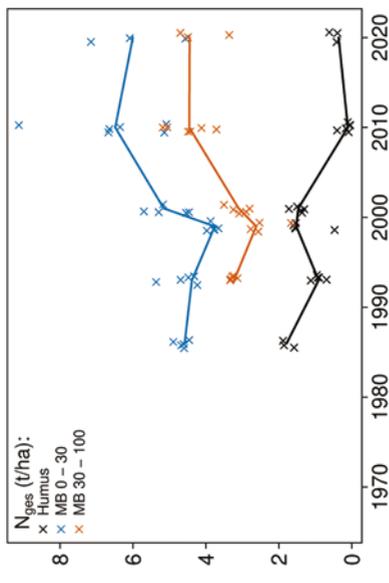
Solling Buche Kalkung



Vorratsänderungen (t/ha)



Solling Buche Kalkung



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine podsolige Braunerde die sich aus Lösslehm-Fließerden über Buntsandstein gebildet hat. Dieser wenig skeletthaltige Boden weist mäßige, ab 50 cm Tiefe hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) eine mittlere und für Kupfer (Cu) eine geringe Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen zudem bis in 5 cm Tiefe über dem Vorsorgewert und in 5-20 cm Tiefe über dem halben Vorsorgewert der BBodSchV.

Die Gehalte der Humusaufgabe sind für Cadmium (Cd), Cu, Pb und Zink (Zn) höher als die Hintergrundwerte von Waldböden (Bommaré et al. 2021). Im Mineralboden werden sie für alle Schwermetalle überschritten.

In der Humusaufgabe überschreiten die Pb-Gehalte auch den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Die Cd- und Pb-Gehalte liegen im Oberboden im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen und nehmen mit zunehmender Tiefe auf Werte ab, die jedoch immer noch über dem Median liegen. Für Kobalt (Co), Chrom (Cr), Nickel (Ni) und Zn liegen sie bis in 10 cm Tiefe zwischen dem Median und dem 75 %-Quartil und steigen mit zunehmender Tiefe auf sehr hohe Werte an (oberes Quartil). Die Cu-Gehalte liegen im ganzen Profil bis in 1 m Tiefe im 3. Quartil und zeigen keine Tiefendynamik.

SLBK

In der Humusaufgabe sind die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Cu und Ni höher als der Median.

Zwischen 2010 und 2020 haben die Vorräte aller Schwermetalle in der Humusaufgabe stark zugenommen. Für den Mineralboden können keine Aussagen gemacht werden, da es nur von einer Inventur Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist durch Cd, Cu, Pb und Zn kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Nach der Kalkung der Fläche mit großen Mengen Dolomit (30 t/ha 1982) ist es zu einer massiven Erhöhung des pH-Werts und der Calcium (Ca)- und Magnesium (Mg)-Gehalte gekommen. Dies hat sich offensichtlich positiv auf die biologische Aktivität im Boden dieser Fläche ausgewirkt, da es zunächst zu einem starken Abbau der organischen Substanz gekommen ist, der erst in letzter Zeit wieder rückläufig ist. Durch den Humusvorratsabbau nach der Kalkung ist es offensichtlich bei Cd- und Pb zu einer Verlagerung in den Oberboden gekommen, da deren Gehalte im Oberboden wesentlich höher als in größerer Tiefe sind. Im Vergleich zu Pb ist das mobilere Cd dabei in größere Tiefen vorgedrungen. Im Vergleich zu der unbehandelten Fläche SLB1 sind diese Elemente zudem tiefer und in größerem Ausmaß verlagert worden. Die Zunahme der organischen Auflage in der jüngeren Vergangenheit hat ab 2010 zu einer starken Zunahme aller Schwermetall-Vorräte in der Humusaufgabe geführt, während sich die Schwermetall-Gehalte im gesamten Zeitraum auf ähnlichem Niveau bewegen. Auffällig ist auch, dass die Schwermetall-Gehalte der Löss-Lagen kleinräumig sehr unterschiedlichen sind und im Boden dieser Fläche vor allem in tieferen Schichten wesentlich höher als im Boden der Fläche SLB1 und niedriger als im Boden der Fläche SLF1 sind.

Bewertung Schwermetalle (2020)

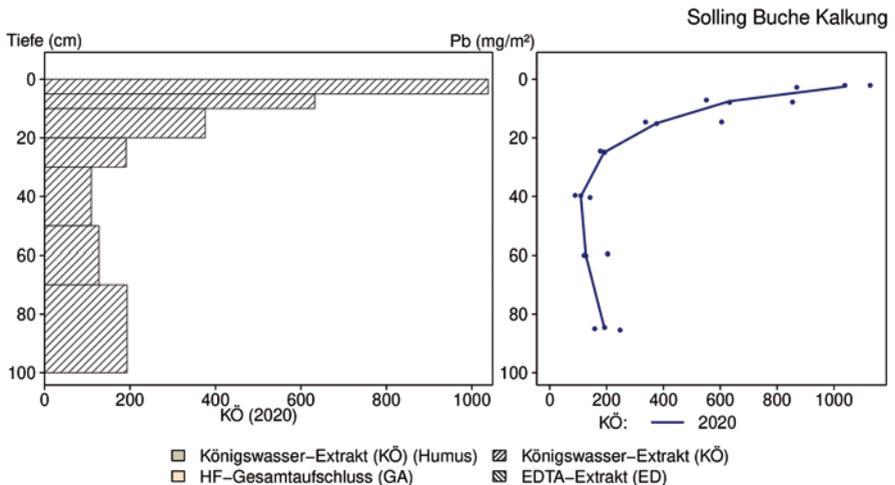
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,20	2,94	19,19	6,85	9,22	97,87	41,35
5	10	0,11	3,61	21,19	5,03	10,41	64,19	36,61
10	20	0,08	4,83	23,51	4,69	12,42	41,37	40,76
20	30	0,09	6,82	25,03	3,94	18,61	20,64	48,80
30	50	0,06	8,03	26,55	3,55	25,10	12,47	59,74
50	70	0,06	8,46	28,14	3,94	25,83	12,40	55,17
70	100	0,06	10,04	29,50	4,20	29,72	13,63	57,35
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

> Vorsorgewert

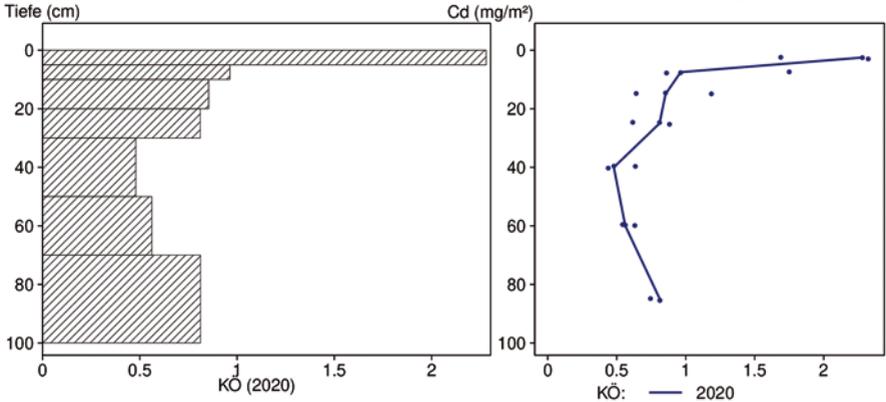
> 1/2 Vorsorgewert

SLBK

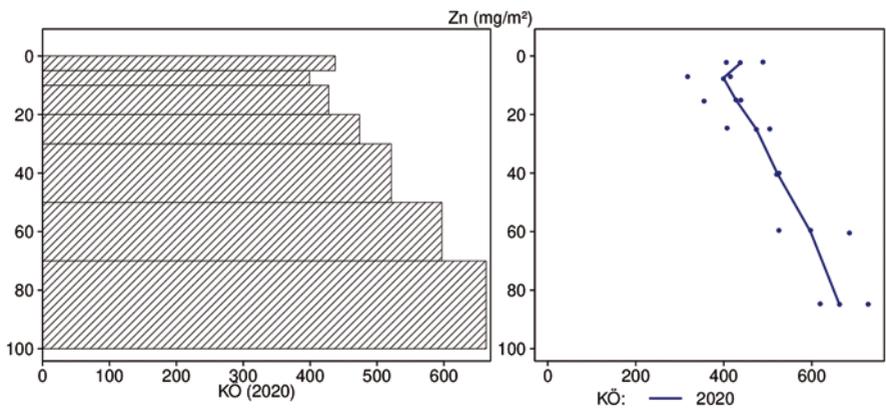
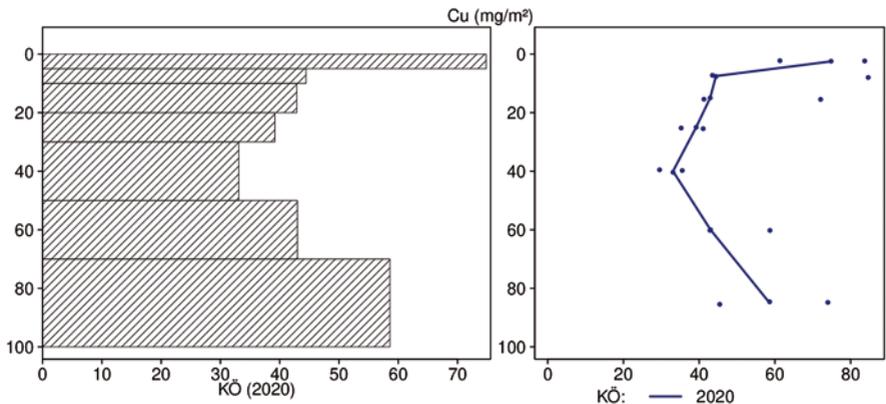
Schwermetallvorräte



Solling Buche Kalkung

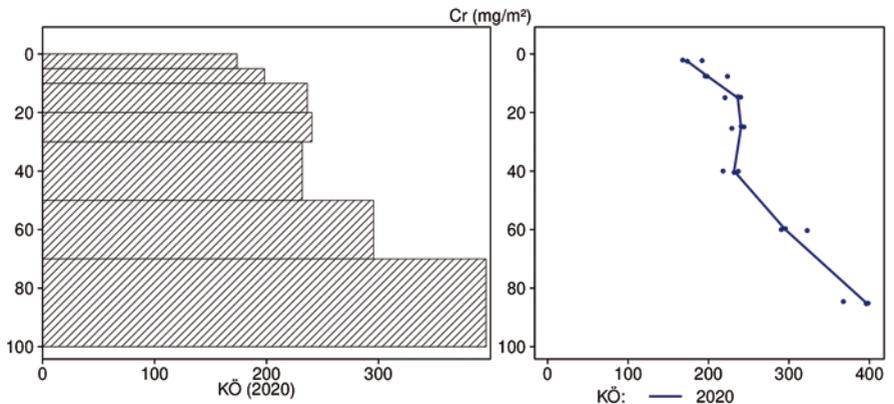
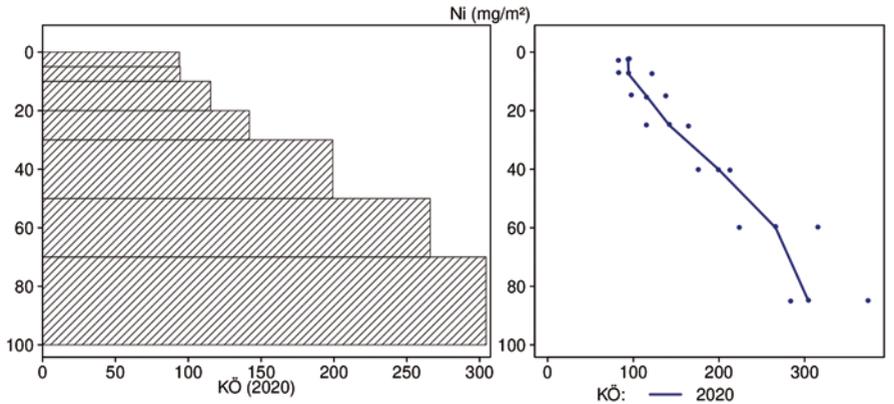
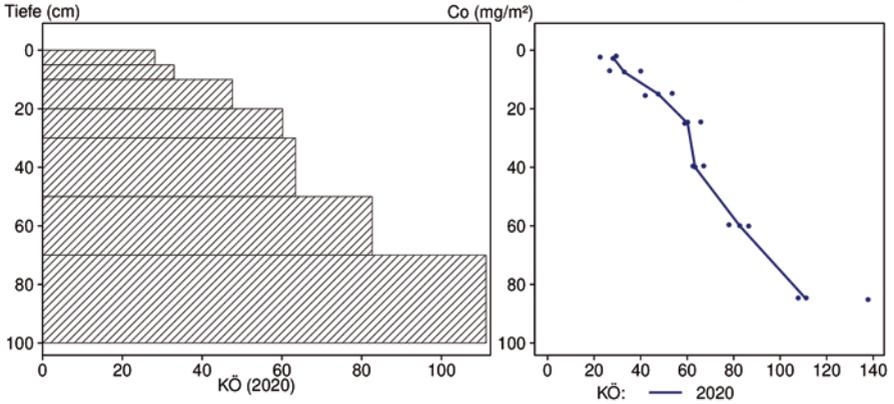


SLBK



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- EDTA-Extrakt (ED)

Solling Buche Kalkung



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- EDTA-Extrakt (ED)

SLBK

12.22 Solling Buche Versauerung (SLBN)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Dassel 4251j		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland	539900			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	508/0-2/S		
Hoher Solling	5734700			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
–				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1982 (Forschungsprojekte), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, 1993-2010, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
–				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
–				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-15 %, mäßig skeletthaltig	
<i>Humusform (n. KAS)</i>	<i>Bodentyp (n. KAS)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
typischer feinhumusarmer Moder (MOA)	Braunerde		Dystric Cambisol (Epiarenic, Loamic, Nechic, Protospodic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
9.4.-2.3	betont frisch, mesotroph		176	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	140 kg N/ha/Jahr als (NH ₄) ₂ SO ₄ /1983-1993			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Rotbuche	–		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
174	4,1/3,1		Sanitärhiebe	
sonstiges: –				

