

Boden

Bodenversauerung

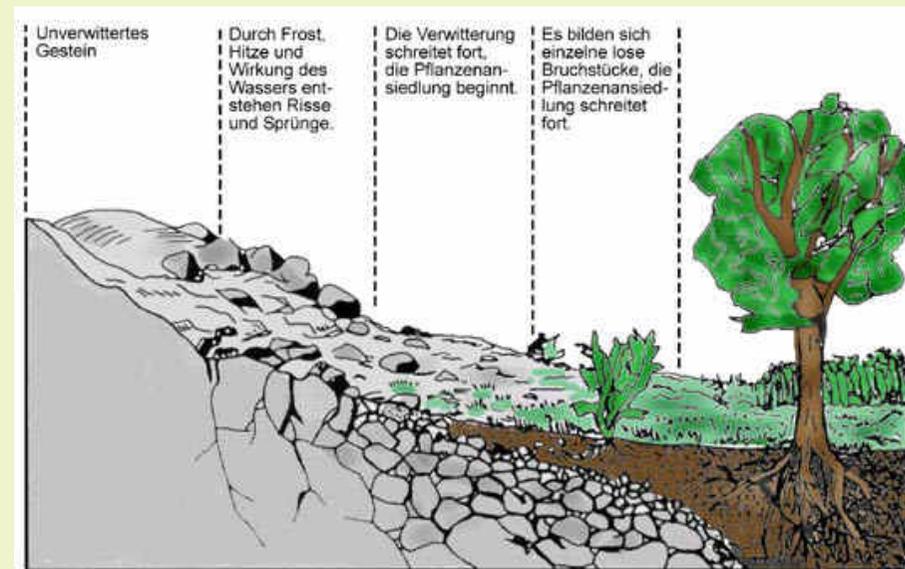
Bodenschutzkalkung

Waldvitalität

Norbert Asche, Gelsenkirchen



Durch die Verwitterung der Gesteine entwickeln sich Böden mit typischen Merkmalen





Böden sind der obere Teil der Erdrinde

im Verzahnungsbereich Atmosphäre, Lithosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre

Böden sind das Produkt einer langen Entwicklung

Umweltfaktoren bewirken Stoffumwandlung (Auf-, Abbau), Horizontfolge

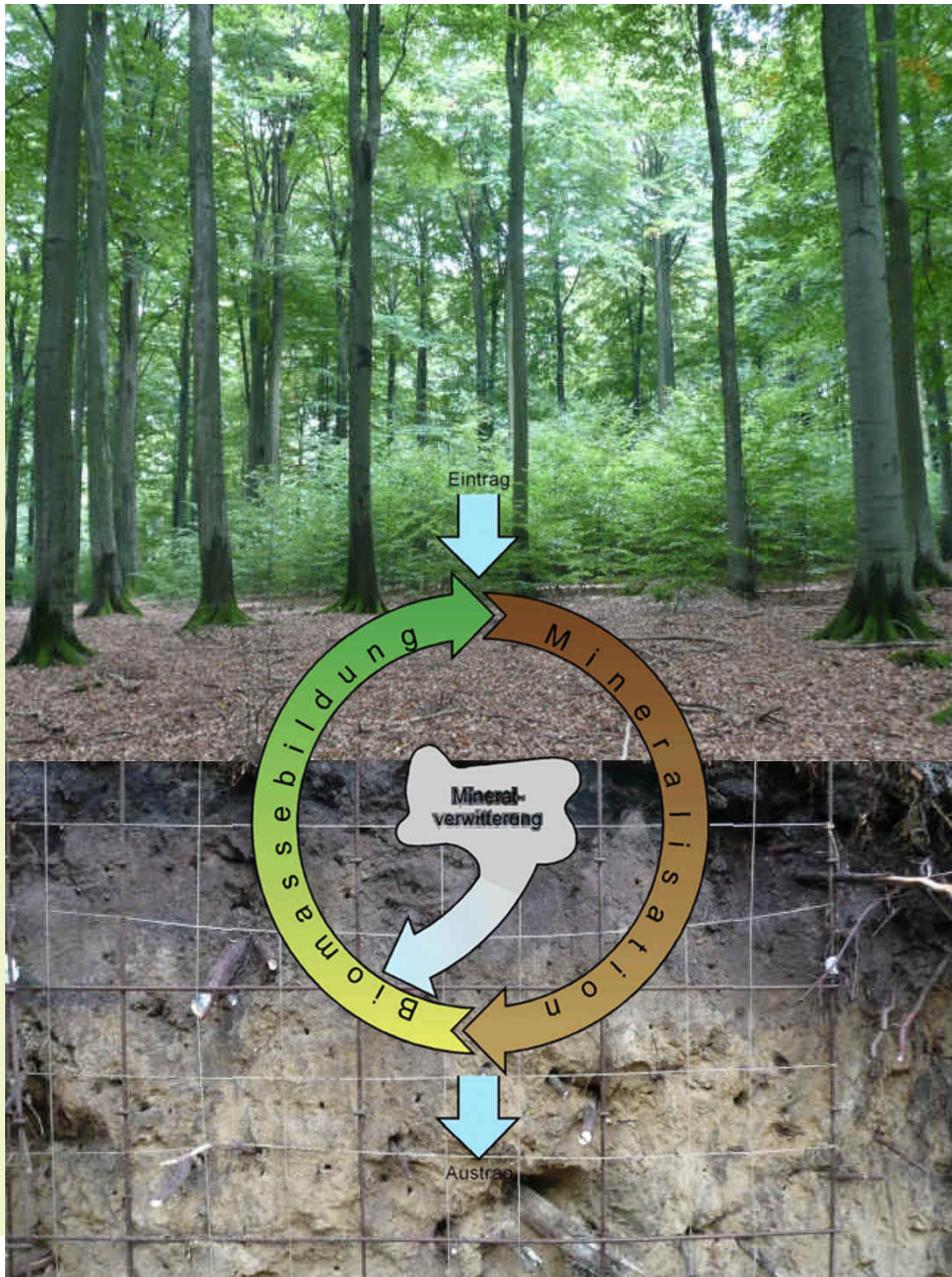
Böden entwickeln verschiedene Eigenschaften

die sich dynamisch weiterentwickeln





Waldökosystem und Waldboden



Biomasse (in kg/ha)		Produktion (Zuwachs in kg/ha-a)	
Gesamtbiomasse (oberirdisch)	274985	Gesamtzuwachs (oberirdisch)	10302
Blätter	3078	Blätter	3040
Blüten und Früchte	360	Blüten und Früchte	580
Äste $\phi < 7\text{cm}$	32460	Äste $\phi < 7\text{cm}$	736
Derbholz $\phi > 7\text{cm}$	238400	Derbholz $\phi > 7\text{cm}$	5946 (= 10,8 fm)
Totholz	687		
Wurzeln	37070	Wurzeln	594

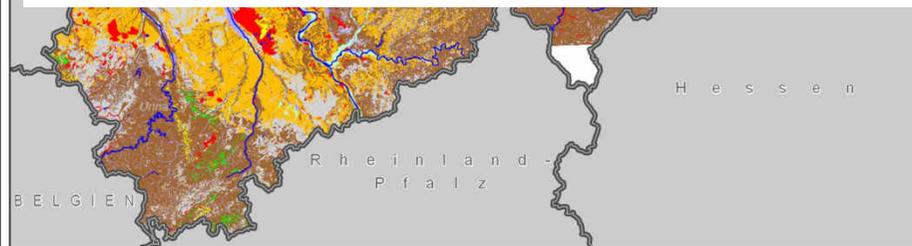
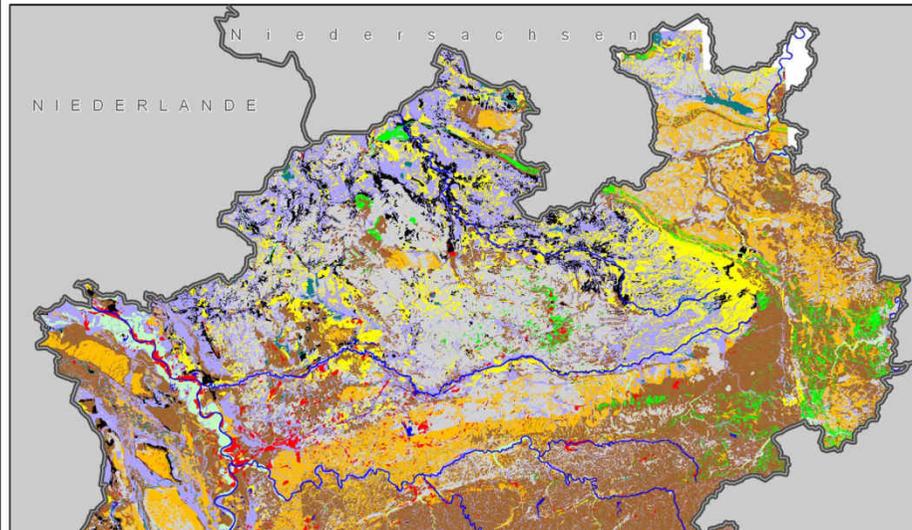
Biomassen- und Produktionsverhältnisse in einem 121-jährigen Moderbuchenwald im Solling (nach SEIBT & ELLENBERG 1986 und HELLER & GÖTTSCHE 1986).

Quelle: W. Hårdle, J. Ewald, N. Hötzel: Wälder des Tieflandes und der Mittelgebirge Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2004





Übersichtskarte Hauptbodentypen in NRW



0 10 20 30 40 50 km

□ nicht bearbeitet
 ■ Gewässer
 ■ gestörte Böden

■ Rendzinen	■ alluviale Böden
■ Braunerden	■ Pseudogleye
■ Parabraunerden	■ Gleye
■ Podsole	■ Moore
■ Esch	

© LOBF NRW 2002

© Geowissenschaftliche Basisdaten: Geologischer Dienst NRW, Krefeld



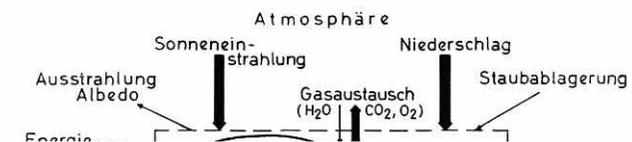
Forstl. Standorterkundung

Entwurf: 06/2003

Autor: Dr. Asche



Boden als Lebensraum (versteckte Biodiversität)



Im Boden ist die Biodiversität größer als auf dem Boden!
 - insbesondere in nicht versauerten Böden -

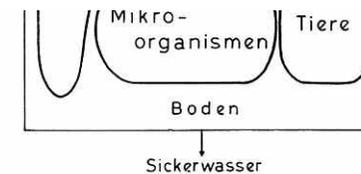
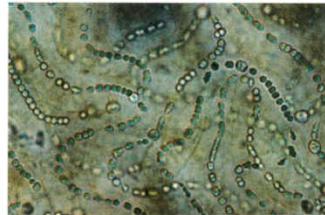


Abb. 91. Schema eines Ökosystems oder Biogeozöns (nach WALTER 1968):
 A Das Biogeozön umrandet im Austausch mit der Umgebung;

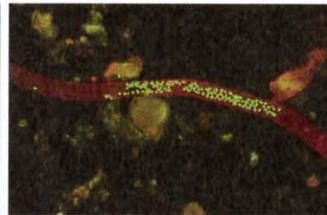
Quelle: WALTER, H.; Allgemeine Geobotanik
 Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co.; Stuttgart 1979



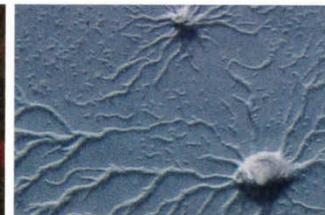
Die wichtigsten Vertreter der Bodenflora und -fauna



Blualgen (Cyanobakterien)

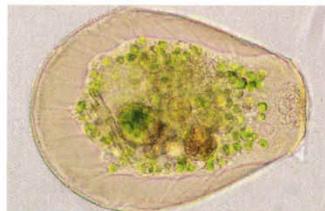


Bakterien auf Pilzfaden

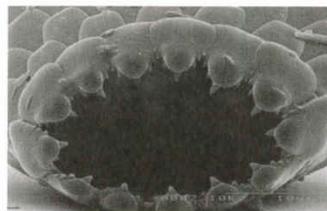


Schleimpilz der Gattung *Dictyostelium*

Algen
Bakterien
Pilze



Amöbe der Art *Hyalosphenia papilio*



Schalenamöbe (*Euglypha*)



Wimperntierchen (*Ciliata*)

Mikrofauna:
0,002 bis 0,2 mm
Amöben
Geisseltierchen
Wimperntierchen



Milbe der Art *Quadropia monstrosa*



Bärtierchen (*Tardigrada*)



Fadenwurm (*Nematoda*)

Mesofauna:
0,2 bis 2,0 mm
Milben
Bärtierchen
Springschwänze
Rädertierchen
Fadenwürmer



Hundertfüßler (*Chilopoda*)



Doppelschwanz (*Diplura*)



Enchytræ: Zu dieser Familie der Ringelwürmer gehört auch der Regenwurm.