SLBN

Profilbeschreibungen (nach KA5)

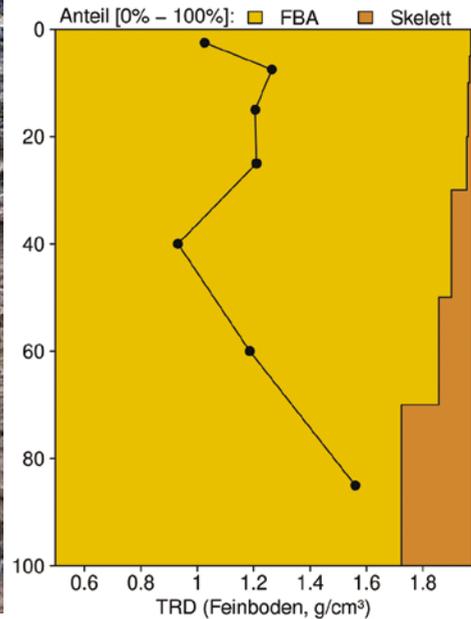
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-3.5 - -1.8	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,1
Of	-1.8 - -0.3	0	Vb	h7	Ld0	c0	3,3
Oh	-0.3 - 0	0	Vb	h7	Ld0	c0	0,8
Aeh	0 - 7	4	Ut2	h3	Ld1	c0	16,8
Bv	7 - 40	4	Ut3	h2	Ld2	c0	72,9
Bv	40 - 70	4	Ut3	h1	Ld2	c0	63,4
Cv	70 - 100	30	Lt3	h0	Ld3	c0	23,1
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							176,1
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							183,3

Benecke 30.6.1984

SLBN



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2010

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	13,6	2,2	4,3	1,4	0,05	29,9	2,4	3,0	4,72	4,29
Of	-	-	76,3	19,6	50,9	15,9	0,62	25,6	23,9	52,8	3,92	3,35
Oh	-	-	42,8	43,6	161	12,4	0,63	19,6	31,1	71,8	3,41	2,93
0 - 5	9,4	67,0	55,8	18,2	54,8	30,6	1,72	17,8	312	209	3,66	3,06
5 - 10	5,4	78,0	30,5	12,3	45,8	21,3	1,16	18,3	284	133	3,83	3,26
10 - 20	3,9	116	25,8	12,2	58,6	25,6	1,61	15,9	463	183	4,11	3,61
20 - 30	3,6	87,2	15,6	6,9	47,0	17,3	1,28	13,5	447	157	4,29	3,88
30 - 50	3,4	106	15,2	7,0	62,2	15,8	1,44	11,0	620	219	4,38	4,02
50 - 70	4,0	122	15,2	8,7	94,7	8,2	1,11	7,4	732	177	4,38	3,99
70 - 100	4,0	212	23,1	13,5	188	6,1	1,32	4,6	1361	254	4,35	3,95
Σ L-100cm		788	314	144	767	155	10,96		4276	1458		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Die Monitoringfläche befindet sich im selben Waldbestand in unmittelbarer Nähe zur Fläche SLB1 und dient als Vergleichsfläche zur Beobachtung der Wirkung einer Düngungsmaßnahme, die zu einer weiteren Versauerung des Bodens führen sollte. Die Fläche wurde mit 140 kg N/ha/Jahr als Ammoniumsulfat ((NH₄)₂SO₄) in den Jahren 1983-1993 beaufschlagt (Meesenburg et al. 2004, Evans et al. 2008). Der Boden ist vergleichsweise homogen, da es sich um einen Schluffboden mit mäßigem Skelettanteil handelt. Dies zeigt das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren relativ eng zusammen liegt.

Nährelementstatus

In der Humusaufgabe haben die Kohlenstoff (C)- und Stickstoff (N)-Vorräte zwischen 1986 und 1993 leicht abgenommen, sind bis 2001 wieder auf das Niveau von 1986 angestiegen und haben sich danach nur noch wenig verändert. Auf der Fläche SLB1 haben sie im ganzen Zeitraum zugenommen. Im Oberboden ist der Verlauf anders, hier ist der N-Vorrat zwischen 1986 und 1993 um fast 1,7 t/ha stark angestiegen und bis 2001 wieder auf das Niveau von 1986 abgefallen. Bis 2010 veränderte er sich nur noch wenig. Im Boden der Fläche SLB1 ist der N-Vorrat zwischen 1986 und 1993 lediglich um 0,2 t/ha angestiegen. Im Unterboden

haben die Vorräte zwischen 1993 und 2001 in ähnlicher Größenordnung wie im Oberboden abgenommen. Für den Zeitraum vor 1993 gibt es für den Unterboden keine Daten. Die zwischen 1983 und 1993 zugeführte N-Menge von 1,4 t/ha befindet sich am Ende der Düngungsperiode somit zum größten Teil im Oberboden und geht danach über einen relativ kurzen Zeitraum von 10 Jahren zum größten Teil wieder verloren. 2010 sind die N-Vorräte aber immer noch hoch (Forstliche Standortaufnahme 2016), und mit 11 t/ha höher als im Boden der unbehandelten Fläche SLB1 (8,4 t/ha). Das C/N-Verhältnis ist mit mittlerem bis mäßig engem Verhältnis im Oberboden und engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe vergleichbar.

Der Calcium (Ca)-Vorrat ist 2010 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe gering. Die Versorgung mit Magnesium (Mg) und Kalium (K) ist mit mäßigen bzw. mittleren Vorräten etwas besser. Insgesamt sind die Vorräte mit denen im Boden der Fläche SLB1 vergleichbar. In der Auflage verhält sich der Ca-Vorrat wie der Humusvorrat. Sie nahmen zwischen 1986 und 1993 ab und stiegen danach bis 2010 wieder leicht an. Im Oberboden nahmen sie zwischen 1986 und 2010 ebenfalls leicht zu. Im Unterboden ist ein negativer Trend zwischen 1993 und 2001 zu sehen, der ab 2001 schwächer wird. Der K-Vorrat veränderte sich im gesamten Profil nur wenig.

Mit einem Vorrat von 3301 kg/ha lag der Phosphor (P)-Vorrat 2010 im oberen Quartil der Vorräte aller Flächen. Zwischen 1986 und 2010 hat er sich nur wenig verändert.

Der Schwefel (S)-Vorrat hat zwischen 2001 und 2010 insbesondere im Unterboden stark abgenommen und lag 2010 mit 1458 kg/ha (oberes Quartil) immer noch über dem Vorrat von 1061 t/ha der Fläche SLB1. Für den Zeitraum der Ammoniumsulfat-Ausbringung zwischen 1983 und 1993 gibt es leider keine Messwerte.

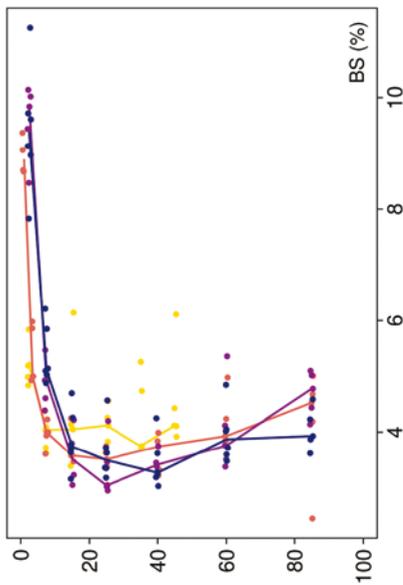
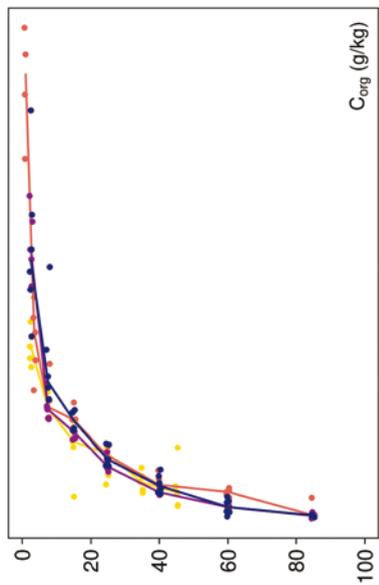
SLBN

Säure-Base-Status und -Dynamik

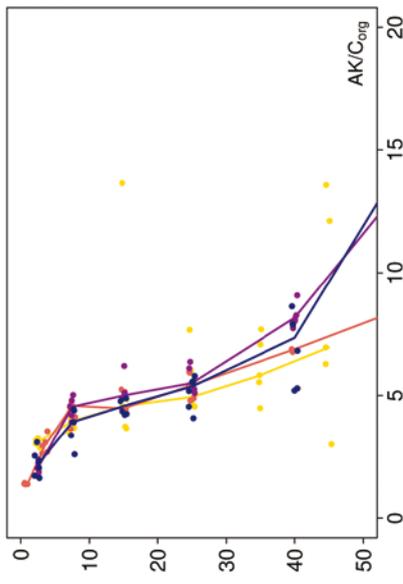
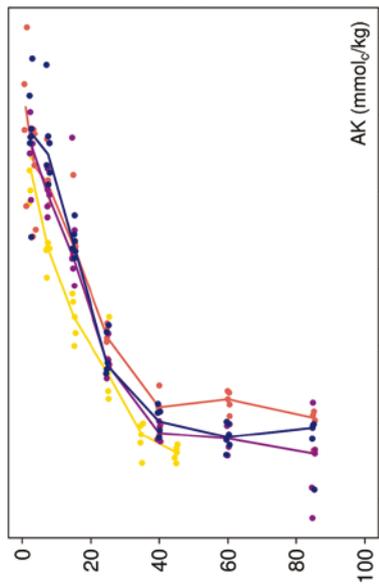
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 20 cm Tiefe dem Aluminium- und in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1986 und 1993 veränderte sich die Basensättigung im Oberboden kaum. Danach stieg sie bis 2001 auf Werte über 5 % leicht an und blieb bis 2020 auf diesem Niveau. Im Unterboden ist zwischen 1993 und 2010 keine Veränderung festzustellen. Vor 1993 gibt es keine Messwerte.

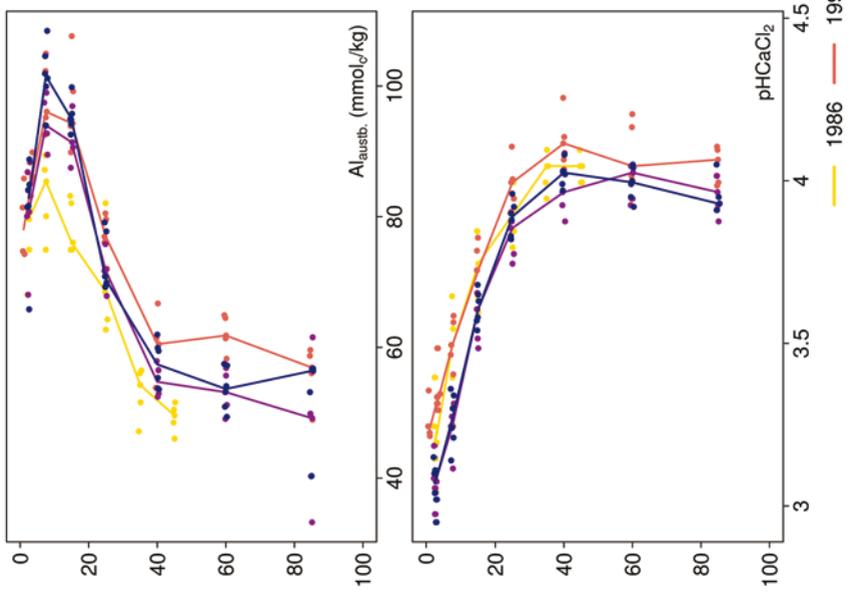
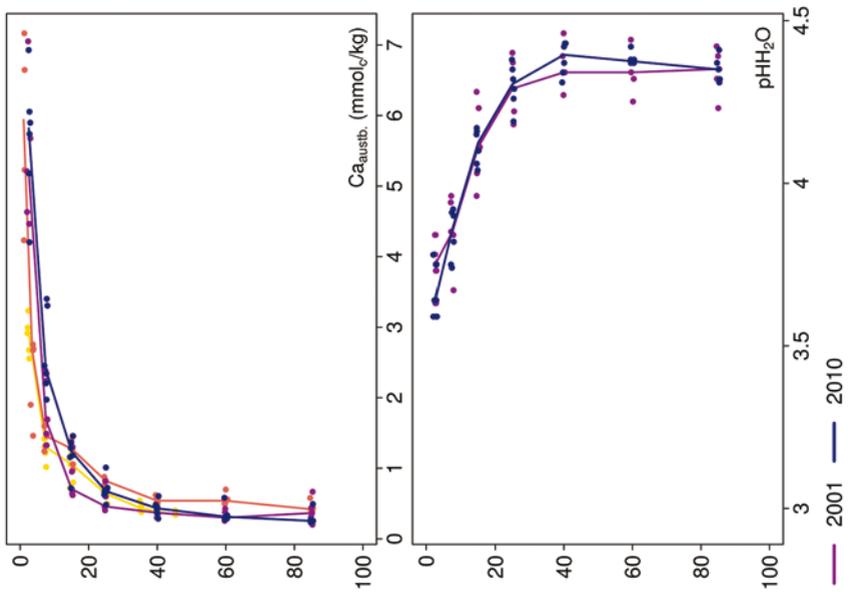
Beim pH-Wert ist ein leichter Anstieg mit zunehmender Tiefe zu verzeichnen, was auf eine mit zunehmender Tiefe abnehmende Versauerung hindeutet. Zwischen 1993 und 2001 haben die in CaCl_2 -Lösung gemessenen pH-Werte im Oberboden weiter abgenommen. Im Unterboden kann keine Veränderung festgestellt werden.

Solling Buche Versauerung



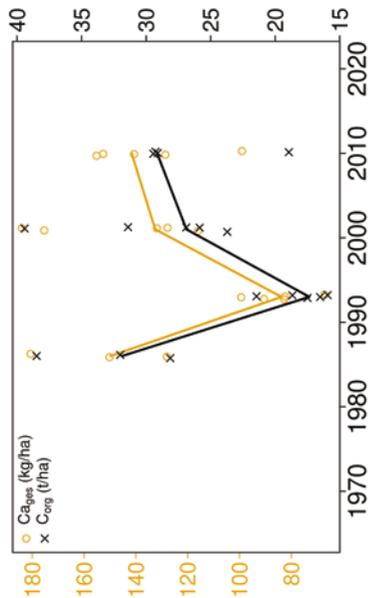
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



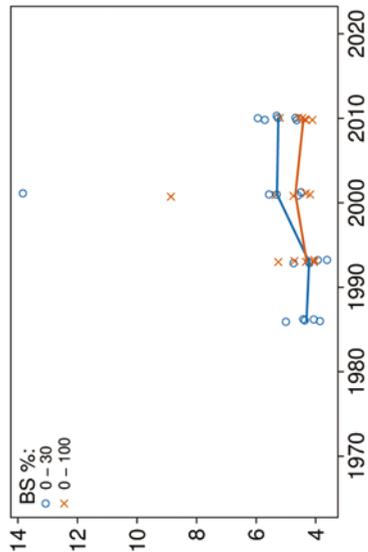
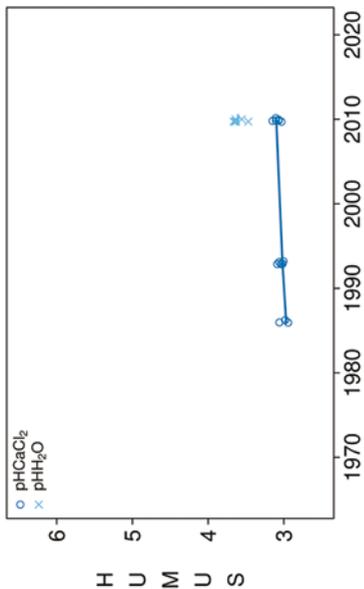


SLBN

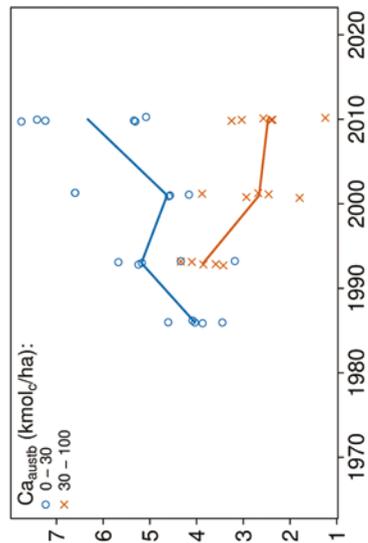
Vorrats- und pH-Änderungen



Solling Buche Versauerung



MINERALBODEN



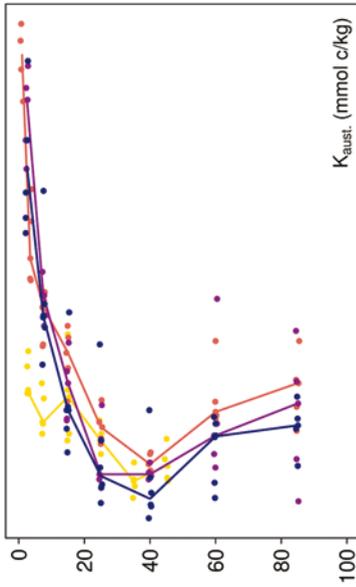
Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe

<i>keine Werte vorhanden</i>

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe

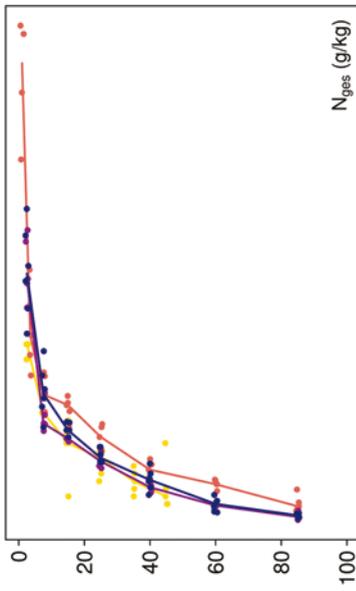
<i>keine Werte vorhanden</i>

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

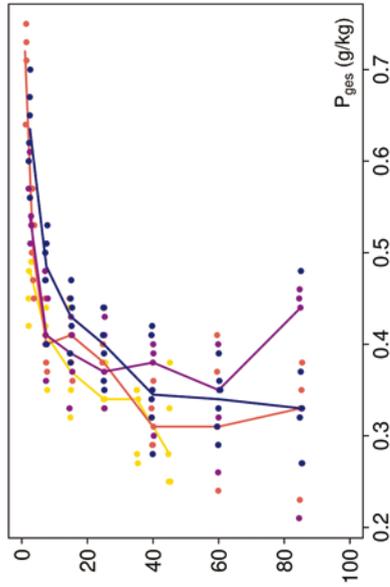


$K_{\text{aust.}}$ (mmol c/kg)

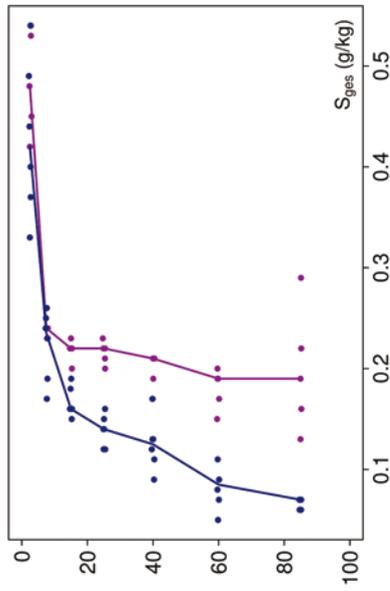
Solling Buche Versauerung



N_{ges} (g/kg)



P_{ges} (g/kg)

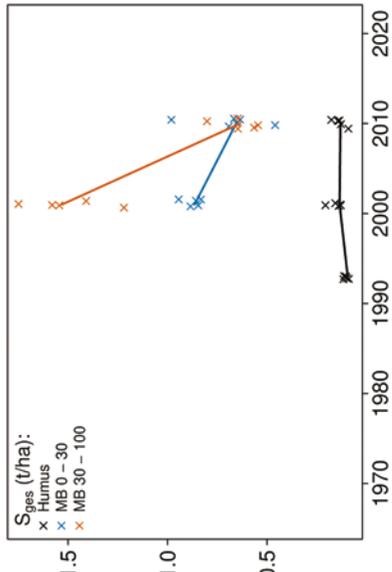
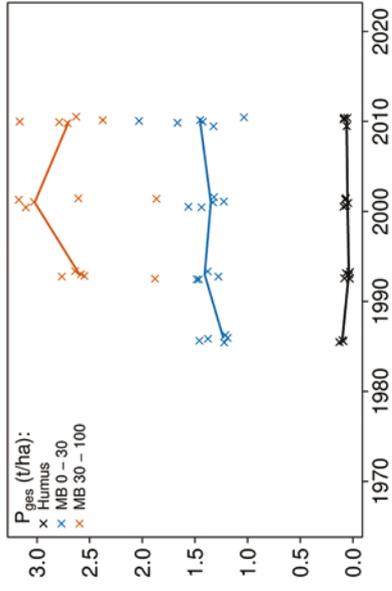
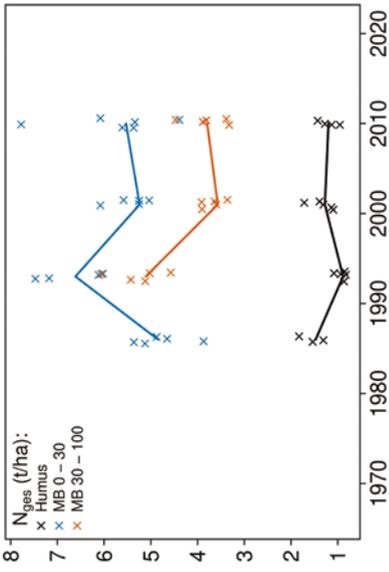
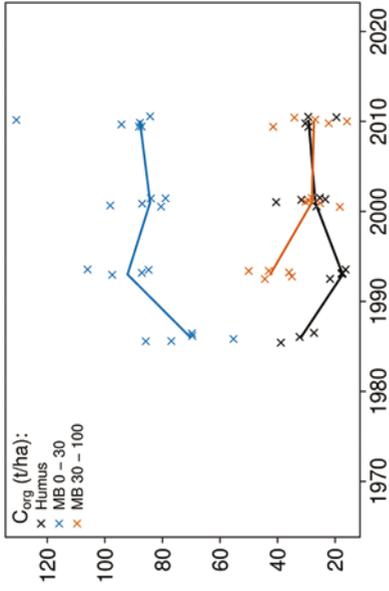


S_{ges} (g/kg)

— 2001 — 2001 — 1993 — 1986

Solling Buche Versauerung

Vorratsänderungen (t/ha)



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine podsolige Braunerde, die sich aus Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein gebildet hat. Dieser mäßig skeletthaltige Boden weist mäßige, ab 50 cm Tiefe hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Da für den Mineralboden keine Messwerte vorliegen, kann nur die Situation in der Humusaufgabe betrachtet werden.

Die Gehalte der Humusaufgabe lagen 2010 für alle Schwermetalle mit Ausnahme von Cadmium (Cd) über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommarez et al. 2021). Für Blei (Pb) überschreiten sie zudem den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

In der Humusaufgabe liegen die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Cd im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen.

Über eine Veränderung der Schwermetall-Vorräte kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für die Inventur von 2010 Messwerte gibt.

Die Humusaufgabe ist, mit Ausnahme von Cd, mit allen Schwermetallen kontaminiert, da die Gehalte im oberstes Quartil liegen, sie die Hintergrundwerte überschreiten und für Pb sogar der kritische Level verletzt wird. Der Vergleich mit der sich in unmittelbarer Nähe befindenden unbehandelten Fläche SLB1 zeigt außer für Cd höhere Gehalte für alle Schwermetalle in der Humusaufgabe dieser Fläche. Dies könnte an der Behandlung der Fläche mit insgesamt 1,4 t Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1983-1993) liegen. Da es jedoch keine Informationen über den Schwermetallgehalt des Ammoniumsulfats gibt, bleibt dies eine Vermutung.

SLBN

Bewertung Schwermetalle

keine Werte vorhanden

SLBN

Schwermetallvorräte

keine Werte vorhanden

keine Werte vorhanden

keine Werte vorhanden

SLBN

12.23 Solling Fichte (SLF1)

Standörtliche Grundlagen				
<i>Forstamt Abteilung</i>		<i>Bundesland</i>		
Dassel 28j1		Niedersachsen		
<i>Wuchsgebiet</i>	UTM E	<i>Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition</i>		
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland	540000			
<i>Wuchsbezirk</i>	UTM N	504/0-1/O		
Hoher Solling	5735000			
Klima				
<i>Klimafeuchtestufe</i>	<i>Niederschlag pro Jahr [mm]</i>		<i>Niederschlag VZ [mm]</i>	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	<i>mittlere Temperatur [°C]</i>		<i>mittl. Temperatur VZ [°C]</i>	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
BDF-F 7 (Intensiv), Level II Core plot 305				
<i>Bodenuntersuchungen</i>				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1968 (Forschungsprojekte), chem. und mikrobiol. Bodeninventuren alle ±10 Jahre, seit 1995, einmalige physikalische Inventur				
<i>sonstige Untersuchungen Boden</i>				
org. Schadstoffe (PAKs, PCBs, CKWs), ab 1995, alle ±10 Jahre, Radionuklide (Cs-134, Cs-137), 1995-2001, alle ±10 Jahre				
<i>weitere Untersuchungen</i>				
Bodenlösung, Hydrologie, Deposition, Meteorologie, Streufall, Bodenvegetation, LAI, Kronenzustand, Baumwachstum, Phänologie, Nadel-/Blattanalyse, CO ₂ Bodenrespiration, Ozon (passiv)				
Boden				
<i>Ausgangssubstrat</i>	<i>Substratgruppe (n. BZE II)</i>		<i>Skelett</i>	
Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-20 %, mäßig skeletthaltig	
<i>Humusform (n. KA5)</i>	<i>Bodentyp (n. KA5)</i>		<i>Bodentyp (n. WRB 2014)</i>	
feinhumusreicher rothumusartiger Moder (MRR)	Braunerde, podsolig		Albic Endoprotostagnic Podzol (Pantoloamic)	
<i>Standortstyp Bundesland</i>	<i>Standortstyp Synopse NW-FVA</i>		<i>nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)</i>	
19.3.3.5 s	betont frisch, schwach mesotroph		147	
<i>Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)</i>	<i>Kalkung (Menge/Jahr)</i>			
5	-			
Bestand				
<i>Hauptbaumart</i>	<i>Nebenbaumart(en)</i>		<i>potenziell natürliche Vegetation</i>	
Fichte	-		Hainsimsen-Buchenwald	
<i>Bestandesalter (2021)</i>	<i>Zuwachs (2000-2020) [m³ je ha]/Ertragsklasse</i>		<i>waldbauliche Behandlung</i>	
140	6,0/2,1		schwache Niederdurchforstung	
sonstiges: -				

SLF1

Profilbeschreibungen (nach KA5)