Makrofauna:
2 mm bis grösser als 20 mm
Käferlarven
Tausendfüßler
Asseln
Zweiflügler-Larven
Regenwürmer

Bilder: European Atlas of Soil Biodiversity, EU, 2010



Boden als „Humusmaschine“

Vom Blatt zum Mullhumus



Zersetzte Laubstreu (Wald): ca. 3 t atro/(ha*a)



Abb. 125. Abbau der Buchenstreu und Mullbildung (Vogelsberg) in 5 im Waldboden aufeinander folgenden Zersetzungsphasen (nach ZACHARIAE, 1910; SCHALLER).

Quelle: WALTER, H.; Allgemeine Geobotanik
Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co.; Stuttgart 1979



Bodenversauerung

Von Bodenversauerung spricht man, wenn von außen oder durch bodeninterne Prozesse mehr Protonen von Säuren eingetragen werden, als der Boden neutralisieren kann. Sie wird verstärkt, wenn die basischen Reaktionsprodukte von Neutralisationsreaktionen ausgewaschen bzw. ausgetragen werden.

In der Folge nimmt der Basenvorrat ab und am Ende sinkt der Boden-pH ab.

Böden in humiden Klimabereichen versauern im Laufe ihrer Entwicklung (der Pedogenese). Dieser an sich natürliche Vorgang kann durch menschliche Einflussnahme verstärkt werden.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodenversauerung>

Bodenversauerung durch Biomassenutzung



Eindrucksvoll belegt diese Aufnahme der „Kali und Salz AG. Landwirtschaftliche Beratungsstelle“ die Dimensionen einer Papierholz-Tripf am 13. Juni 1958 auf dem Regen bei Fällrechen in der Gemeinde Theresiental im Landkreis Regen/Niederbayern.



Tripf und Hölzfahrt waren bis ins 20. Jahrhundert ein ebenso einträgliches wie umweltfreundliches Wirtschaftsgleis. Seit den 1950er Jahren sind die „Casati Hölzfahrten“ ein – ebenfalls lukrativer – Tourismus- und Freizeitzugang. Zu sehen ist hier die Hölzfahrt im Föllitzbach bei Prassnau im Jahr 1936.

Quelle



Abbildung 5: «Das Bettlauben im Gonzenwald. Das Laubsackfuder wird festgebunden.»

Um 1940, F. Moser-Gossweiler, Romanshorn. Privatchiv M. Bugg, Berschis.

Quelle: Schweiz. Z. Forstwes. 157 (2006) 8: 348–356



Bei der Streunutzung werden abgefallene Blätter, Nadeln, Zweige und Äste zusammengereicht und in den Ställen als Einstreu verwendet. Dem Wald wurden so über Jahrhunderte Nährstoffe entzogen, die Böden verarmten und neue Bäume wuchsen kaum an, die alten Bäume verkrüppelten. Im Nürnberger Reichswald wurden die Streurechte noch nach dem Zweiten Weltkrieg genutzt.

Quelle: Bayerns Wälder, 250 Jahre Bayerische Staatsforstverwaltung Hefte zur bayerischen Geschichte und Kultur, Bd. 27, 2002, S. 39

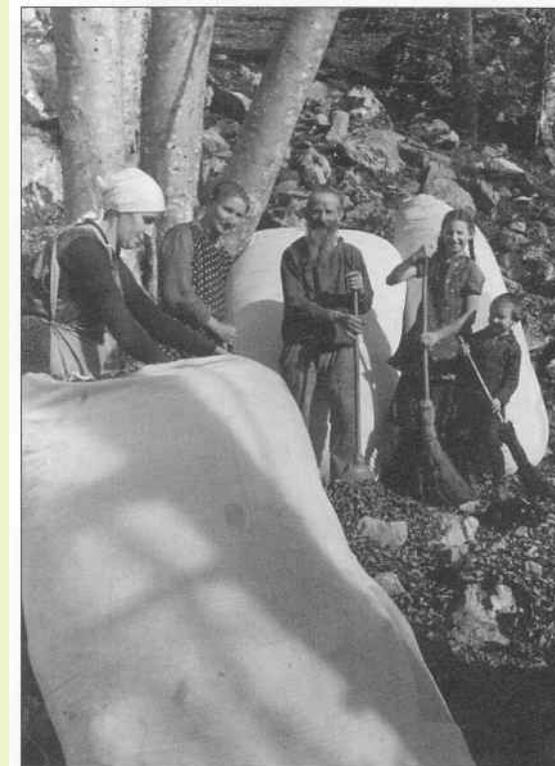


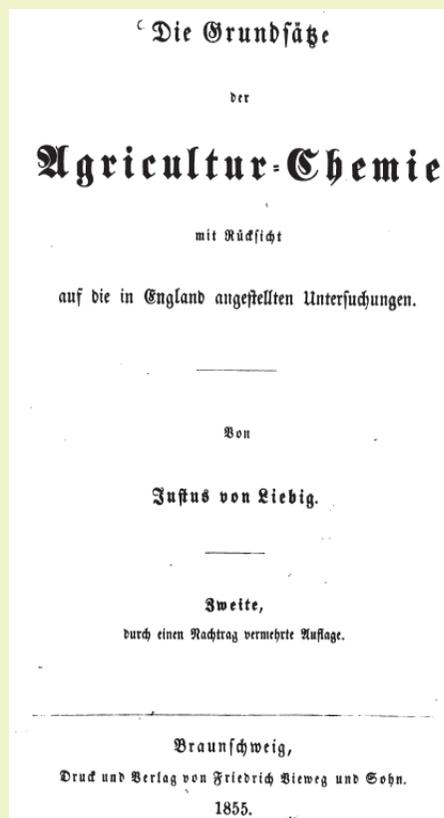
Abbildung 3: «Beim Bettlauben im Gonzenwald ist die ganze Familie beschäftigt.»

Um 1940, F. Moser-Gossweiler, Romanshorn. Privatchiv M. Bugg, Berschis.

Quelle: Schweiz. Z. Forstwes. 157 (2006) 8: 348–356



Biomassennutzung verändert den Boden



3) In den Producten des Feldes wird in den Ernten die ganze Quantität der Bodenbestandtheile, welche Bestandtheile der Pflanzen geworden sind, hinweggenommen und dem Boden entzogen; vor der Einsaat ist der Boden reicher daran als nach der Ernte; die Zusammensetzung des Bodens ist nach der Ernte geändert.

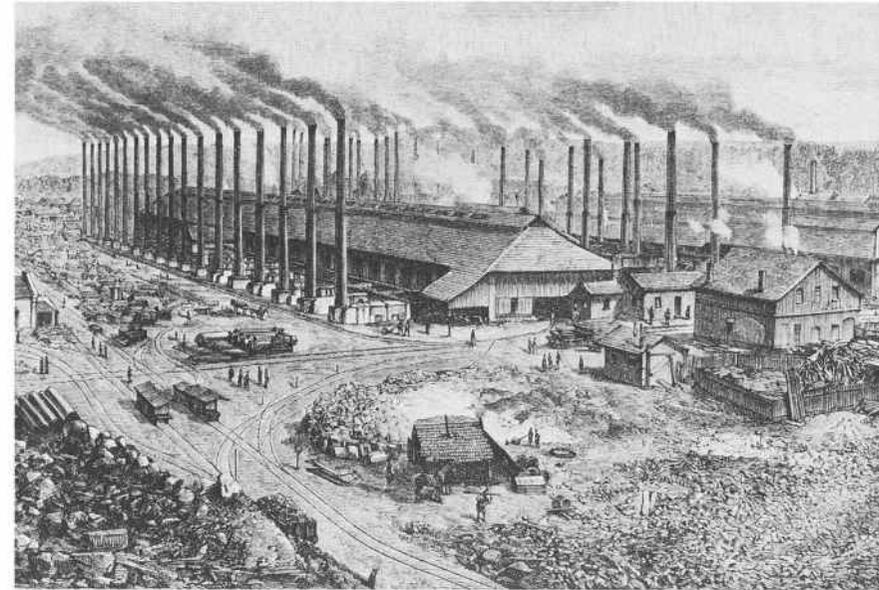
4) Nach einer Reihe von Jahren und einer entsprechenden Anzahl von Ernten nimmt die Fruchtbarkeit der Felder ab. Beim Gleichbleiben aller übrigen Bedingungen ist der Boden allein nicht geblieben was er vorher war; die Aenderung in seiner Zusammensetzung ist die wahrscheinliche Ursache seines Unfruchtbarwerdens.

Säureeinträge beschleunigen Bodenversauerung



Gelsenkirchen-Schalke: Mannesmann-Röhrenwerke und Glückauf-Kampfbahn 1924

Quelle: BRÜGGEMEIER, F.-J., Blauer Himmel über der Ruhr;
Klartext-Verlag; Essen 1992



Das Walzwerk der Burbacher Hütte bei Saarbrücken, um 1870.

Quelle: SPELSBERG, Gerd, Rauch Plage; Alano Verlag; Aachen 1984



Fig. 1. Domestic pollution in a suburban area resulting from the combustion of coal on open grates.

Proceedings of the First European Congress
on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals
Wageningen, April 22 to 27, 1968

Wageningen
Centre for Agricultural Publishing and Documentation
1969

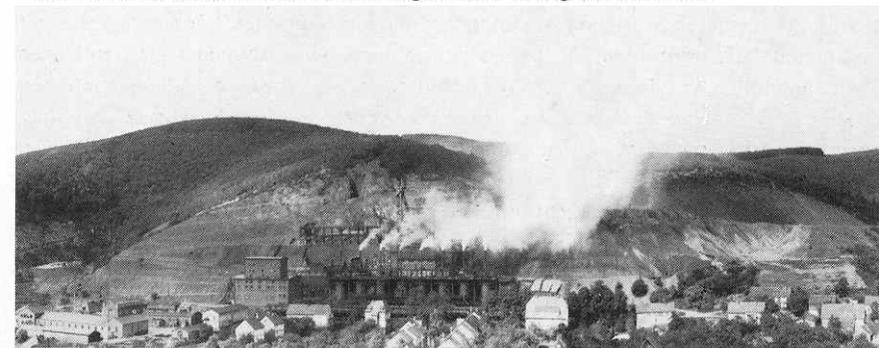


Abb. 1. Absolute Rauchblöße im westdeutschen Bergland bei Einwirkung von Spitzenkonzentrationen bis 15 p.p.m. SO₂. Foto: Wentzel.