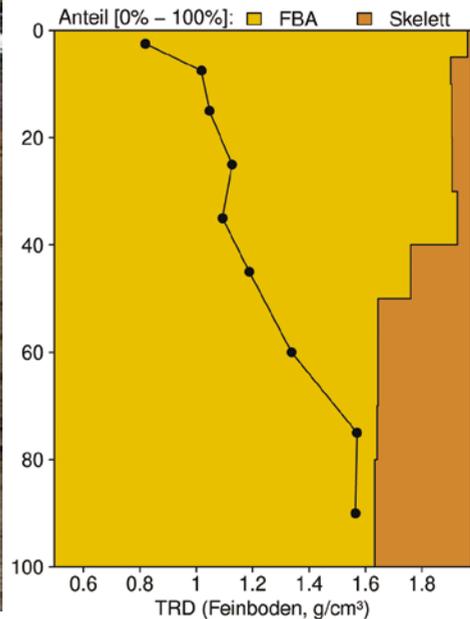
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humusgehalt	Lagerungsdichte	Carbonatgehalt	nFK mm/ Horizont
L	-11 - -9	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,6
Of	-9 - -4	0	Vn	h7	Ld0	c0	11,0
Oh	-4 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	10,4
Ahe	0 - 10	5	Ut4	h3	Ld1	c0	21,9
Bsv	10 - 15	15	Ut4	h2	Ld1	c0	9,4
Al-Bv	15 - 60	10	Ut3	h1	Ld2	c0	89,1
Btv	60 - 75	33	Lu	h0	Ld3	c0	14,1
IIBtv	75 - 95	66	Ls2	h0	Ld4	c0	9,5
IIIBv-Cv	95 - 135	57	Ls3	h0	Ld4	c0	22,4
IIIiCv	135 - 235	90	SI4	h0	Ld3	c0	13,0
IIIixCv	235 - 280	96	SI4	h0	Ld3	c0	2,3
IVixCv	280 - 360	96	Lts	h0	Ld5	c0	2,9
VimCv	360 - 380	96	Ls4	h0	Ld5	c0	0,8
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							146,7
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							171,7

Deutschmann 30.6.1992

SLF1



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2020

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	43,2	8,0	16,5	7,0	0,24	29,4	12,0	20,7	4,24	3,52
Of	-	-	59,8	22,8	44,9	15,7	0,60	26,3	25,1	61,6	3,73	2,94
Oh	-	-	33,5	44,4	97,8	17,3	0,70	24,2	37,8	82,5	3,43	2,76
0 - 5	3,4	59,0	9,7	6,2	22,5	19,5	1,02	18,8	141	125	3,59	3,08
5 - 10	2,9	60,5	6,1	5,1	22,9	16,9	0,89	18,6	139	111	3,75	3,31
10 - 20	3,1	78,1	4,2	5,8	40,1	19,5	1,22	16,0	264	187	4,09	3,76
20 - 30	3,1	55,3	0,9	2,7	36,3	11,9	0,93	12,7	286	215	4,28	4,09
30 - 40	3,9	51,3	1,0	2,6	44,7	8,1	0,76	10,6	270	206	4,36	4,14
40 - 50	4,1	55,7	0,0	2,6	56,6	4,1	0,53	7,7	245	180	4,37	4,06
50 - 70	4,2	140	0,3	6,9	157	4,1	0,87	4,7	529	329	4,35	3,96
70 - 80	4,7	87,9	0,6	4,9	108	1,6	0,49	3,2	374	201	4,33	3,88
80 - 100	5,0	175	8,5	12,5	221	3,0	1,01	2,8	900	416	4,33	3,86
Σ L-100cm		763	168	124	868	129	9,27		3224	2135		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2), ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Auf der Monitoringfläche Solling Fichte stockt ein 140-jähriger Fichten-Reinbestand (2021). Es handelt sich zusammen mit der Fläche Solling Buche (SLB1) um die Waldmonitoringfläche mit der längsten Beobachtungszeit in Europa. Der Schluffboden mit mäßigem Skelettanteil zeigt hinsichtlich der im Königswasseraufschluss gemessenen Elementgehalte eine vergleichsweise geringe Variabilität (VK <30 %).

Durch eine Borkenkäferkalamität ist seit 2019 etwa ein Drittel des Fichten-Altbestandes abgestorben.

Nährelementstatus

Die Stickstoff (N) und Kohlenstoff (C)-Vorräte lagen 2010 im mittleren Bereich (Forstliche Standortaufnahme 2016) bei weitem bis mittlerem C/N-Verhältnis im Oberboden und mäßig engem bis sehr engem Verhältnis in größerer Tiefe. In der Humusaufgabe stiegen die C- und N-Vorräte von 1968 bis 1990 stark an, nahmen bis 2010 ab und blieben bis 2020 auf diesem Niveau. Im Oberboden ist zwischen 1968 und 2020 kein Trend zu erkennen, da die Messwerte stark streuen. Im Unterboden änderten sich die Vorräte zwischen 1995 und 2001 nur wenig. Für den Zeitraum vor 1995 gibt es keine Daten.

Der Calcium (Ca)-Vorrat war 2020 sehr gering. Für Magnesium (Mg) und Kalium (K) sind die Vorräte mit mäßig bzw. mäßig hoch besser zu bewerten. In der Humusaufgabe ist der Ca-Vorrat bis 1990 stark angestiegen, hat bis 2010 wieder stark abgenommen und ist danach wieder leicht angestiegen. Im Oberboden nahm er bis 1995 stark ab, bewegte sich bis 2010 auf gleichem Niveau und nahm danach weiter ab. Im Unterboden ist der Verlauf zwischen 1995 und 2020 ähnlich wie im Oberboden. Vor 1995 gibt es keine Daten. Zwischen 2010 und 2020 deutet sich bei Ca im Gegensatz zur benachbarten Buchenfläche SLB1 keine Trendwende an, da der Ca-Vorrat im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe um 40 % weiter abgenommen hat. Bei den Magnesium (Mg)- und Kalium (K)-Vorräten ist kein Trend festzustellen.

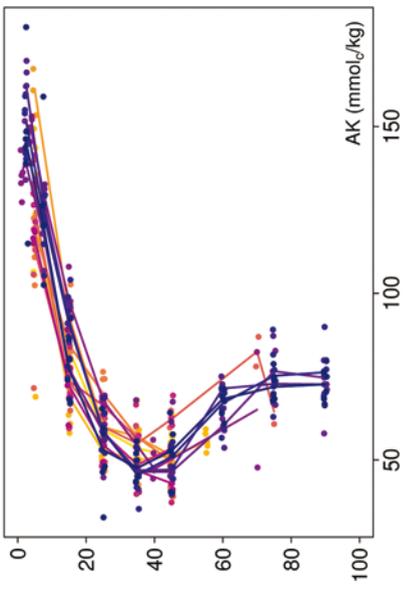
Mit einem Vorrat von 3224 kg/ha lag der Phosphor (P)-Vorrat 2020 im oberen Quartil der Vorräte aller Flächen. Im Oberboden hat er zwischen 1968 und 2010 kontinuierlich abgenommen, und sich danach nur noch wenig verändert. Im Unterboden und in der Humusaufgabe ist kein Trend zu sehen.

Der Schwefel (S)-Vorrat war 2020 mit 2135 kg/ha mehr als doppelt so hoch wie im Boden der Fläche SLB1. Der Unterschied zwischen den Flächen könnte das Ergebnis von höheren atmosphärischen Schwefeleinträgen unter Nadelbäumen sein (Ahrends et al. 2018). Im Unterboden haben die S-Vorräte zwischen 2001 und 2010 sehr stark abgenommen, und sich danach nur noch wenig verändert. Im Oberboden und in der Humusaufgabe war diese Abnahme schwächer ausgeprägt. Die Abnahme der S-Vorräte in den letzten Jahrzehnten ist auf die Mobilisierung von im Boden zwischengespeichertem Schwefel zurückzuführen.

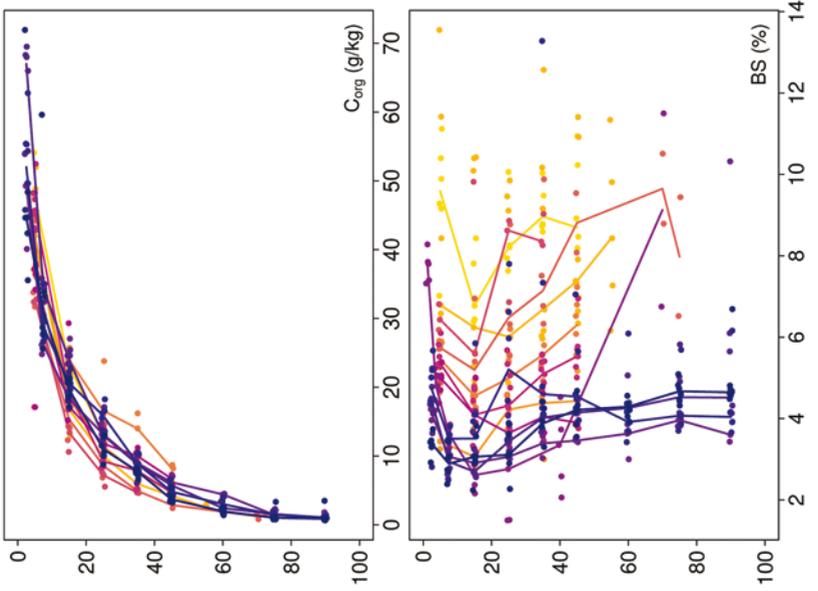
Säure-Base-Status und -Dynamik

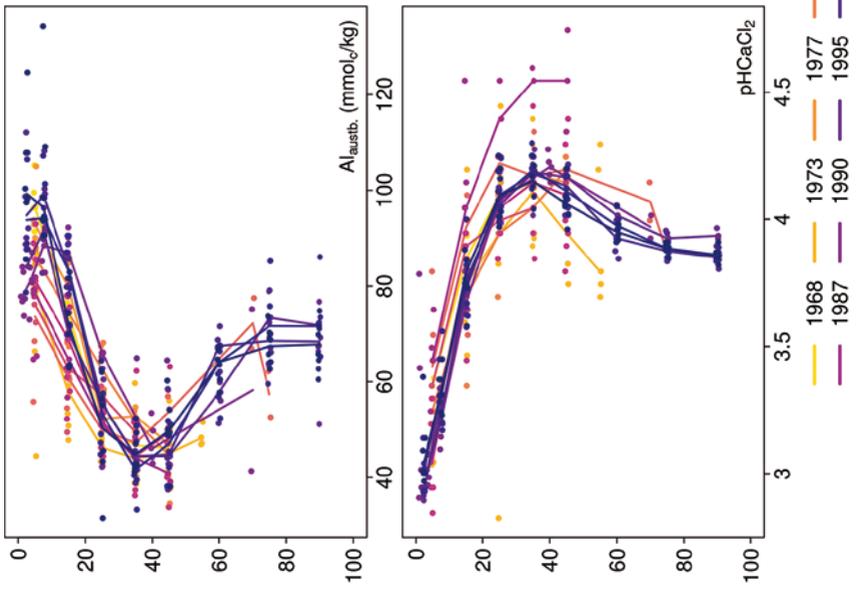
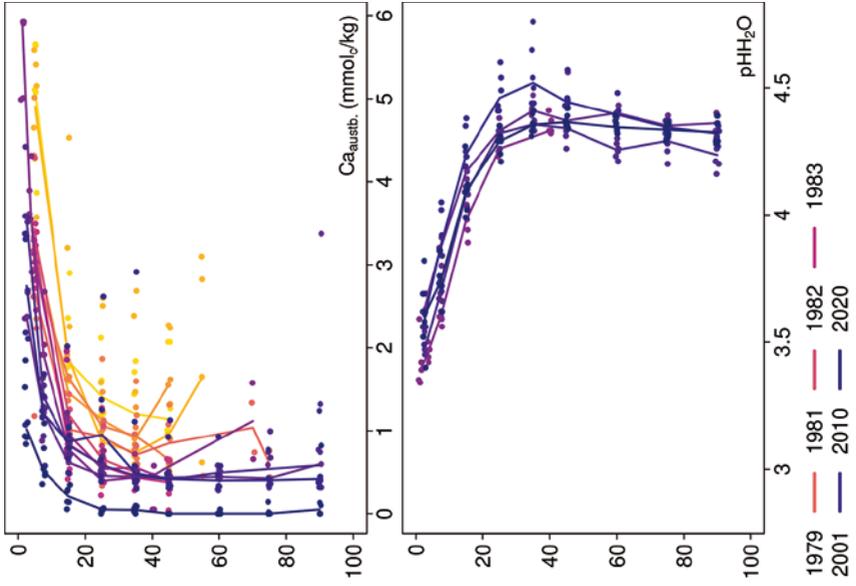
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 10 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, und in größerer Tiefe dem Austausch-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1968 und 1995 hat sich die Basensättigung im Oberboden von mehr als 8 % auf unter 3 % verringert und bewegt sich seitdem auf diesem Niveau. Im Unterboden, für den erst ab 1995 Messwerte vorliegen, ist der Verlauf bis 2020 ähnlich wie im Oberboden. Ab 2010 deutet sich im Gegensatz zur benachbarten Buchenfläche SLB1 kein Trend zu steigenden Basensättigungswerten an.

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



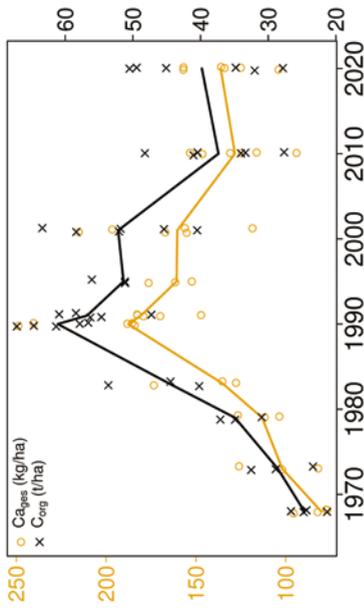
Solling Fichte



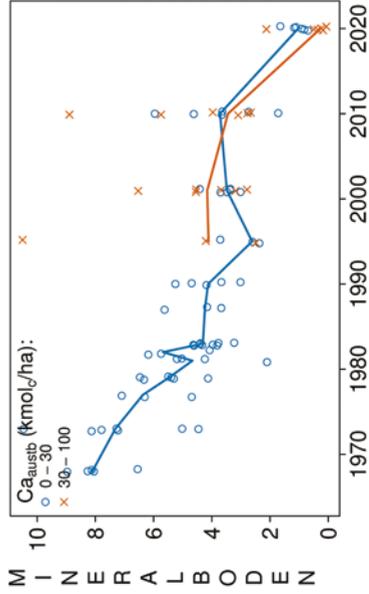
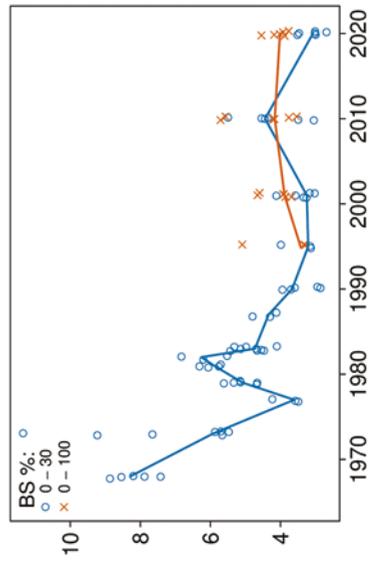
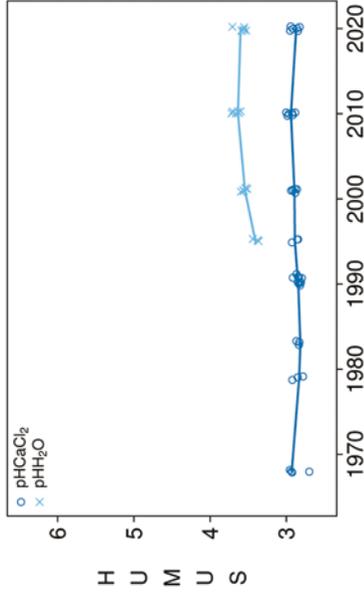


SLF1

Vorrats- und pH-Änderungen



Solling Fichte



SLF1

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe (2020)

von cm	bis cm	Al [g/kg]	Ca [g/kg]	Fe [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	Mn [g/kg]	P [g/kg]	S [g/kg]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	16,86	0,24	16,29	3,45	1,93	0,25	0,35	0,31	0,072	3,78	21,51	19,20	7,44	83,44	31,34
5	10	18,20	0,24	17,78	3,27	2,12	0,38	0,29	0,23	0,103	5,28	22,65	17,66	8,48	59,26	33,75
10	20	22,12	0,26	18,18	3,59	2,51	0,57	0,26	0,19	0,045	9,13	25,49	20,88	11,83	35,04	44,05
20	30	24,32	0,25	18,56	3,84	2,81	0,74	0,27	0,20	0,039	13,88	26,56	25,65	16,60	23,37	58,87
30	40	24,79	0,23	18,70	4,36	3,04	0,78	0,26	0,19	0,038	17,71	27,62	29,80	18,79	22,48	64,94
40	50	27,21	0,19	21,28	5,59	3,60	0,83	0,23	0,17	0,040	20,88	28,71	37,17	21,38	25,45	65,24
50	70	30,77	0,10	23,53	7,57	4,13	0,97	0,25	0,16	0,050	32,43	32,15	60,99	23,62	31,88	72,97
70	80	32,34	0,06	24,48	8,14	4,23	1,24	0,31	0,16	0,057	43,99	32,07	83,48	24,56	42,14	82,90
80	100	31,24	0,05	24,34	7,56	3,78	1,49	0,37	0,17	0,077	57,15	31,93	151,49	25,81	71,77	98,74

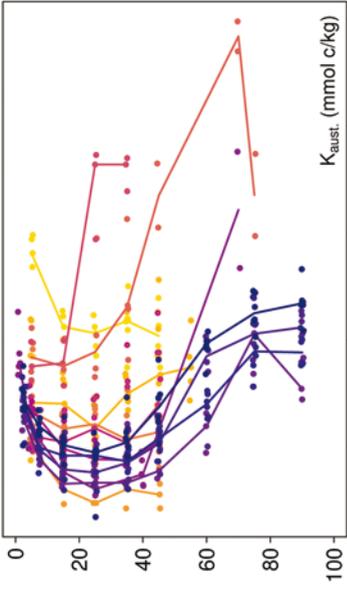
 bis 25%-Quantil
 25%-Quantil - Med.
 Med. - 75%-Quantil
 75%-Quantil - Max.

Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe (2020)

von cm	bis cm	Al [%]	Ca [%]	Fe [%]	K [%]	Mg [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cd [%]	Co [%]	Cr [%]	Cu [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]
0	5	8	13	5	15	11	28	8	8	87	48	6	58	15	10	17
5	10	11	11	8	21	15	26	7	11	133	58	8	48	18	14	17
10	20	5	16	6	18	9	19	4	14	21	32	5	42	9	17	13
20	30	4	18	7	20	9	13	4	25	19	28	5	36	7	37	12
30	40	5	23	8	24	10	14	5	21	11	43	5	44	5	43	10
40	50	9	32	7	23	12	21	7	11	13	41	8	54	3	56	13
50	70	7	37	6	16	10	11	10	15	23	45	10	56	4	48	21
70	80	4	44	6	13	13	19	13	11	24	42	7	61	8	42	23
80	100	5	36	6	7	10	14	15	13	30	58	13	83	15	48	34

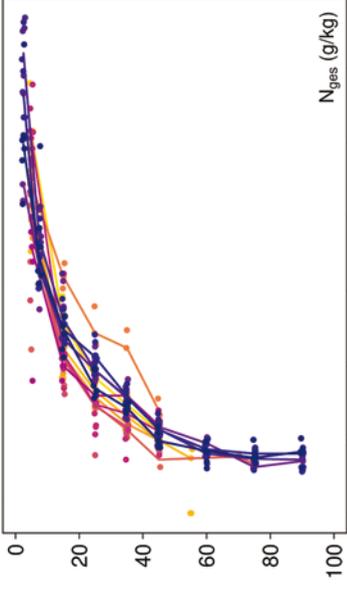
 0-20%
 20-50%
 >50%

Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)

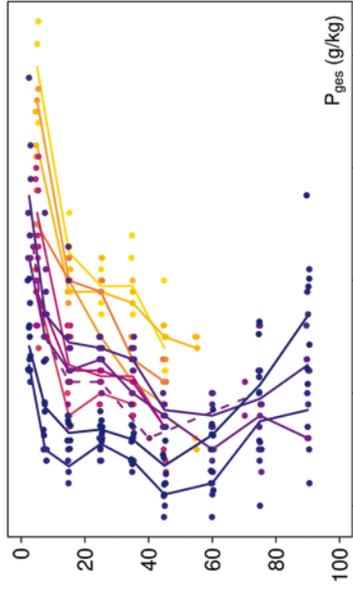


$K_{\text{aust.}}$ (mmol c/kg)

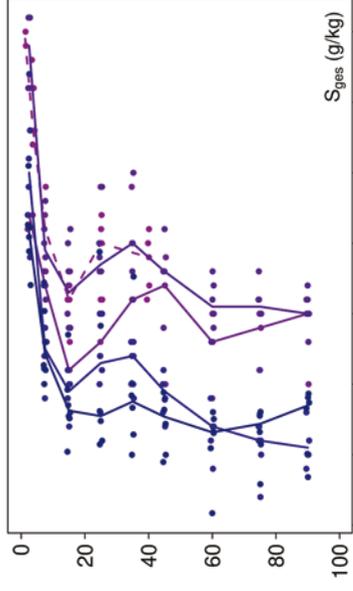
Solling Fichte



N_{ges} (g/kg)



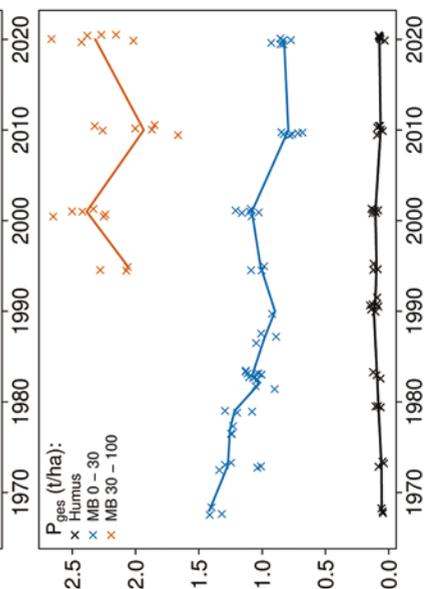
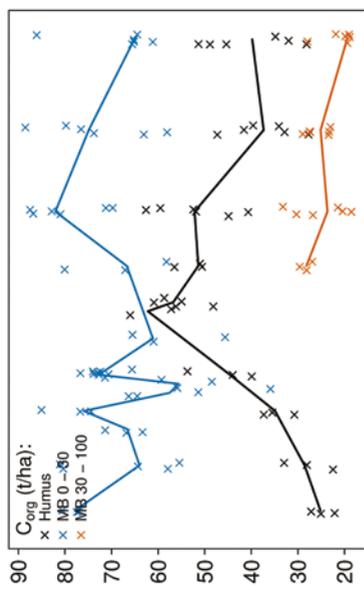
P_{ges} (g/kg)



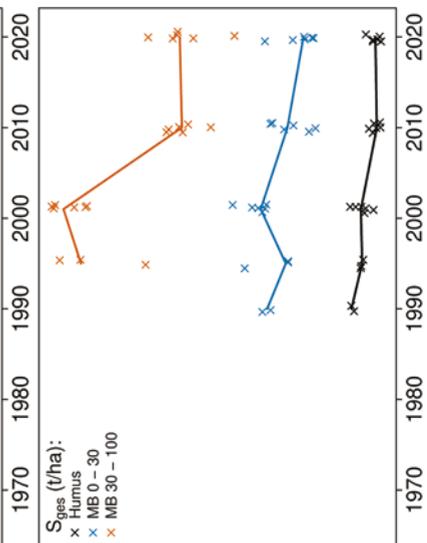
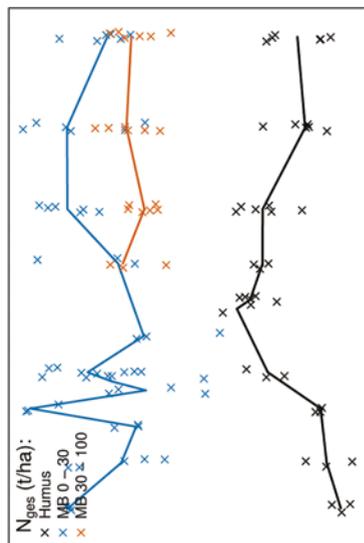
S_{ges} (g/kg)

- 1968
- 1967
- 1973
- 1977
- 1979
- 1981
- 1982
- 1983
- 1987
- 1990
- 1995
- 2001
- 2010
- 2020

Vorratsänderungen (t/ha)



Solling Fichte



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine podsolige Braunerde, die sich aus Lösslehm-Fließerden über Buntsandstein gebildet hat. Dieser mäßig skeletthaltige Boden weist mäßige, ab 50 cm Tiefe hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Der I_{geo} , der das Ausmaß der Kontamination eines Bodens quantifiziert, zeigt nur für Blei (Pb) und Cadmium (Cd) eine leichte Kontamination des Oberbodens (0-10 cm).

Die Pb-Gehalte liegen zudem bis in 5 cm Tiefe über dem Vorsorgewert der BBodSchV und in 5-20 cm noch über dem halben Vorsorgewert. In größerer Tiefe werden die Vorsorgewerte für Kupfer (Cu) und Pb überschritten sowie die halben Vorsorgewerte für Chrom (Cr), Nickel (Ni) und Zink (Zn).

Die Gehalte der Humusaufgabe liegen für Cd, Cu, Pb und Zn über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommarez et al. 2021). Im Mineralboden werden sie für alle Schwermetalle mit Ausnahme von Cd überschritten.

In der Humusaufgabe überschreiten die Pb-Gehalte auch den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

Die Pb-Gehalte liegen bis in 20 cm Tiefe im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen, nehmen bis in 50 cm Tiefe kontinuierlich leicht ab, und danach wieder auf sehr hohe Werte zu. Für Cd ist der Verlauf auf sehr viel niedrigerem Niveau ähnlich. Die Kobalt (Co), Cr, Ni und Zn-Werte sind im Oberboden hoch (Median – 75 %-Quartil) und steigen mit zunehmender Tiefe auf sehr hohe Werte an (oberes Quartil). Die Cu-Werte, die im ganzen Profil im oberen Quartil liegen, zeigen keine Tiefendynamik.

In der Humusaufgabe sind die Gehalte von Cd, Cu und Pb sehr hoch (oberes Quartil) und die Co-, Cr-, Ni- und Zn-Gehalte mit Werten, die über dem Median liegen, hoch.

In der Humusaufgabe haben die Cd-, Pb-, und Zn-Vorräte zwischen 1995 und 2001 sowie zwischen 2001 und 2010 abgenommen, wobei die Abnahme für Pb und Zn in beiden Zeiträumen sehr stark war und für Cd erst in der zweiten Periode hohe Werte erreichte. Danach verändern sie sich bis 2020 nur noch wenig und zeigen lediglich für Pb leicht höhere Werte. Für Cu, Co und Ni nehmen die Vorräte erst ab 2001 stark ab und bewegen sich danach bis 2020 auf ähnlichem Niveau. Zwischen 2001 und 2010 haben sich die Vorräte an Cd, Cu, Pb und Zn fast halbiert. Für den Mineralboden kann nur für den Zeitraum 2010 bis 2020 eine Aussage gemacht werden, da es nur für diesen Zeitraum Messwerte gibt. In diesem Zeitraum haben sich die Vorräte an Cd, Co, Cu, Ni, Pb und Zn nur wenig verändert. Für Cr, für das es Messwerte nur für 2010 und 2020 gibt, haben die Vorräte sowohl im Mineralboden als auch in der Humusaufgabe leicht zugenommen.