Proceedings of the First European Congress
on the Influence of Air Pollution on Plants and Animals
Wageningen, April 22 to 27, 1968

Wageningen
Centre for Agricultural Publishing and Documentation
1969

Säurebelastungen

(ausgewählte Beispiele)

Landesbetrieb Wald und Holz
Nordrhein-Westfalen



Biomassennutzung

0,1 - 0,3 kmolc/(ha*a) bzw. 5 -15 kg CaCO₃/(ha*a) Stammholznutzung o. R.

0,2 - 0,5 kmolc/(ha*a) bzw. 10 -25 kg CaCO₃/(ha*a) Stammholznutzung m. R.

Säureeinträge als Folge der Luftverunreinigungen

2 - 6 kmolc/(ha*a) bzw. 100 -300 kg CaCO₃/(ha*a) Ende siebziger Jahre

0,8 - 3 kmolc/(ha*a) bzw. 40 -150 kg CaCO₃/(ha*a) Mitte neunziger Jahre/Heute

Säurebelastung durch Stickstoffvorratsabbau

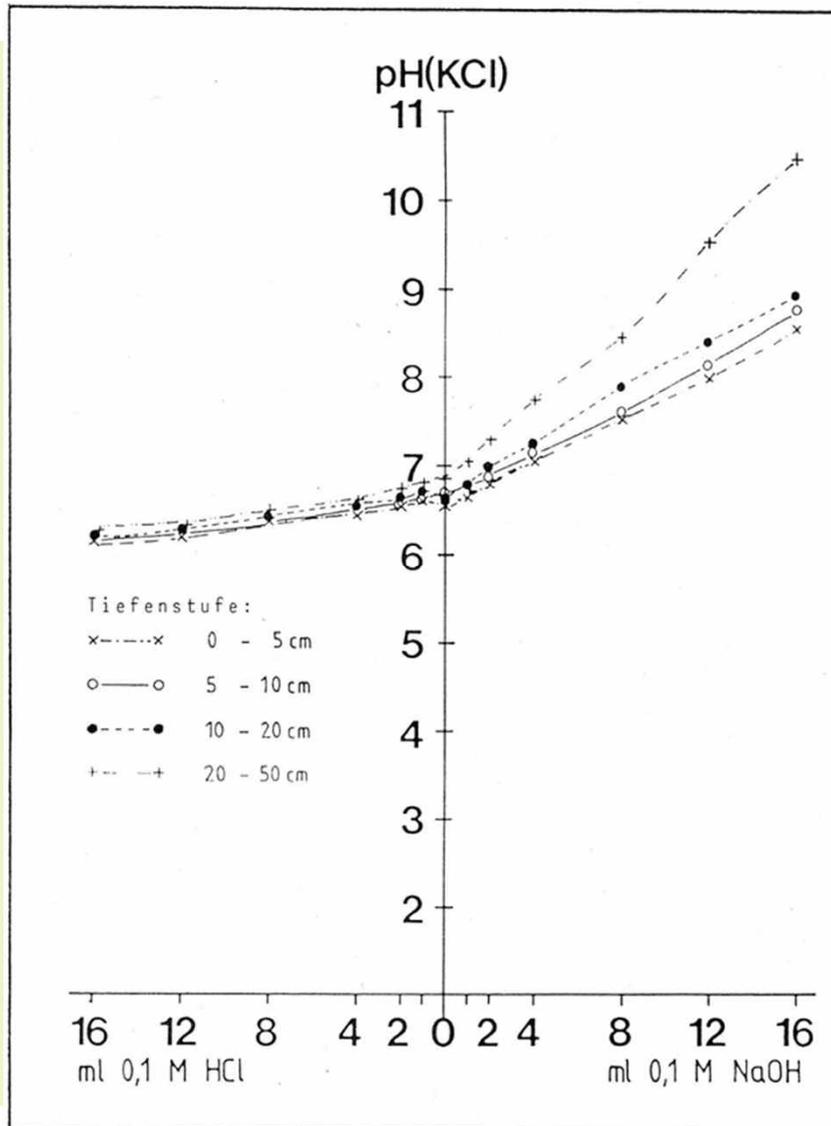
ca. **0 - 10 kmolc/(ha)** bzw. 0 -500 kg CaCO₃/(ha) Nitratauswaschung

Säureneutralisationskapazität **Silikatverwitterung**

ca. **0,2 - 1 kmolc/(ha*a)** bzw. 10 -50 kg CaCO₃/(ha*a)



Wirkung von Säuren im Boden



Säurepufferung im Boden

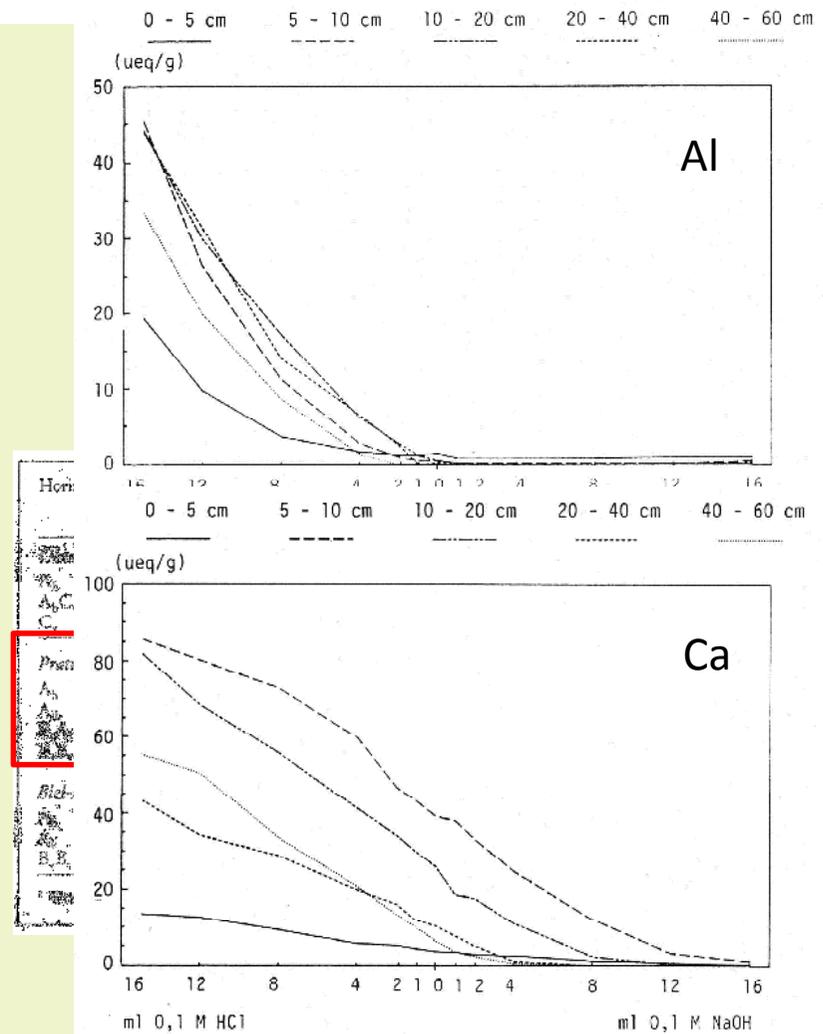
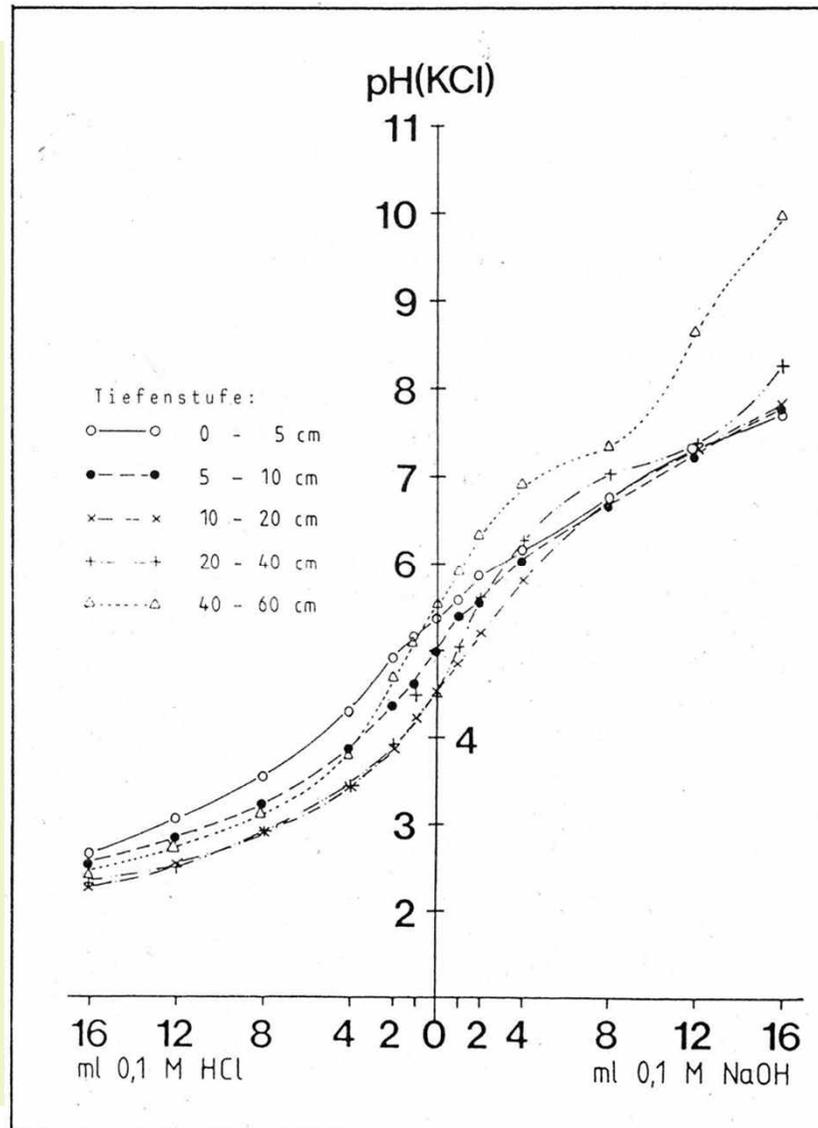
Beispiel: Carbonat im Feinboden

Horizont	Tiefe cm	Bodenart	pH CaCl ₂	C-org. %	CaCO ₃ %	KAR	Ca	Mg	Mo	Al	Fe
<i>Parabraunerde, Brauneerde-Parabraunerde, Humusform L/Mt</i>											
A ₁ C ₁	0-10	uL	7,5	9,5	28,9	-	499	42	0,5	0	0
A ₂ C ₁	15-25	uL	7,3	4,5	28,9	-	426	7	0,1	0	0
C ₁	25-95	uL	7,5	1,2	33,0	-	389	4	0,2	0	0
<i>Parabraunerde, Brauneerde-Parabraunerde, Humusform L/Mt</i>											
A ₁	0-10	uL	6,5	5,7	0	255	225	17	2,0	0	0
A ₂	10-20	uL	5,0	3,6	0	187	153	14	2,7	0	0
A ₃	20-30	uL	4,5	2,8	0	159	127	12	2,2	0	0
A ₄	30-40	uL	4,0	1,5	0	126	102	8	1,1	0	0
<i>Biel-Benke: Bodenrtp Brauneerde-Parabraunerde, Humusform L/F-Mt bis mullartiger Moder</i>											
A ₁	0-10	uL	5,5	3,1	0	200	160	13	1,4	0	0
A ₂	10-20	uL	5,0	2,9	0	180	144	11	1,4	0	0
A ₃	20-30	uL	4,5	2,5	0	150	120	10	1,4	0	0
B ₁ D	35-110	uL	4,0	0,5	0	82	36	17	1,1	26	0