Die Humusaufgabe ist durch Cd, Cu, Pb und Zn kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Im Mineralboden sind sie für alle Schwermetalle vergleichsweise hoch, wobei ab 50 cm Tiefe Schichten mit sehr hohen Gehalten auffallen, in denen sogar Vorsorgewerte der BBodSchV überschritten werden. In der Humusaufgabe haben die Vorräte aller Schwermetalle bis 2010 abgenommen. Für Cd und Pb hat eine Verlagerung aus der Humusaufgabe in den Oberboden stattgefunden. Dabei

ist das im Vergleich zu Cd weniger mobile Pb aufgrund der höheren Einträge in größere Tiefen vorgedrungen. Der Vergleich mit der sich in unmittelbarer Nähe gelegenen mit Buchen bestockten Fläche SLB1 zeigt eine wesentlich höhere Belastung der Humusaufgabe. Dies kann auf die ganzjährige Benadelung der Bäume zurückgeführt werden, die mehr Stoffe aus der Luft auskämmen können. Interessant sind auch die kleinräumig sehr unterschiedlichen Schwermetall-Gehalte der Löss-Lagen, die sich hier in wesentlich höheren Schwermetall-Gehalten vor allem in tieferen Schichten manifestieren. Die schwermetallreiche Schicht in 50-100 cm Tiefe ist im Boden der Fläche SLB1 nicht zu finden.

Bewertung Schwermetalle (2020)

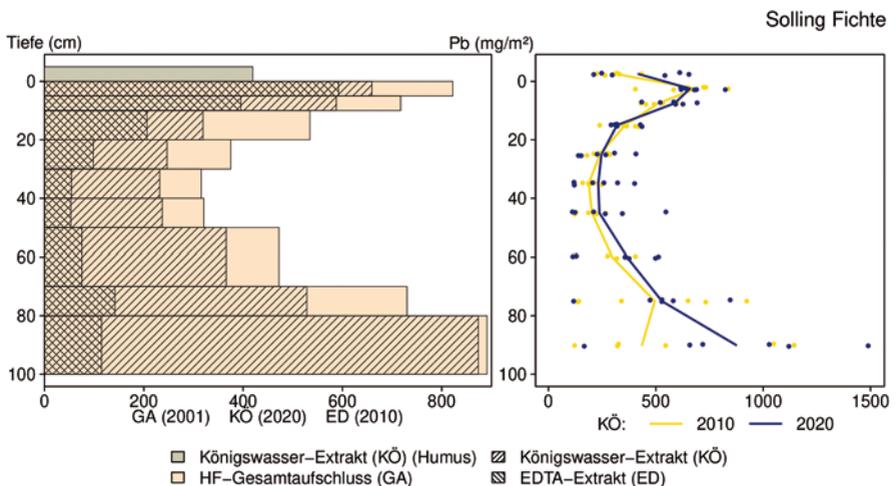
von [cm]	bis [cm]	Cd [mg/kg]	Co [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
0	5	0,07	3,78	21,51	19,20	7,44	83,44	31,34
5	10	0,10	5,28	22,65	17,66	8,48	59,26	33,75
10	20	0,04	9,13	25,49	20,88	11,83	35,04	44,05
20	30	0,04	13,88	26,56	25,65	16,60	23,37	58,87
30	40	0,04	17,71	26,42	29,80	18,79	22,48	64,94
40	50	0,04	20,88	28,71	37,17	21,38	25,45	65,24
50	70	0,05	32,43	32,15	60,99	23,62	31,88	72,97
70	80	0,06	43,99	32,07	83,48	24,56	42,14	82,90
80	100	0,08	57,15	31,93	151,49	25,81	71,77	98,74
Vorsorgewerte								
BBodSchV (Lehm/Schluff)		1,0	-	60	40	50	70	150

> Vorsorgewert

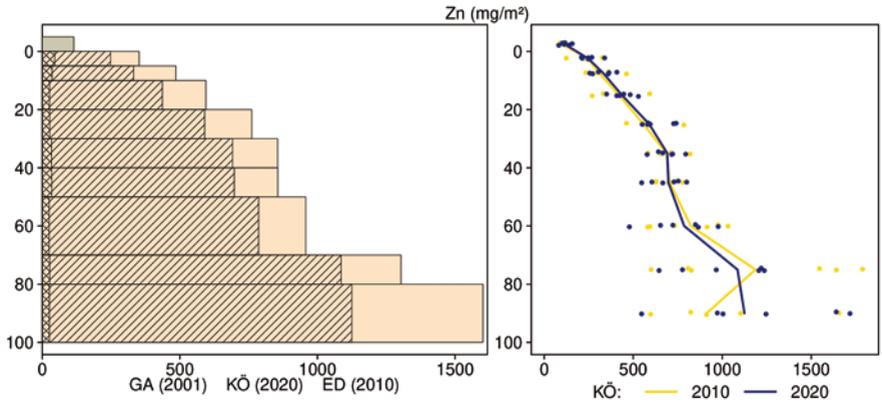
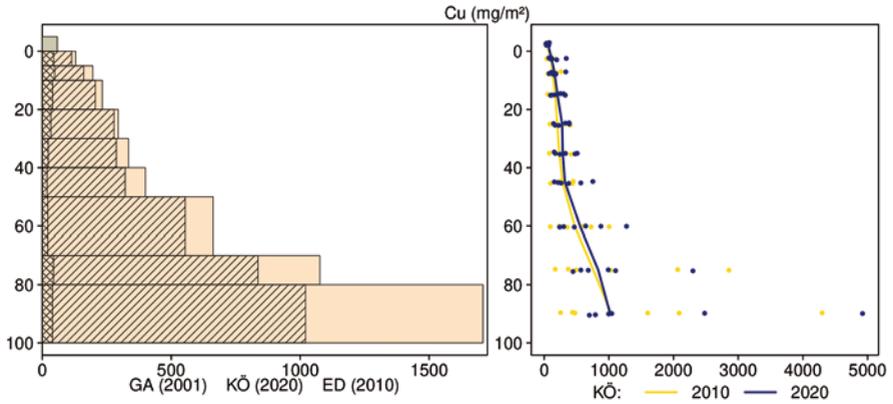
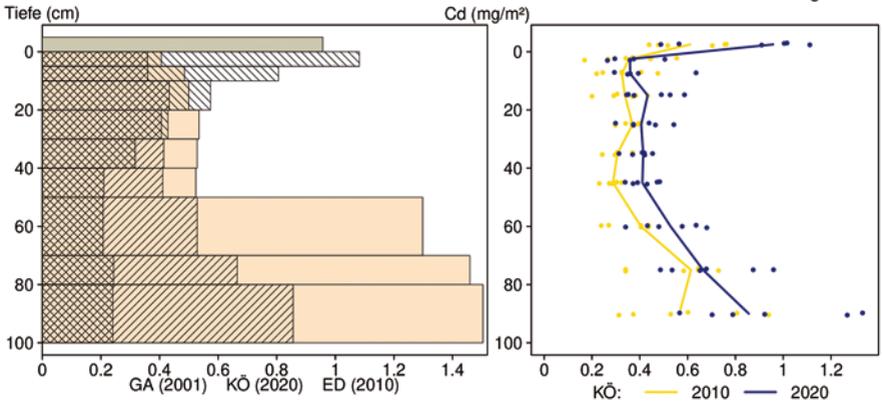
> 1/2 Vorsorgewert

SLF1

Schwermetallvorräte



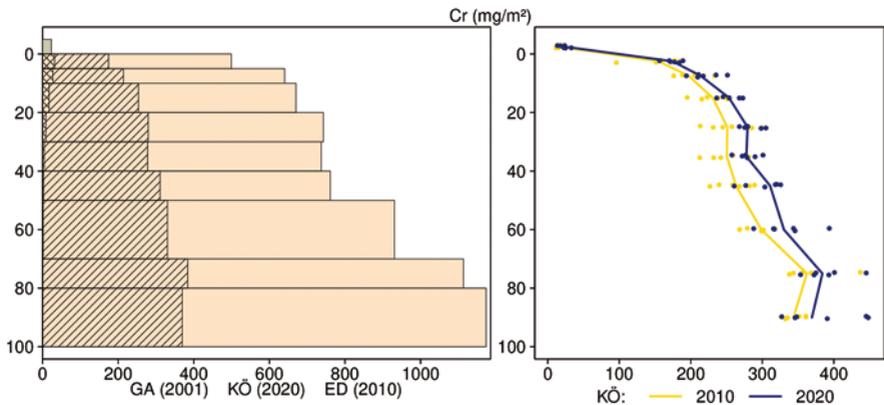
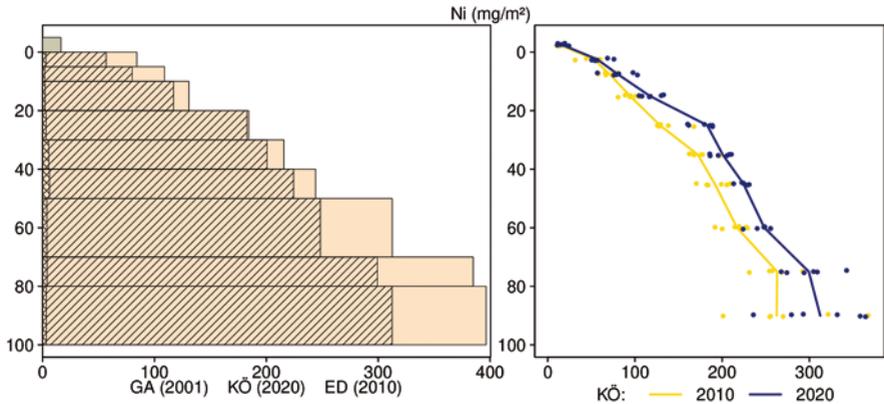
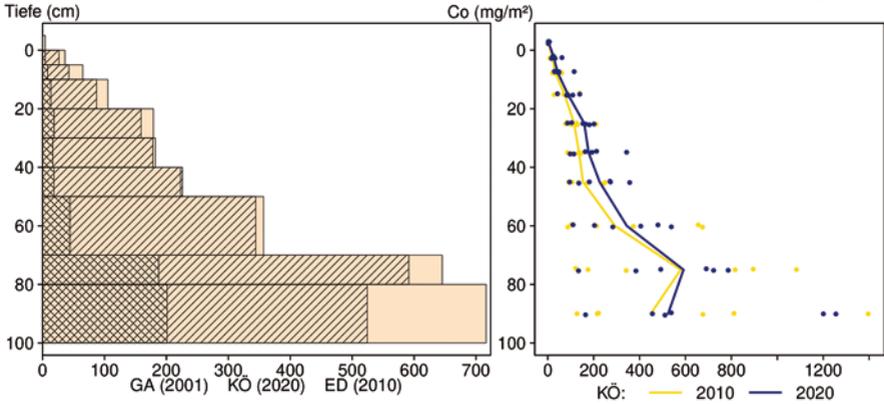
Solling Fichte



- Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
- ▨ Königswasser-Extrakt (KÖ)
- HF-Gesamtaufschluss (GA)
- ▩ EDTA-Extrakt (ED)

SLF1

Solling Fichte



Königswasser-Extrakt (KÖ) (Humus)
 HF-Gesamtaufschluss (GA)
 Königswasser-Extrakt (KÖ)
 EDTA-Extrakt (ED)

SLF1

12.24 Solling Fichte Düngung (SLFD)

Standörtliche Grundlagen				
Forstamt Abteilung		Bundesland		
Dassel 4254a1		Niedersachsen		
Wuchsgebiet		UTM E	Höhe ü. NN [m] / Neigung [°] / Exposition	
Mitteldeutsches Trias-Berg- und Hügelland		540000		
Wuchsbezirk		UTM N		
Hoher Solling		5735000	504/0-1/0	
Klima				
Klimafeuchtestufe	Niederschlag pro Jahr [mm]		Niederschlag VZ [mm]	
1961-1990	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
stark subatlantisch	979	988	429	402
1991-2020	mittlere Temperatur [°C]		mittl. Temperatur VZ [°C]	
mäßig subatlantisch	1961-1990	1991-2020	1961-1990	1991-2020
	6,6	7,7	12,8	13,9
Monitoringprogramme				
–				
Bodenuntersuchungen				
chemische Bodenuntersuchungen ab 1982 (Forschungsprojekte), chemische Bodeninventuren alle ±10 Jahre, 2001-2010, einmalige physikalische Inventur				
sonstige Untersuchungen Boden				
–				
weitere Untersuchungen				
–				
Boden				
Ausgangssubstrat	Substratgruppe (n. BZE II)		Skelett	
Lößlehm-Fließerden über Buntsandstein der Solling-Folge	Böden aus basenarmem Festgestein		5-20 %, mäßig skeletthaltig	
Humusform (n. KA5)	Bodentyp (n. KA5)		Bodentyp (n. WRB 2014)	
feinhumusreicher rohhumusartiger Moder (MRR)	Braunerde, podsolig		Albic Endoprotostagnic Podzol (Pantoloamic)	
Standortstyp Bundesland	Standortstyp Synopse NW-FVA		nutzbare Feldkapazität [mm] (Mineralboden bis 100 cm)	
19.3.3.5 s	betont frisch, schwach mesotroph		147	
Basensättigungsverlauf (n. Kölling et al. 1996)	Kalkung (Menge/Jahr)			
5K	1973: 300 kg N/ha Kalkammonsalpeter (65 % Ammoniumnitrat, 35 % Calciumcarbonat), 200 kg K/ha 50er Kali (Kaliumsulfat), 1975: 2 t CaO/ha Hüttenkalk (4,4 t/ha), 1980: 4 t CaMg(CO ₃) ₂ /ha Dolomit			
Bestand				
Hauptbaumart	Nebenbaumart(en)		potenziell natürliche Vegetation	
Fichte	–		Hainsimsen-Buchenwald	
Bestandesalter (2021)	Zuwachs (2000-2020) [m ³ je ha]/Ertragsklasse		waldbauliche Behandlung	
140	6,0/2,1		schwache Niederdurchforstung	
sonstiges: –				

SLFD

Profilbeschreibungen (nach KA5)