Quelle: ASCHE, N., FLÜCKIGER, W., 1988: Säurepufferung im Boden und ihre Bedeutung für die Stabilität von Waldökosystemen in der NW-Schweiz. Forstw. Cbl. 107, 219-229

Säurepufferung im Boden

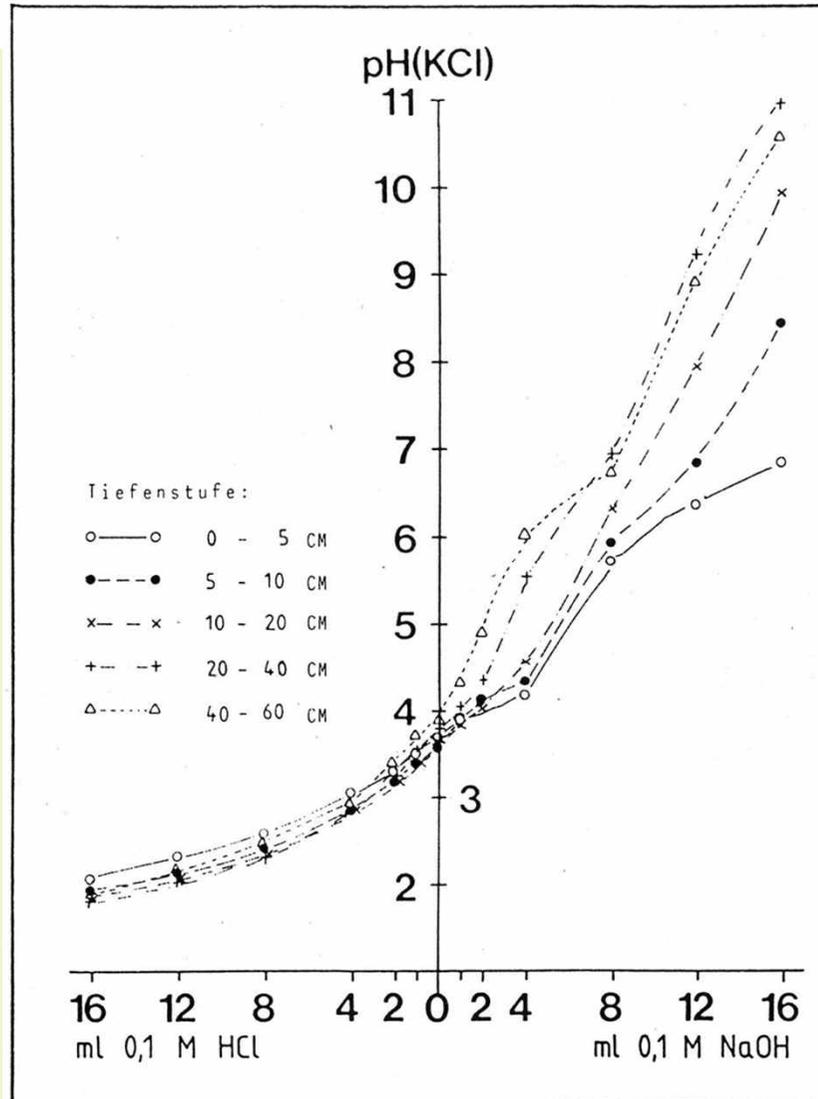
Beispiel: Basensättigung im Feinboden >95%



Quelle: ASCHE, N., FLÜCKIGER, W., 1988: Säurepufferung im Boden und ihre Bedeutung für die Stabilität von Waldökosystemen in der NW-Schweiz. Forstw. Cbl. 107, 219-229

Säurepufferung im Boden

Beispiel: Basensättigung im Feinboden <50%



Säurepufferung in diesem Boden erfolgt im Wesentlichen durch **Freisetzung von Al und Fe**

Horizont	Tiefe cm	Bodenart	pH CaCl ₂	C-org %	CaCO ₃ %	KAK	Ca	Mg	Mo	Al	Fe
							mmol DA/kg				
<i>Präzisions Bodenart: Braunerde-Parabraunerde, Humusform L/M</i>											
A ₁	0-10	uL	7,5	9,5	28,7	-	499	88	0,9	0	0
A ₂	15-25	uL	7,3	4,5	29,9	-	426	7	0,1	0	0
C ₁	25-95	uL	7,5	1,2	33,0	-	389	4	0,2	0	0
<i>Präzisions Bodenart: Braunerde-Parabraunerde, Humusform L-Mull</i>											
A ₁	0-10	uL	6,5	5,7	0	255	226	17	2,0	0	0
A ₂	10-20	uL	5,0	3,6	0	187	163	14	2,7	0	0
A ₃	20-35	uL	4,5	2,8	0	158	147	12	3,4	0	0
A ₄	35-55	uL	4,0	1,5	0	82	82	7	2,2	0	0
<i>Biel-Bauker: Bodenart: Braunerde-Parabraunerde, Humusform L/M-Mull bis mullartiger Moder</i>											
A ₁	5-20	uL	6,5	3,1	0	187	163	14	2,7	0	0
A ₂	20-35	uL	5,0	2,9	0	158	147	12	3,4	0	0
B ₁	35-110	uL	4,2	0,5	0	82	82	7	2,2	26	0

Quelle: ASCHE, N., FLÜCKIGER, W., 1988: Säurepufferung im Boden und ihre Bedeutung für die Stabilität von Waldökosystemen in der NW-Schweiz. Forstw. Cbl. 107, 219-229



Boden speichert Säure

Beispiel BNK: Boden Pratteln und Biel-Benken

Tiefe cm	Biel-Benken				Pratteln			
	TRD ¹ g/cm ³	pH(KCl)	BNK bis pH 5,5 mmol IÄ/kg	Kalkmenge t CaCO ₃ /ha	TRD ¹ g/cm ³	pH(KCl)	BNK bis pH 5,5 mmol IÄ/kg	Kalkmenge t CaCO ₃ /ha
0– 5	1,1	3,7	74	2,0	1,0	5,3	7	0,2
5–10	1,1	3,6	69	1,9	1,1	5,0	17	0,4
10–20	1,3	3,6	61	4,0	1,3	4,5	30	2,0
20–40	1,45	3,8	39	5,7	1,3	4,5	20	2,6
40–60	1,6	3,9	12	1,9	1,6	5,5	0	0

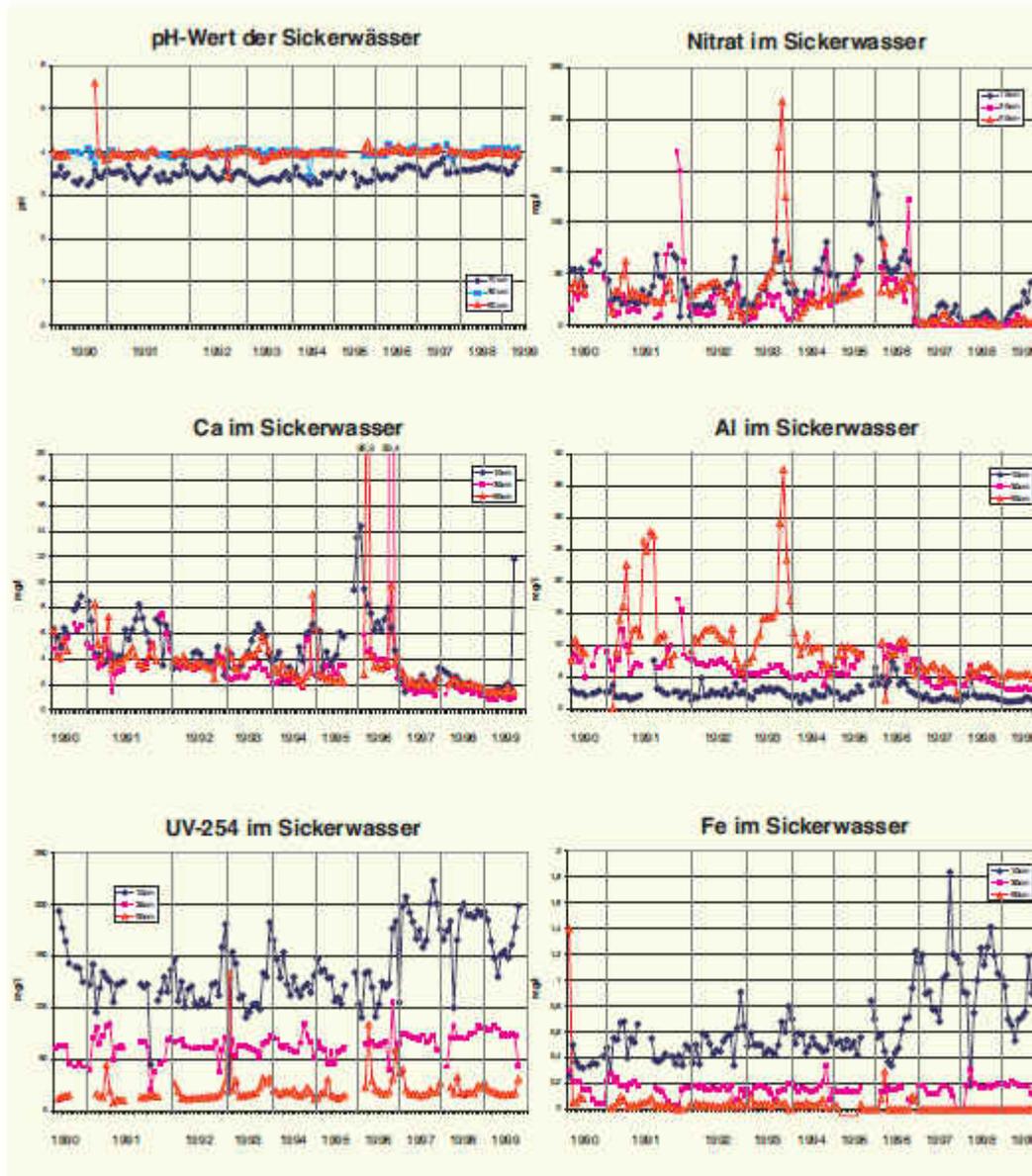
¹ Trockenraumdichte, geschätzt nach: Forstliche Standortaufnahme, 1980



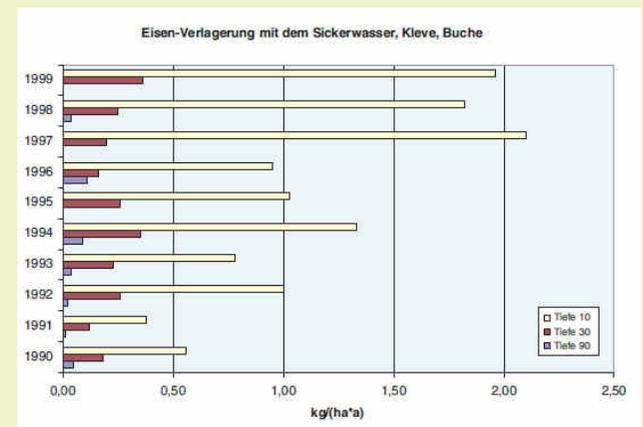
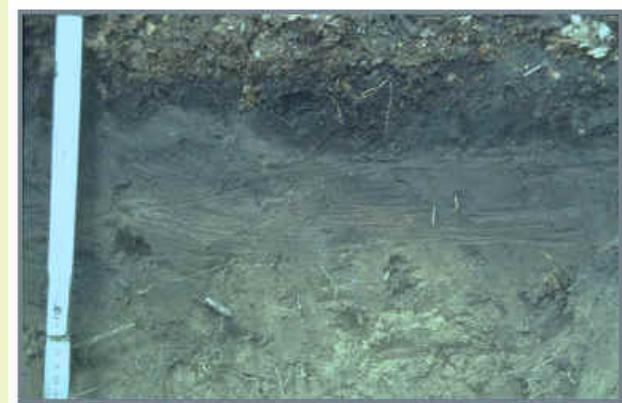
Wirkung von Säuren im Boden