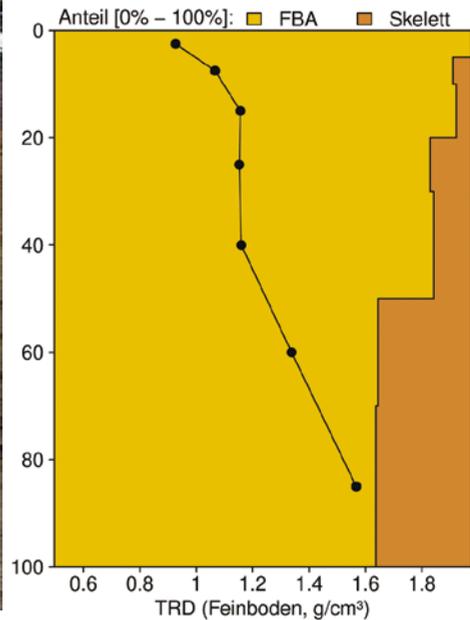
Horizont	Tiefe [cm]	Skelett [Vol%]	Textur	Humus-gehalt	Lagerungs-dichte	Carbonat-gehalt	nFK mm/ Horizont
L	-11 - -9	0	Vn	h7	Ld0	c0	3,6
Of	-9 - -4	0	Vn	h7	Ld0	c0	11,0
Oh	-4 - 0	0	Vn	h7	Ld0	c0	10,4
Ahe	0 - 10	5	Ut4	h3	Ld1	c0	21,9
Bsv	10 - 15	15	Ut4	h2	Ld1	c0	9,4
Al-Bv	15 - 60	10	Ut3	h1	Ld2	c0	89,1
Btv	60 - 75	33	Lu	h0	Ld3	c0	14,1
IIBtv	75 - 95	66	Ls2	h0	Ld4	c0	9,5
IIIBv-Cv	95 - 135	57	Ls3	h0	Ld4	c0	22,4
IIIiCv	135 - 235	90	SI4	h0	Ld3	c0	13,0
IIIixCv	235 - 280	96	SI4	h0	Ld3	c0	2,3
IVixCv	280 - 360	96	Lts	h0	Ld5	c0	2,9
VimCv	360 - 380	96	Ls4	h0	Ld5	c0	0,8
Σ bis 100 cm nur Mineralboden							146,7
Σ bis 100 cm incl. Humusauflage							171,7

Deutschmann 30.6.1992

SLFD



Bodenphysikalische Kenngrößen



Bodenanalytik 2010

Tiefe [cm]	BS [%]	AK [kmol _c /ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	Corg [t/ha]	Nges [t/ha]	C/N	P [kg/ha]	S [kg/ha]	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)
L	-	-	19,5	2,5	5,6	2,1	0,06	33,7	3,4	4,8	4,50	3,92
Of	-	-	74,6	13,6	30,9	11,3	0,44	25,4	21,8	44,3	4,09	3,40
Oh	-	-	56,2	26,1	67,6	11,1	0,52	21,4	28,7	62,4	3,64	3,00
0 - 5	15,7	73,7	144	29,5	28,2	27,1	1,48	18,3	223	180	3,56	3,16
5 - 10	11,0	58,2	76,1	18,5	20,3	16,7	0,96	17,5	186	123	3,87	3,40
10 - 20	9,1	98,5	103	26,1	36,9	22,1	1,40	15,8	375	210	4,22	3,79
20 - 30	8,1	64,9	54,7	14,9	34,5	13,2	1,01	13,1	341	209	4,44	4,07
30 - 50	6,3	112	54,4	16,6	81,3	15,9	1,56	10,2	653	421	4,41	4,10
50 - 70	6,7	142	63,8	24,9	130	6,8	1,06	6,4	616	374	4,36	3,96
70 - 100	7,3	259	111	54,2	253	5,0	1,53	3,3	1364	622	4,31	3,87
Σ L-100cm		808	757	227	689	131	10,01		3812	2250		

Auflage (L, Of, Oh): Königswasseraufschluss an gemahlene Proben (Ca, Mg, K, Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390
 Mineralboden: effektive Kationenaustauschkapazität oder potentielle Kationenaustauschkapazität (pH>6,2),
 ggf. kombiniert, Königswasseraufschluss an gesiebten Proben (Pges, Sges), pH nach DIN ISO 10390

BS, AK, Ca, Mg, K	sehr gering	gering	mäßig	mittel	mäßig hoch	hoch	sehr hoch
Corg, Nges	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch		
Pufferbereiche	Fe	Fe-Al	Al	Austauscher	Silikat	Carbonat	
C/N-Verhältnis	sehr weit	weit	mäßig weit	mittel	mäßig eng	eng	sehr eng

Nach Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage

Allgemeines

Die Monitoringfläche befindet sich im selben Waldbestand neben der Fläche SLF1 und dient als Vergleichsfläche zur Beobachtung der Wirkung einer Düngungsmaßnahme. Die Fläche wurde 1973 mit 300 kg N/ha als Kalkammonsalpeter (65 % Ammoniumnitrat, 35 % Calciumcarbonat) und 200 kg K/ha als 50er Kali (Kaliumsulfat), 1975 mit 2 t CaO/ha als Hüttenkalk (4,4 t/ha) und 1980 mit 4 t CaMg(CO₃)₂/ha als Dolomit beaufschlagt. Der Boden ist vergleichsweise homogen, da es sich um einen Schluffboden mit mäßigem Skelettanteil handelt. Dies zeigt das AK/Corg-Verhältnis, das bei allen Inventuren relativ eng zusammen liegt.

Nährelementstatus

Der Stickstoff (N)-Vorrat ist durch die Düngung mit Kalkammonsalpeter angestiegen und lag 2010 im hohen Bereich (Forstliche Standortsaufnahme 2016). Der Kohlenstoff (C)-Vorrat hat sich nicht verändert. Er liegt wie im Boden der unbehandelten Fläche SLF1 im mittleren Bereich. Das C/N-Verhältnis ist enger geworden. Im Oberboden ist es bereits ab 10 cm Tiefe mäßig eng und ab 30 cm eng bis sehr eng. Im Vergleich zur unbehandelten Fläche SLF1 sind die N-Vorräte im Mineralboden etwas höher.

In der Humusaufgabe ist der N-Vorrat zwischen 1974 und 1982 stark angestiegen. Danach fiel er bis 1990 wieder ab, änderte sich bis 2001 nur wenig und nahm bis 2010 weiter ab. Im Oberboden fand dieser Anstieg erst zwischen 1982 und 1990 statt. Vor 1982 und zwischen 1990 und 2001 sind keine eindeutigen Trends festzustellen. Ab 2001 ist wieder ein leichter Anstieg zu sehen, der auch im Unterboden zu beobachten ist. Für den Unterboden gibt es für den Zeitraum vor 2001 keine Daten. Der Kohlenstoff (C)-Vorrat hat einen ähnlichen, jedoch wesentlich weniger ausgeprägten Verlauf.

Die Calcium (Ca)-, und Magnesium (Mg)-Vorräte waren 2010 im gesamten Profil bis in 1 m Tiefe mehr als doppelt so hoch wie im Boden der nicht gedüngten Fläche SLF1. Sie lagen im mäßigen bzw. mittleren Bereich. Die Versorgung mit diesen Nährstoffen ist damit wesentlich besser als auf der Fläche SLF1, wo sie gering ist. Zwischen 1974 und 1982 stiegen die Ca- und Mg-Vorräte in der Humusaufgabe stark an, nahmen bis 1990 zunächst wieder stark und danach schwächer ab. 2010 waren sie wieder auf dem Niveau von 1974. Im Oberboden nahmen sie zwischen 1974 und 1990 kontinuierlich sehr stark zu und sanken danach wieder auf das Niveau von 1974 ab. Im Unterboden ist ab 2001 kein Trend zu sehen. Vor 2001 gibt es keine Messwerte. Der Kalium (K)-Vorrat nahm zwischen 1974 und 1976 zunächst zu und sank bis 2010 auf niedrigere Werte als 1974 wieder ab. 2010 lag der K-Vorrat im mittleren Bereich und damit auf ähnlichem Niveau wie im Boden der unbehandelten Fichtenfläche.

Mit einem Vorrat von 3812 kg/ha lag der Phosphor (P)-Vorrat 2010 im oberen Quartil der Vorräte aller Flächen. Er ist damit wesentlich höher als der Vorrat der nicht gedüngten Fläche SLF1 (3224 kg/ha). Im Oberboden nahm er zwischen 1974 und 1983 leicht ab, veränderte sich danach nur wenig und stieg ab 2001 wieder leicht an. Im Unterboden war der Verlauf ab 2001 wie im Oberboden. Vor 2001 gibt es keine Messwerte. In der Humusaufgabe hat sich der P-Vorrat nur wenig verändert.

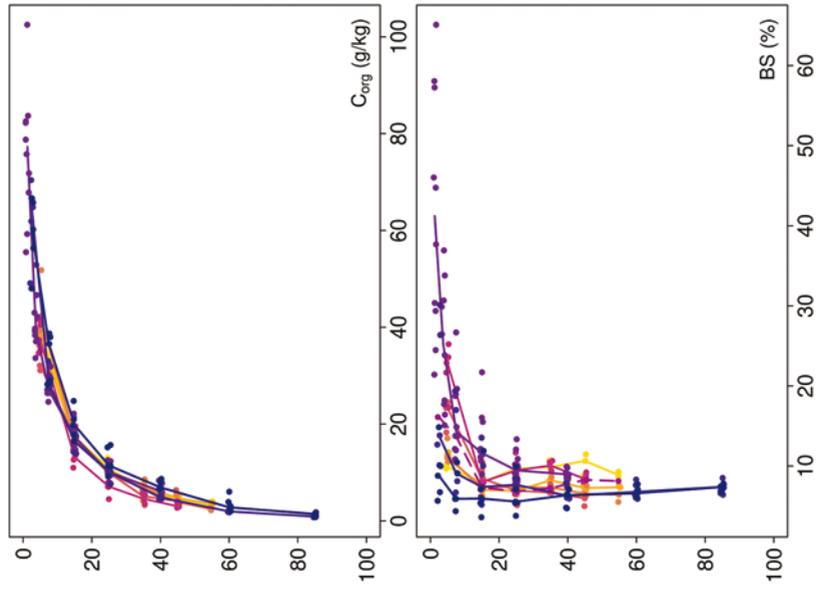
SLFD

Der Schwefel (S)-Vorrat lag 2010 mit 2250 kg/ha im oberen Bereich, und damit in der gleichen Größenordnung wie der Vorrat im Boden der Fläche SLF1. Auch hier hat der S-Vorrat im Unterboden zwischen 2001 und 2010 durch die Mobilisierung von im Boden zwischengespeichertem S sehr stark abgenommen. In der Humusaufgabe und im Oberboden war die Abnahme wesentlich geringer. Für den Zeitraum vor 2001 gibt es keine Daten.