Versuchsfläche Kleve

Podsolbildung unter Rotbuche



Rohhumus bis Moder über Podsol-Braunerde unter Rotbuche





Wirkung von Säuren im Boden

Versuchsfläche Sundern

Störung der natürlichen Verjüngung von Fichtenbeständen



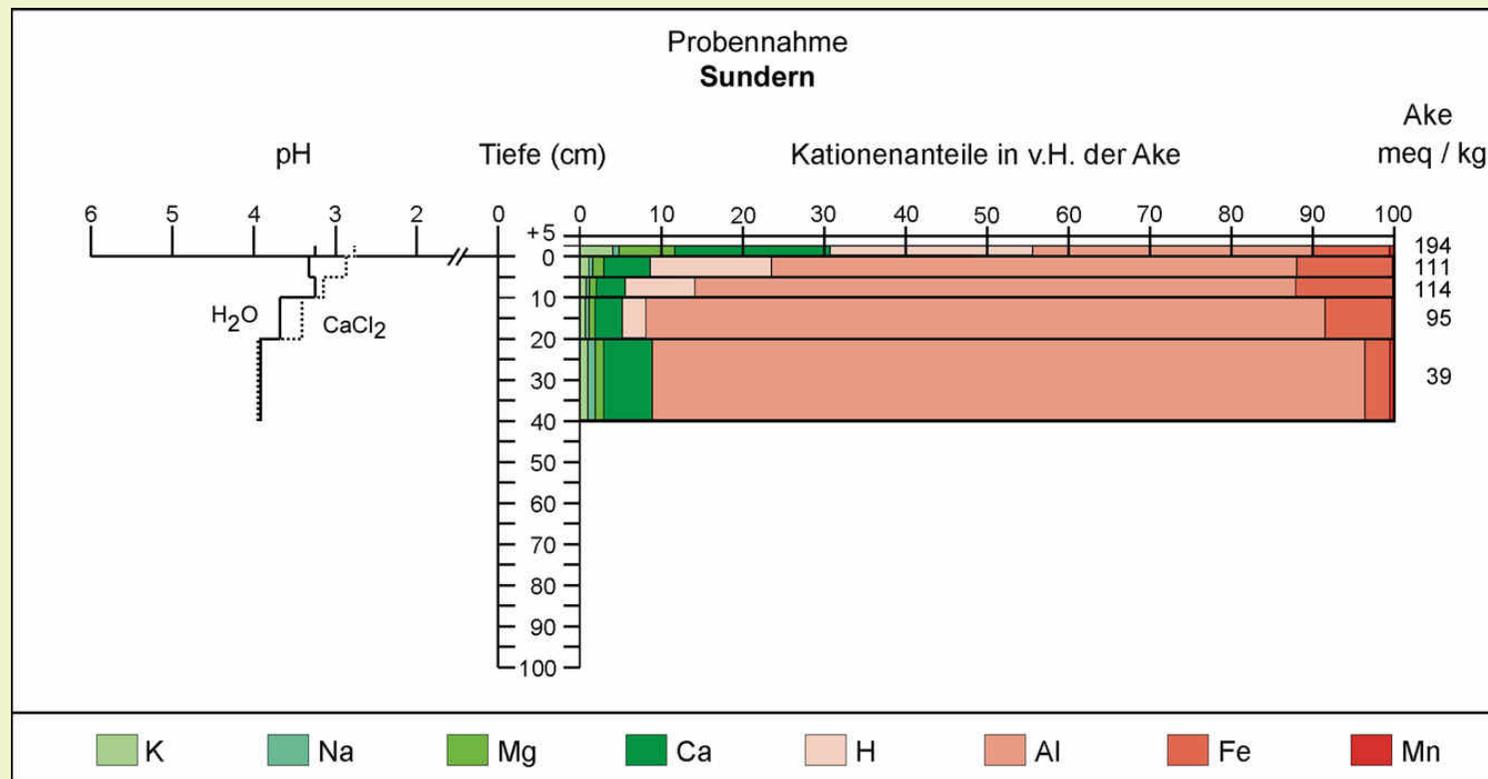


Eine intensive Bodenversauerung behindert die natürliche Verjüngung vitaler Fichten(misch)bestände; Kalkung dringend erforderlich?!

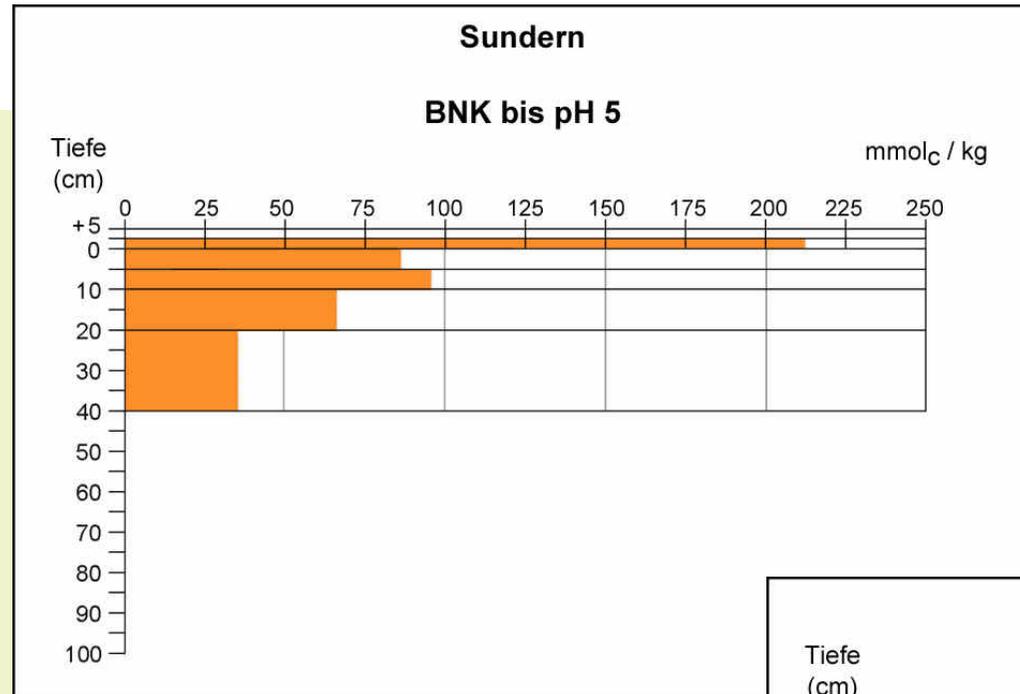




Chemische Kennwerte (arth. Mittel, N=5)

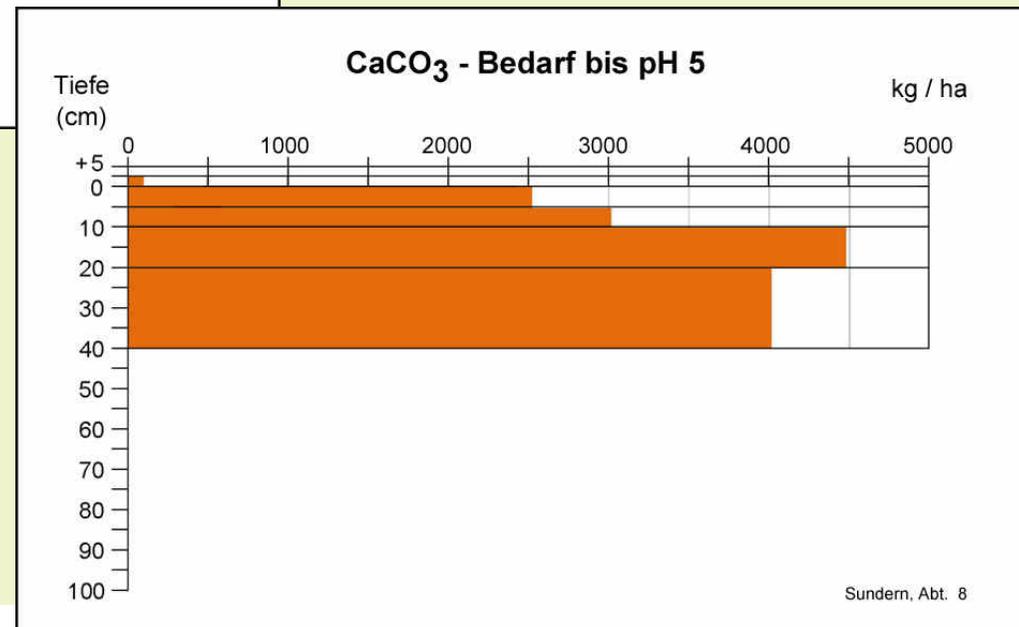


Quelle: ASCHE, N., DREESKORNFELD, H., BERGEN, P., 2014: Wuchsstöckungen einer Fichtennaturverjüngung nach Bodenversauerung. Fallstudie im Stadtwald Sundern, Sauerland. AFZ/DerWald 5, 24-27



Im Boden gespeicherte Säuremenge

**Kalkbedarf um
gespeicherte Säuren
bis pH 5 zu neutralisieren**



Sundern, Abt. 8



Zwischenfazit: Bodenversauerung im Wald

- Verminderte Elastizität der Waldböden
- Änderung der Artenzusammensetzung
- Verlust an Biodiversität
- Störung der Stoffkreisläufe
- Bildung von Auflagehumus
- Nährstoffungleichgewichte bzw. – mangel bei Waldbäumen
- verminderte Produktivität der Pflanzengesellschaft
- Podsolbildung
- Belastung des Grundwassers mit Kationensäuren (u.a. Al, Mn, Fe)

Bodenschutzkalkung

Um die Risiken der Säurebelastung der Waldökosysteme abzumildern, werden Wälder in NRW seit Anfang der achtziger Jahre gekalkt.





Ausgehend von Erkenntnissen von v. Liebig (1803 -1873):

G.L. Hartig empfahl 1834 die Wurzeln der Forstpflanzen anzufeuchten und in eine Mischung aus gleichen teilen Gips und Buchenasche zu tauchen

Biermanns empfahl bei den Aufforstungen in der Nordeifel Mitte des 19. Jahrhunderts eine Rasenaschedüngung. Auch für den Harz sind Rasenaschendüngungen in jener Zeit überliefert.

Planmäßige Kalkungen sind auf größeren Flächen im Wald von Frhr. v. Fürtenberg, Körtlinghausen um 1860 überliefert. Bei Bergheideaufforstungen bei Schmalleben wurden Ende 19. Jahrhundert Kalkungen durchgeführt.

Im Bereich Eggegebirge (Kamlah, 1929) wurden umfangreiche Kalkversuche angelegt, um die mächtigen Rohhumusaufgaben umzuwandeln. Diese Flächen wurden z.T. von Preußischen Forstl. Versuchsanstalt untersucht und erhebliche anhaltende Zuwachssteigerungen in gekalkten Fichtenbeständen nachgewiesen.

1942 wurde vom Reichsforstamt die allgemeine Zweckmäßigkeit der Forstkalkung festgestellt.

Ziele der Bodenschutzkalkung

Landesbetrieb Wald und Holz
Nordrhein-Westfalen



- Neutralisation deponierter Säuren
- Verminderung der Säure- und Kationensäuregehalte in der Bodenlösung und am Austauscherkomplex
- Erhaltung bzw. Schaffung eines für das Wurzelsystem günstigen bodenchemischen Zustand
- Verbesserung der Nährstoff- und Basenversorgung von Blättern und Nadeln, um dadurch das Puffervermögen der Bäume im Kronenraum gegenüber Säuren zu stärken
- Erhaltung bzw. Schaffung eines Bodenzustandes, in dem Bodentiere (insbesondere Regenwürmer) aktiv sein können
- Förderung der Bodenvegetation, Biodiversität
- Auflagehumusformen in Richtung Mineralbodenhumusformen verändern
- Verminderung von toxisch wirkenden hohen Al- und H-Säurekonzentrationen
- Stärkung der natürlichen Verjüngung der Waldbäume
- ***Risiken der Bodenschutzkalkung***

Sind die Ziele der Bodenschutzkalkung erreichbar?

Kalkung

40 Jahre nach der Ausbringung in einem Buchenbestand

Langfristige Wirkungen einer Kalkung auf Bodenvegetation, Humusform und pH-Wert

Von Norbert Asche und Ulrike Halverscheid

Ein heute ca. 86-jähriger Buchenbestand wurde 1958 mit 9 t Kalkmehl/ha behandelt. Diese Fläche fällt durch einen markanten Wechsel Bodenvegetation freier Zonen und Bereiche mit dichter, anspruchsvoller Bodenvegetation auf (insbes. *Galium odoratum*, *Dentaria bulbifera*; Abb. 1). Mit der hier vorgestellten Erhebung wurde geprüft, ob diese Heterogenitäten durch die 1994/36 Jahre zurückliegende Kalkung bedingt sind.

Die Versuchsfläche

liegt 685 bis 690 m ü. NN (montane Höhenstufe) im Wuchsgelände Sauerland, Wuchszonierung Rothaargebiete. Die Jahresmitteltemperatur beträgt ca. 6 °C und die Niederschläge erreichen im Jahresmittel ca. 1.300 mm. Der geologische Untergrund wird durch Tonsteine der Frödenburger Schichten des Mitteldevon gebildet. Aus diesen Gesteinen haben sich basisarme Braunerden mit Moderhumus entwickelt. Die natürliche Vegetation ist der Hainmispel-Buchenwald.

Bodenvegetation

Auf der Versuchsfläche wurden 10 krautige Pflanzen (*Galium odoratum*, Waldmeister; *Dentaria bulbifera*, Zwiebelzahnwurz; *Gymnocarpium dryopteris*, Eichenfarn; *Seneccio luchsii*, Fuchskrautkraut; *Luzula luzuloides*, Weiße Hainmispel; *Dryopteris carthusiana*, Karthäuser-Wurmtam; *Avonella flexuosa*, Drahtschmiele; *Impatiens noli-tangere*, Springkraut; *Vaccinium myrtillus*, Heidelbeere; *Millium effusum*, Flattergras und das Moos *Polytrichum commune* Frauenhaarmoss) angeordnet (Abb. 1). Von diesen Pflanzen tragen *Galium odoratum*, *Dentaria bulbifera* und *Gymnocarpium dryopteris* auf Teilflächen mit hohen Deckungsgraden auf bzw. kamen z.T. nur vereinzelt auf diesen Flächen vor.

Dr. N. Asche ist Dozent an der Landesanstalt für Ökologie, Bodenkunde und Forstwissenschaften der Universität Münster, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Fakultät für Forstwissenschaften, 48149 Münster, 1.06.2002.

U. Halverscheid hat die Rasterkartierung im Winterberg im Rahmen eines Diplomarbeit (Forst. Fak. 2, Univ. Göttingen, 1994) durchgeführt.

1. Abb. 122 Forstwiss. Mitt., ab 1992 Privatverlag

Humusform

Es konnten 5 Humusformen kartiert werden (Abb. 2):

F-Mull: Horizontfolge OL - OF - Ah. Die organische Auflage ist geringmächtig und der A-Horizont reicht bis zu 10 cm Tiefe (im Mittel 5 bis 7 cm) mit einem unscharfen Übergang zum Bv-Gelände; fein subpolyedrisch, z.T. krümelig, schwach kohärent.

Moder, mullartig: Horizontfolge OL - OF (OH) - Ah. Unter der OF-Lage ist eine OH-Lage zu erkennen, die z.T. flüchtig und nicht flächig ausgegliedert ist. Der Ah-Horizont ist 2 bis 3 cm mächtig mit einem deutlichen Übergang (3 bis 10 mm) zum Bv-Gelände; fein subpolyedrisch, schwach kohärent.

Moder, feinhumusarm: Horizontfolge OL - OF - OH - A(e)h. Die F-Lage ist 1 bis 2 cm, ist stark vermetzt, die H-Lage ist flächig ausgebildet, bis 1,5 cm mächtig, bröckelig und stark durchwurzelt. Die Übergänge zwischen den Horizonten sind unscharf. Der A(e)h ist 2 bis 4 cm mächtig, schwach violettlich mit einem z.T. scharfen Übergang zum Bv-Gelände; Subpolyedrisch, schwach kohärent.

Moder, feinhumusreich: Horizontfolge OL - OF - OH - A(e)h. Die F-Lage ist 2 bis 4 cm mächtig.

Methode

Von der 4 ha großen Bestandesfläche wurde 1994 eine 1 ha große repräsentative Teilfläche ausgewählt, mit einem 10 x 10 m Raster überzogen, vermarktet und kartiert. Die Bodenvegetation wurde auf dem Raster teilflächen nach BRAUN-BLANQUET [2] aufgenommen. Für die Bestimmung der Humusformen und pH-Werte wurde im Mittelpunkt der Rasterflächen ein kleiner Bodeneinschlag bis 40 cm Tiefe angelegt. Hier wurde die Humusform angesprochen [7] und in den Tiefen 10 cm und 40 cm der pH-Wert in H₂O und CaCl₂ mit einer Einstabglasspektrode in der Bodensuspension gemessen.

Für 4 ausgewählte Punkte, die sich in der Humusform und der Bodenvegetation deutlich unterscheiden, wurde die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK) und die Beladung der Austauscher bestimmt (Percolation mit 1 N NH₄Cl [6]).

lig. vermetzt und z.T. verfilzt. Die H-Lage ist bis zu 5 cm stark (im Mittel 2 bis 3 cm), nicht scharf abgrenzbar, durchwurzelt, die Lagerung ist schichtig. Die Übergänge zwischen den Horizonten sind unscharf. Der A(e)h ist 2 bis 3 cm mächtig, violettlich mit einem z.T. scharfen Übergang zum Bv-Gelände; Subpolyedrisch, schwach kohärent.

Moder, rohhumusartig: Horizontfolge OL - OF - OH - A(e)h. Die F-Lage ist 2 bis 4 cm und ist schichtig bzw. sperrig ausgebildet. Die H-Lage ist 3 bis 6 cm (im Mittel 5 cm) mächtig, kompakt, led. n. unscharf, bruchbar, schwach durchwurzelt, wobei allerdings zahlreiche Groowurzeln (≥ 2 mm) auftreten. Die Übergänge zwischen den Horizonten sind scharf (≥ 3 mm). Die H-Lage ist gut vom Mineralbodenhorizont A(e)h zu trennen. Dieser ist 1 bis 2 cm mächtig, violettlich, schwach geleicht mit scharfem Übergang zum Bv-Gelände; (Sub-)Polyedrisch, kohärent.

pH(H₂O)-Werte

In den Abb. 3 und 4 sind die gemessenen pH-Werte in den jeweiligen Rasterflächen und Tiefenstufen verzeichnet. Die farbige Darstellung richtet sich nach den chemischen Pufferbereichen [8].

Entsprechend den in 10 cm Tiefe gemessenen pH-Werten können 35 der Rasterpunkte dem Aluminium-, 41 dem Austauscher-, 21 dem Silikat- und 3 Punkte sogar dem Carbonatpufferbereich zugeordnet werden. Die Säurestärke lag zwischen pH-Wert 3,91 und 7,18. Das bedeutet, daß die Wasserstoffionenkonzentration räumlich um den Faktor 1.000 differiert.

In der Tiefe 40 cm wurden pH-Werte zwischen 4,17 und 6,46 gemessen. Jeweils eine Fläche wurde dem Aluminium- und eine dem Carbonat-, 28 dem Silikat- und 70 dem Austauscherpufferbereich zugeordnet. Mit diesem Ergebnis ist die Heterogenität der Säurestärke auf der Versuchsfläche in dieser Tiefe geringer als in der Tiefe 10 cm.

Kationenaustauschkapazität

In Bereichen mit der Humusform Moder wurden Werte der KAK_v von 140 bis 150 mmol/kg Oberboden und 50 bis 60 mmol/kg Feinboden in 40 cm Tiefe gemessen (Abb. 5). Diese Werte sind typisch für zahlreiche Waldböden des Sauerlandes [3]. Die Austauscher sind im Oberboden zu 19 v. H. (Profil 3) bzw. 40 % (Profil 1) und in 25 bis 40 cm Tiefe

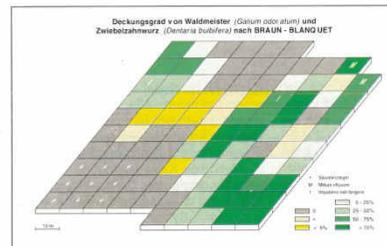


Abb. 1: Deckungsgrad von Waldmeister (*Galium odoratum*) und Zwiebelzahnwurz (*Dentaria bulbifera*) nach BRAUN-BLANQUET