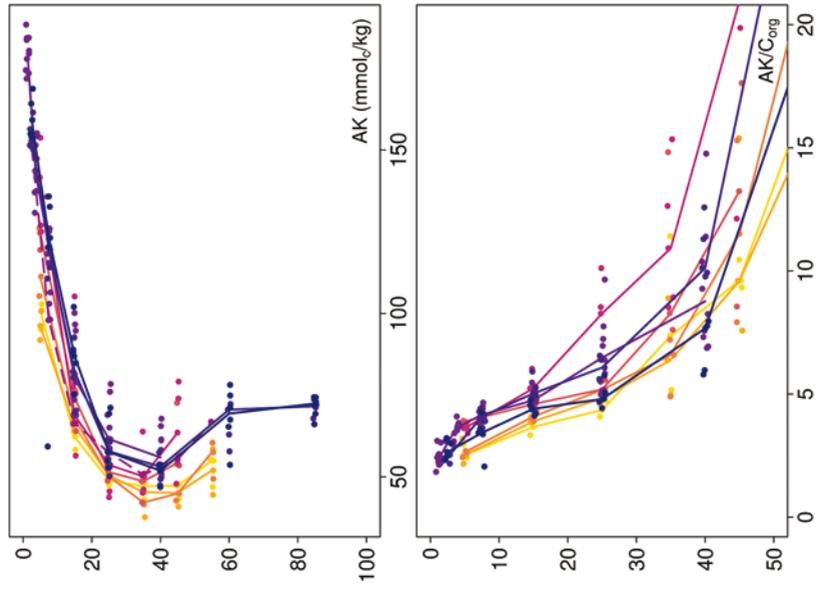
Säure-Base-Status und -Dynamik

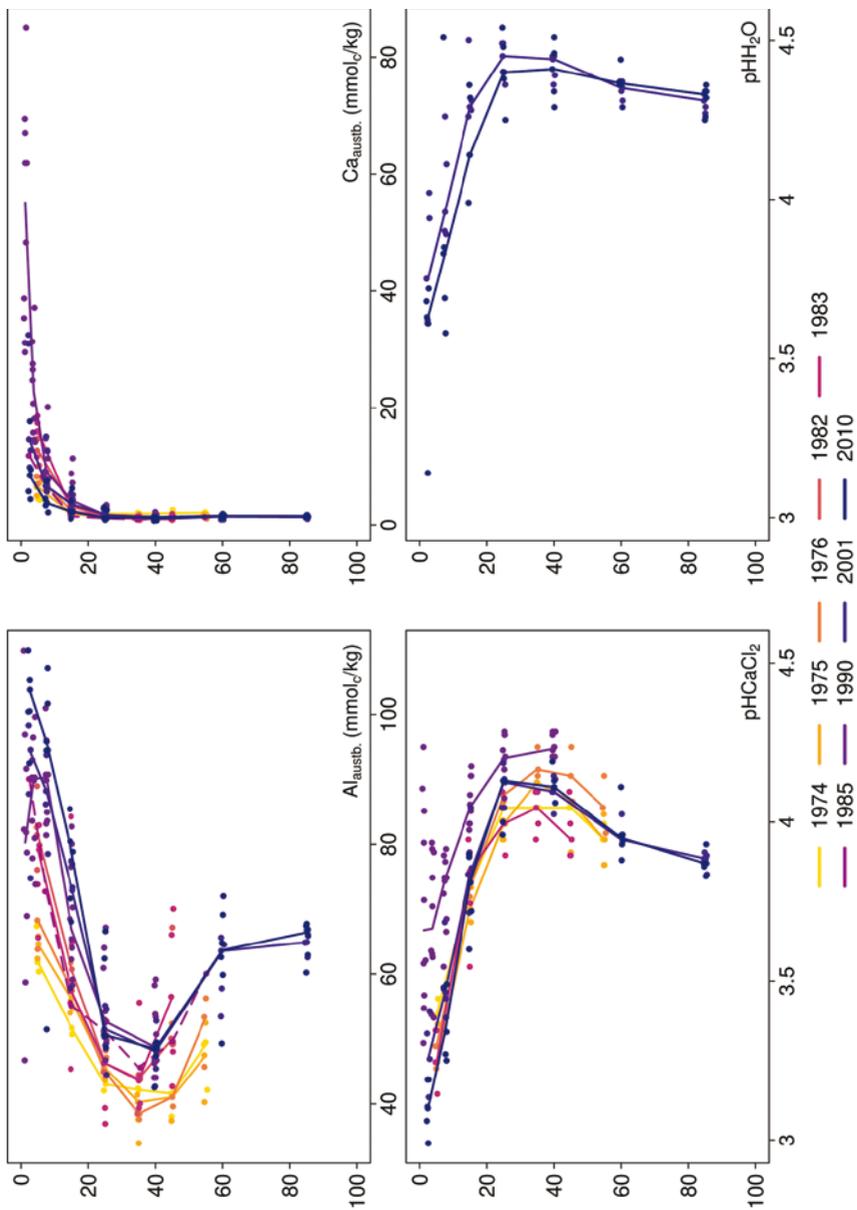
Der tiefgründig versauerte Boden ist anhand der pH-Werte bis in 5 cm Tiefe dem Eisen-Aluminium-Pufferbereich, bis in 10 cm Tiefe dem Aluminium- und in größerer Tiefe dem Austauscher-Pufferbereich nach Ulrich (1981) zuzuordnen. Über das gesamte Profil ist der Boden durchgehend basenarm (Typ 5 – Kölling et al. 1996). Zwischen 1974 und 1990 hat sich die Basensättigung im Oberboden von <10 % auf im Mittel 18 % erhöht. Zwischen 1990 und 2010 nahm sie wieder stark ab, so dass sie sich 2010 auf noch niedrigerem Niveau als 1974 befand. Im Unterboden änderte sich die Basensättigung zwischen 2001 und 2010 nur wenig. Für den Zeitraum vor 2001 liegen keine Messwerte vor. In der Humusaufgabe stiegen die pH-Werte zwischen 1974 und 1983 um mehr als 1,5 pH-Einheiten an, und fielen bis 2010 auf das Niveau von 1974 wieder ab.

Solling Fichte Düngung



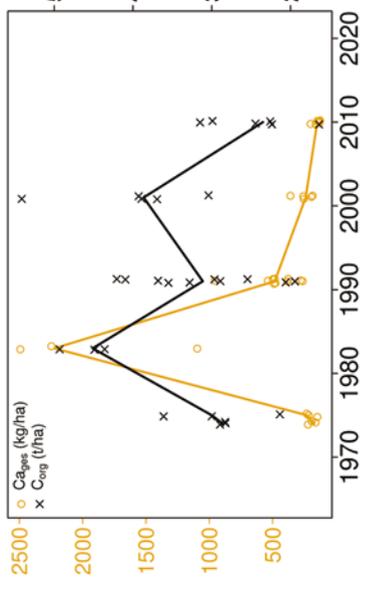
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



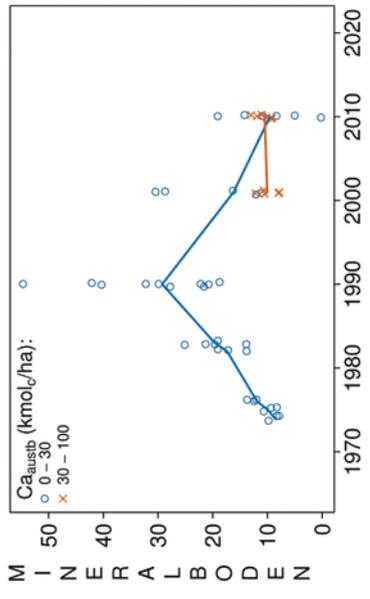
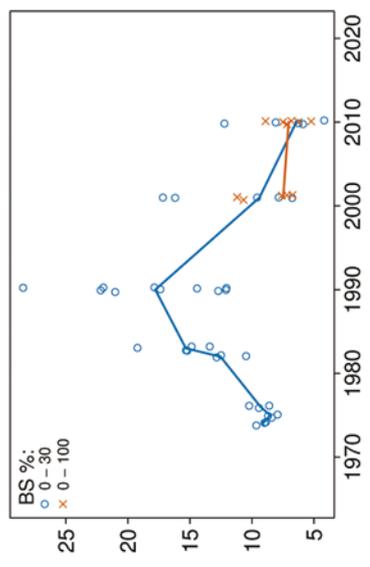
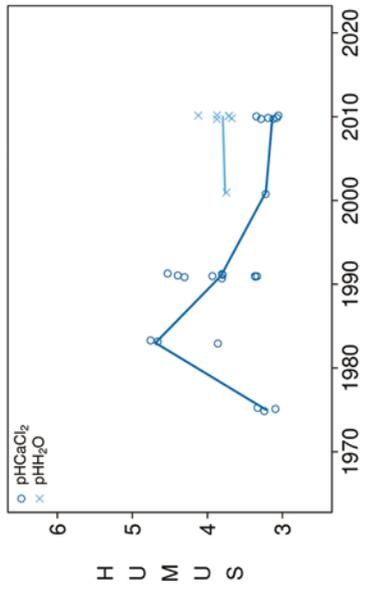


SLFD

Vorrats- und pH-Änderungen



Solling Fichte Düngung



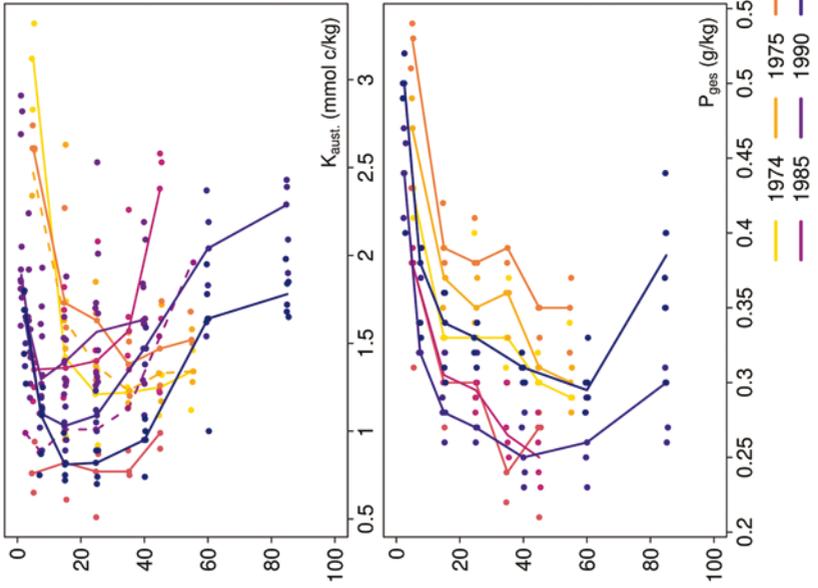
Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): mittlere Elementgehalte je Tiefenstufe

<i>keine Werte vorhanden</i>

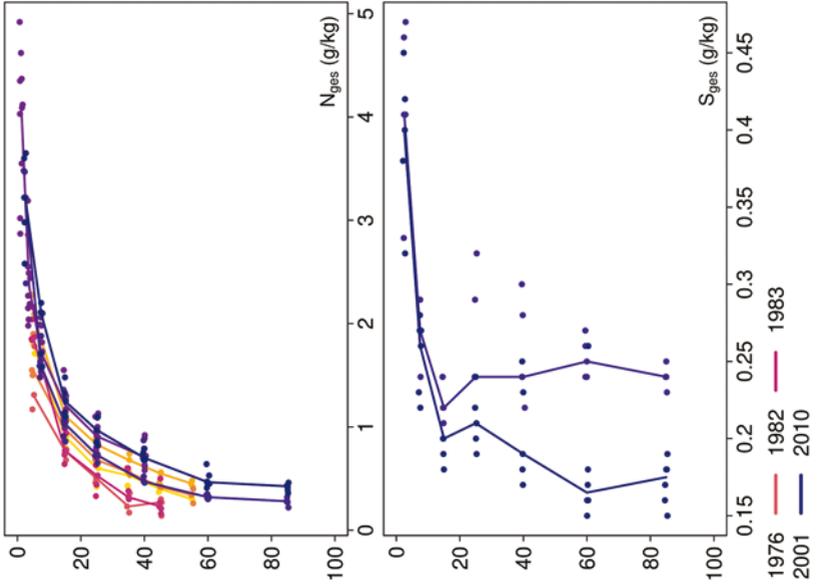
Königswasser-Extrakt (gesiebte Proben): Variationskoeffizienten je Tiefenstufe

<i>keine Werte vorhanden</i>

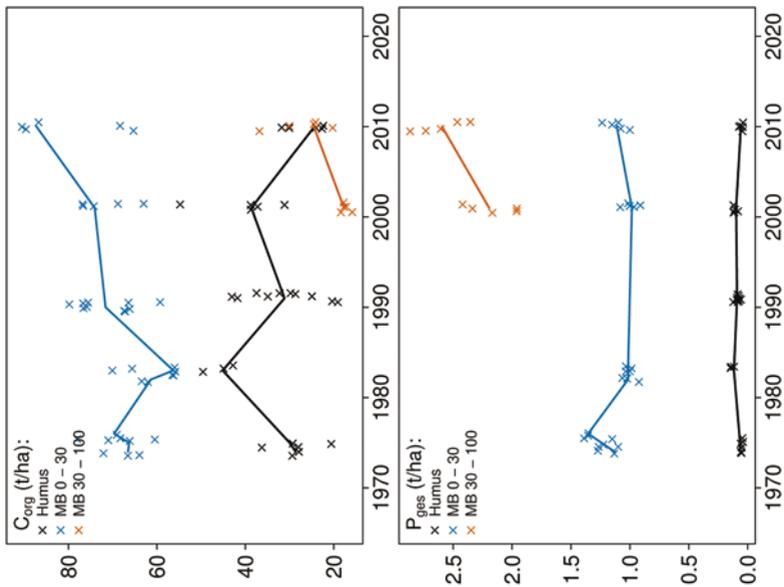
Tiefenverläufe je Inventurjahr (Tiefe in cm)



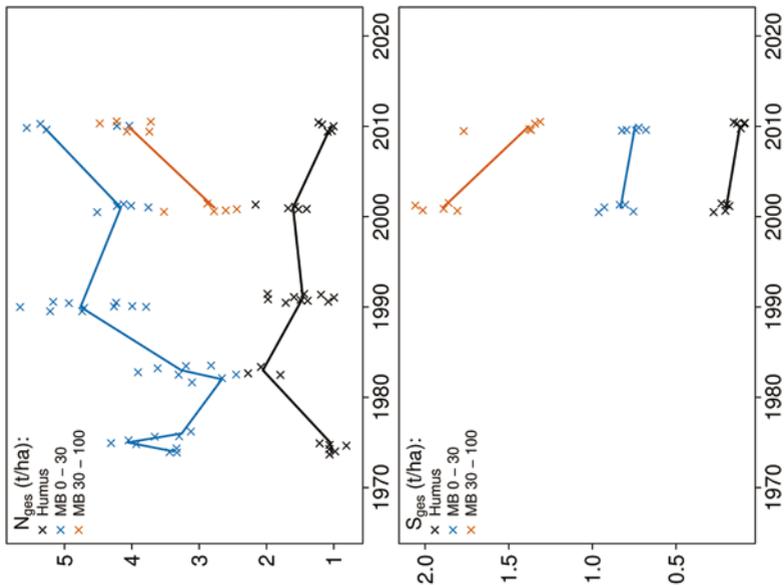
Solling Fichte Düngung



Vorratsänderungen (t/ha)



Solling Fichte Düngung



Schwermetalle

Der Boden der Fläche ist eine podsolige Braunerde, die sich aus Lösslehm-Fließerden über Buntsandstein gebildet hat. Dieser mäßig skeletthaltige Boden weist mäßige, ab 50 cm Tiefe hohe Schwermetall-Gehalte geogenen Ursprungs auf.

Da für den Mineralboden keine Messwerte vorliegen, kann nur die Situation in der Humusauflage betrachtet werden.

Die Gehalte der Humusauflage liegen 2010 für alle Schwermetalle über den Hintergrundwerten von Waldböden (Bommaré et al. 2021) und überschreiten für Blei (Pb) den kritischen Level (CL), ab dessen Überschreitung ein nicht akzeptables ökologisches Risiko für viele Arten besteht.

In der Humusauflage sind die Gehalte aller Schwermetalle sehr hoch (im oberen Quartil der Gehalte aller Flächen).

Über eine Veränderung der Schwermetall-Vorräte kann keine Aussage gemacht werden, da es nur für die Inventur von 2010 Messwerte gibt.

Die Humusauflage ist durch Schwermetalle kontaminiert, da Ihre Gehalte die Hintergrundwerte, und für Pb sogar den kritischen Level überschreiten. Der Vergleich mit der sich in unmittelbarer Nähe befindenden Fläche SLF1 zeigt höhere Gehalte an Zn und Nickel (Ni) und vergleichbare Werte für alle anderen Schwermetalle. Die höheren Gehalte könnten durch die Behandlung der Fläche mit Hüttenkalk (4,4 t), der Spurenelemente enthält, verursacht worden sein. Die ebenso behandelte, mit Buchen bestockte Fläche SLBD zeigt ähnlich hohe Werte. Hier wird der höhere Schwermetalleintrag auf dieser Fläche offensichtlich durch die Kalkung überlagert.

SLFD

Bewertung Schwermetalle

keine Werte vorhanden

SLFD

Schwermetallvorräte

keine Werte vorhanden

SLFD

keine Werte vorhanden

keine Werte vorhanden

SLFD