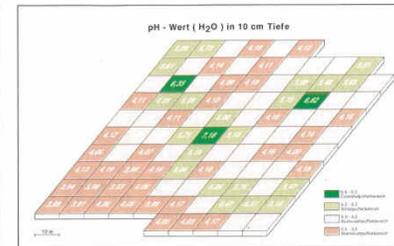


Abb. 3: pH-Wert (H₂O) in 10 cm Tiefe

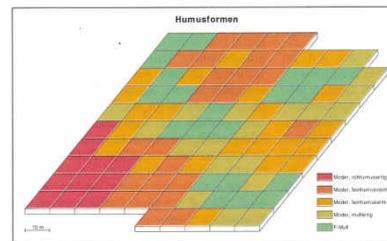


Abb. 2: Humusformen

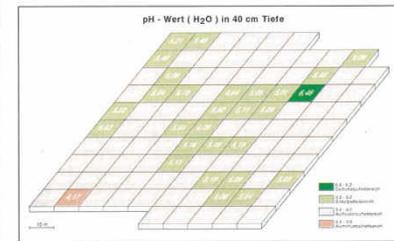


Abb. 4: pH-Wert (H₂O) in 40 cm Tiefe



Abb. 4: Bodenprofil mit der Humusform F-Mull

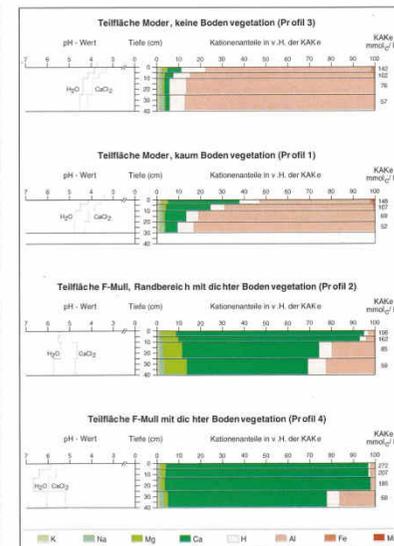
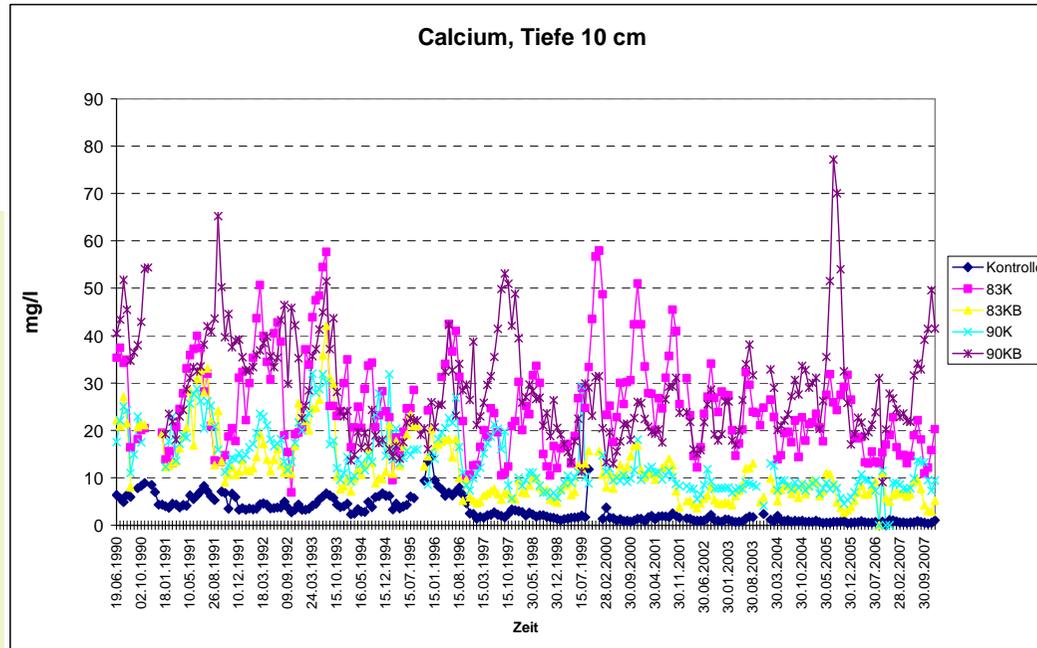


Abb. 5: Bodenchemische Kenndaten auf der Versuchsfläche in Winterberg 1992 (Grafik: Fuhrmann)

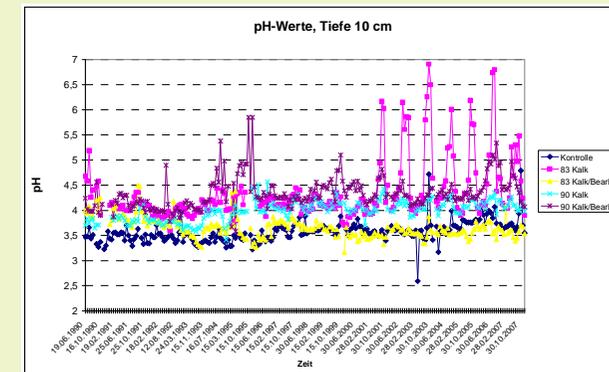
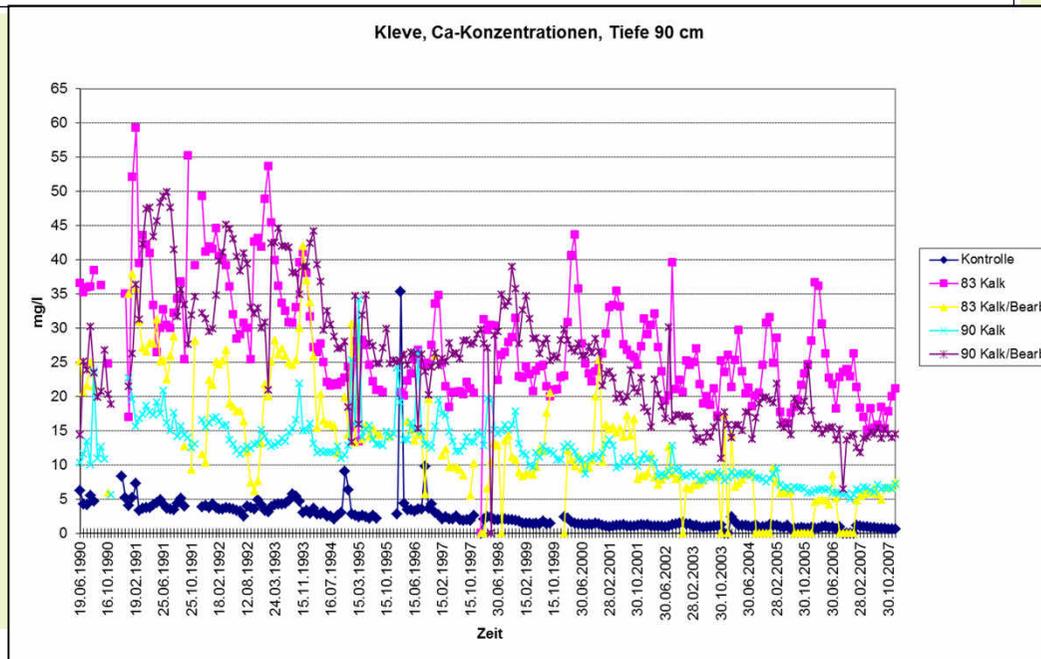


Abb. 5: Bodenprofil mit der Humusform Moder (Fotos: Nolte)



Bodenschutzkalkung und Sickerwasser

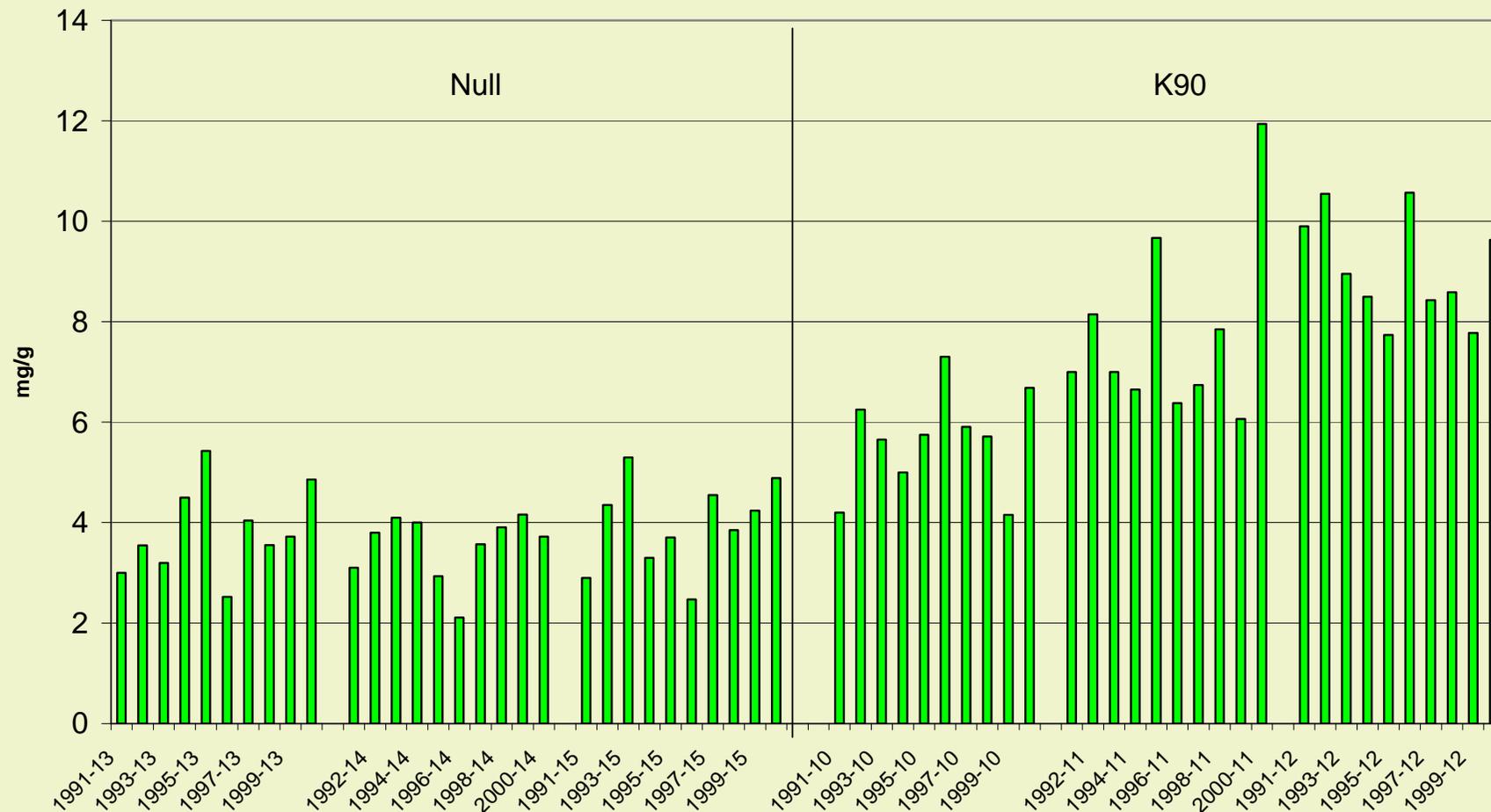
Beispiel: Kalkversuchsfläche Kleve





Bodenschutzkalkung und Buchenblätter (Kleve)

Ca-Gehalte von Buchenblättern, Flächen Null und K90, Kleve



Ausreichende Ernährung, BERGMANN, 1988: 3 – 15 mg/g TS

Normalbereich, GÖTTLEIN et al, 2011: 6,66 – 14,03 mg/g TS



Untersuchungen zum Vorkommen von Regenwürmern



Obereimer: Regenwürmer, Anzahl und Biomasse

plot	treatment (year)		pH(H ₂ O)*	base saturation in % of CECe depth: 0 - 5 cm	Life form of earth worms**					
					epigeic		anezic		endogeic	
					spring	autumn	spring	autumn	spring	autumn

Number of worms per m²

Obereimer	0	x	3,49	2,0	0	0,7	0	0	0	0
		min	3,4	0,94		0				
		max	3,5	2,61		4				
12 t lime (1983, 1990)	12 t lime (1983, 1990)	x	4,64	11,0	51,3	22,7	0	0	60,7	93,3
		min	4,09	7	32	12			0	0
		max	4,93	13,7	84	40			260	332
6 t ash (1994)	6 t ash (1994)	x	4,56	12,8	83,3	76	0	0	3,3	6
		min	4,02	8,84	52	20			0	0
		max	5,14	13,5	124	104			8	32
Bad Driburg	Beech forest on limestone	x	6,52	99,0	10,4	0,4	14,8	14,4	60,4	16,8
		min	5,08	97,5	0	0	4	8	16	0
		max	7,1	99,5	24	4	20	24	116	84

Biomass of worms in g per m²

Obereimer	0	x	3,49	2,0	0	0,22	0	0	0	0
		min	3,4	0,94		0				
		max	3,5	2,61		1,33				
12 t lime (1983, 1990)	12 t lime (1983, 1990)	x	4,64	11,0	9,03	3,9	0	0	7,23	18,04
		min	4,09	7	5,65	1,08			0	0
		max	4,93	13,7	14,7	6,05			24,05	51,05
6 t ash (1994)	6 t ash (1994)	x	4,56	12,8	20,38	15,02	0	0	2,91	0,79
		min	4,02	8,84	9,98	2,96			0	0
		max	5,14	13,5	32,8	24,76			7,84	4,42
Bad Driburg	Beech forest on limestone	x	6,52	99,0	4,66	0,31	59,28	34	21,09	7,15
		min	5,08	97,5	0	0	24,32	2,2	6,28	0
		max	7,1	99,5	14,36	3,05	85,8	86,49	46,8	25,87





Hunau, Hochsauerland

Bodenschutzkalkung und Naturverjüngung



Arnsberger Wald,
Nordsauerländer Oberland

Bodenschutzkalkung und Baumwurzeln (Arnsberg)

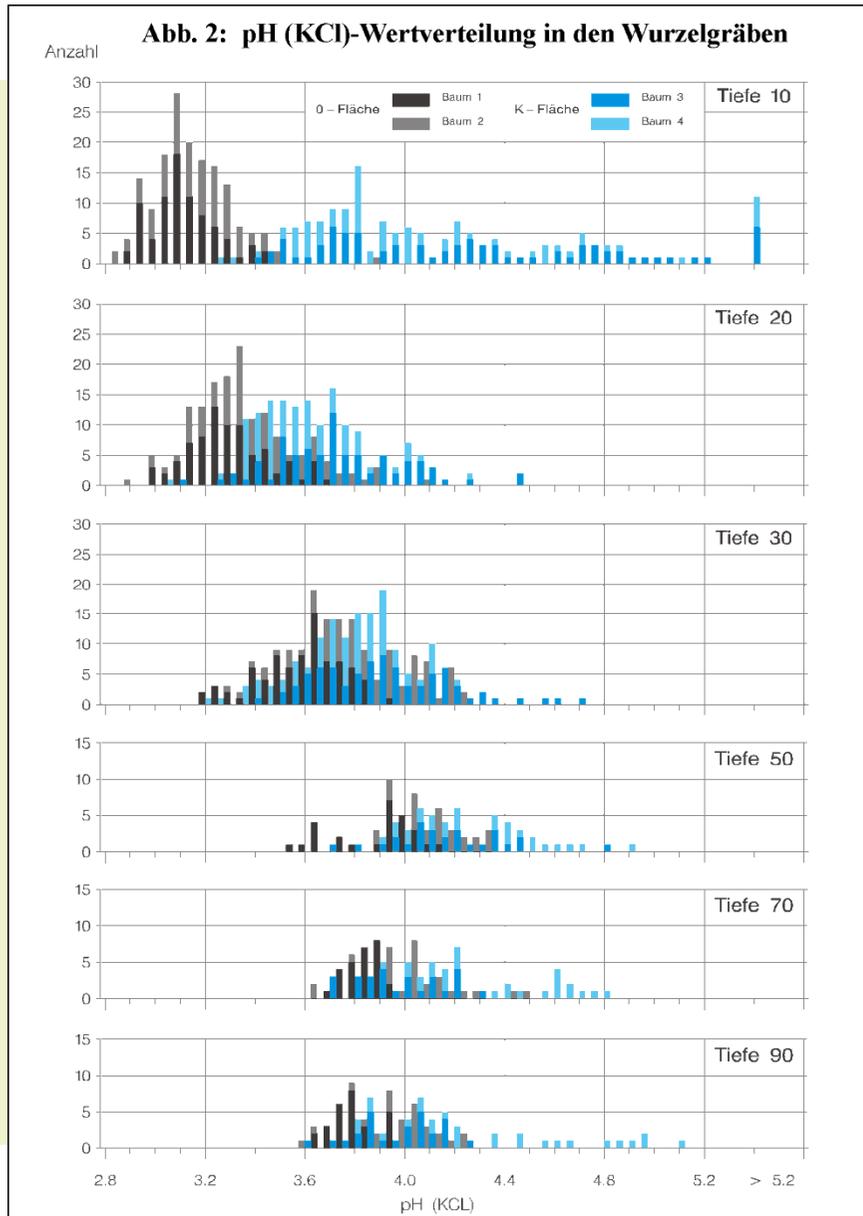
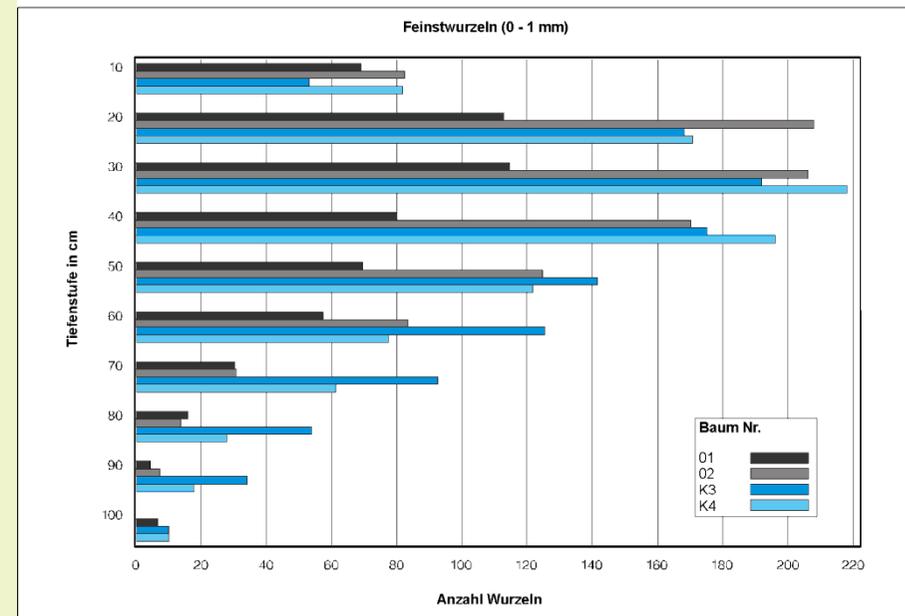


Abb. 5: Feinwurzeln bezogen auf 1m Grabenlänge



Quelle: ASCHE, N., 1999: Bodenschutzkalkung und das Wurzelsystem der Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Eine Fallstudie im Sauerland. Forstw. Cbl. 118, 294-301



Zwischenfazit: Bodenschutzkalkung im Wald

Mit der Bodenschutzkalkung können Ziele dieser Maßnahme erreicht, die Vitalität der Bestände gestärkt und Belastungen nachgelagerter Umweltgüter vermieden werden.

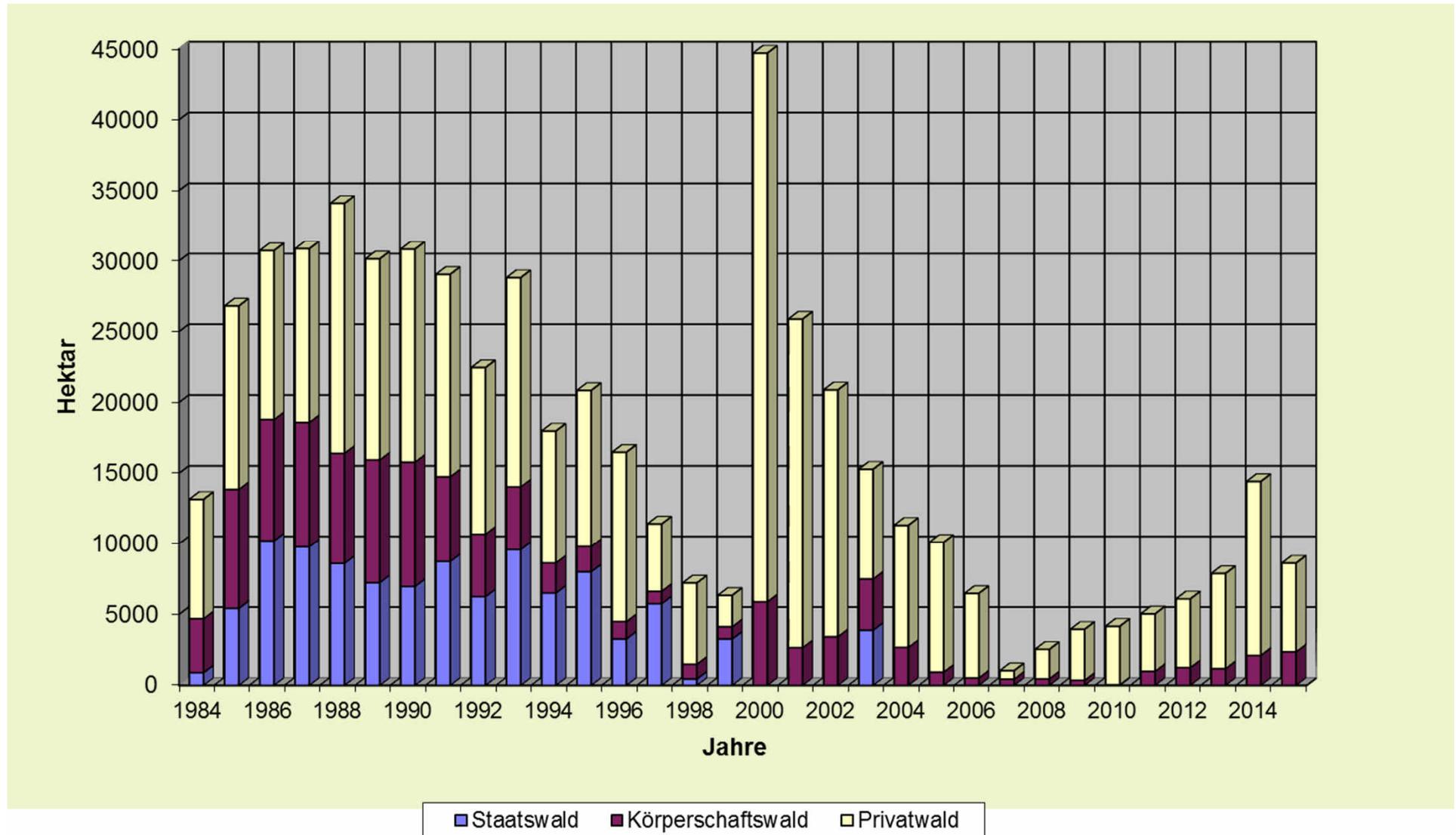
Jedoch ist es erforderlich aktuelle Säureeinträge weiter zu reduzieren und die Biomassennutzungen an die nachschaffende Kraft der Waldböden anzupassen.



Waldflächen mit Bodenschutzkalkung in NRW



Gekalkte Waldfläche in NRW 1984 - 2015





Schlußbetrachtung

- Boden ist der zentrale Ort in Waldökosystem.
- Sein Zustand prägt die aufstockenden Wälder.
- Waldboden ist das Basiskapital jeden Forstbetriebes.
- Bodenversauerung mindert dieses Kapital i.d.R. irreversibel
- Bodenversauerung führt zu „Biodiversitätsverlusten“
- Bodenversauerung sollte unbedingt kompensiert werden.
- Bodenschutzkalkungen stärken Vitalität und Biodiversität
der Waldökosysteme



Forsten



▶ LANDESFORSTVERWALTUNG NRW

Bodenschutzkalkung in Nordrhein-Westfalen

Ministerium für
Umwelt und
Naturschutz,
Landwirtschaft und
Verbraucherschutz
des Landes
Nordrhein-Westfalen

NRW.

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

