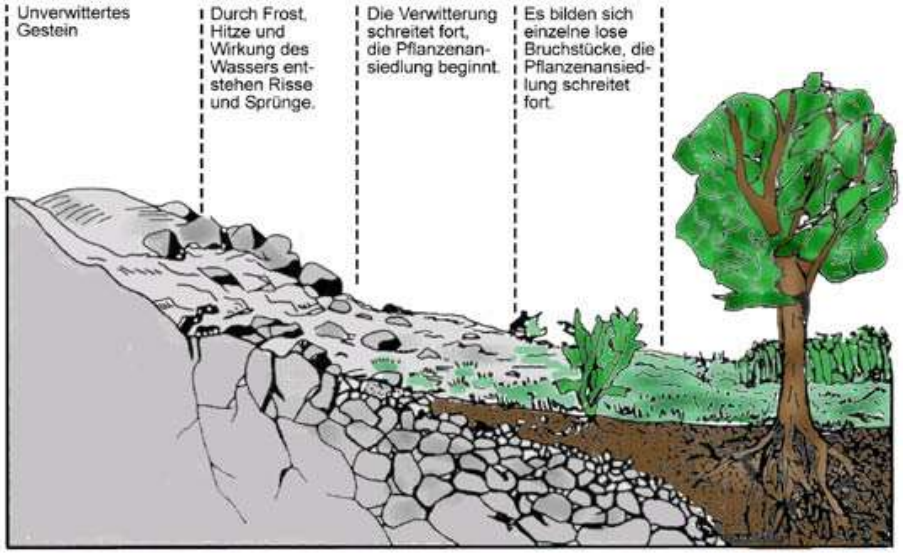
# Bodenschutzkalkung im Wald

Norbert Asche, Recklinghausen

Schwerte, Juni 2024

Durch die Verwitterung der Gesteine entwickeln sich Böden mit typischen Merkmalen



## Böden sind der obere Teil der Erdrinde

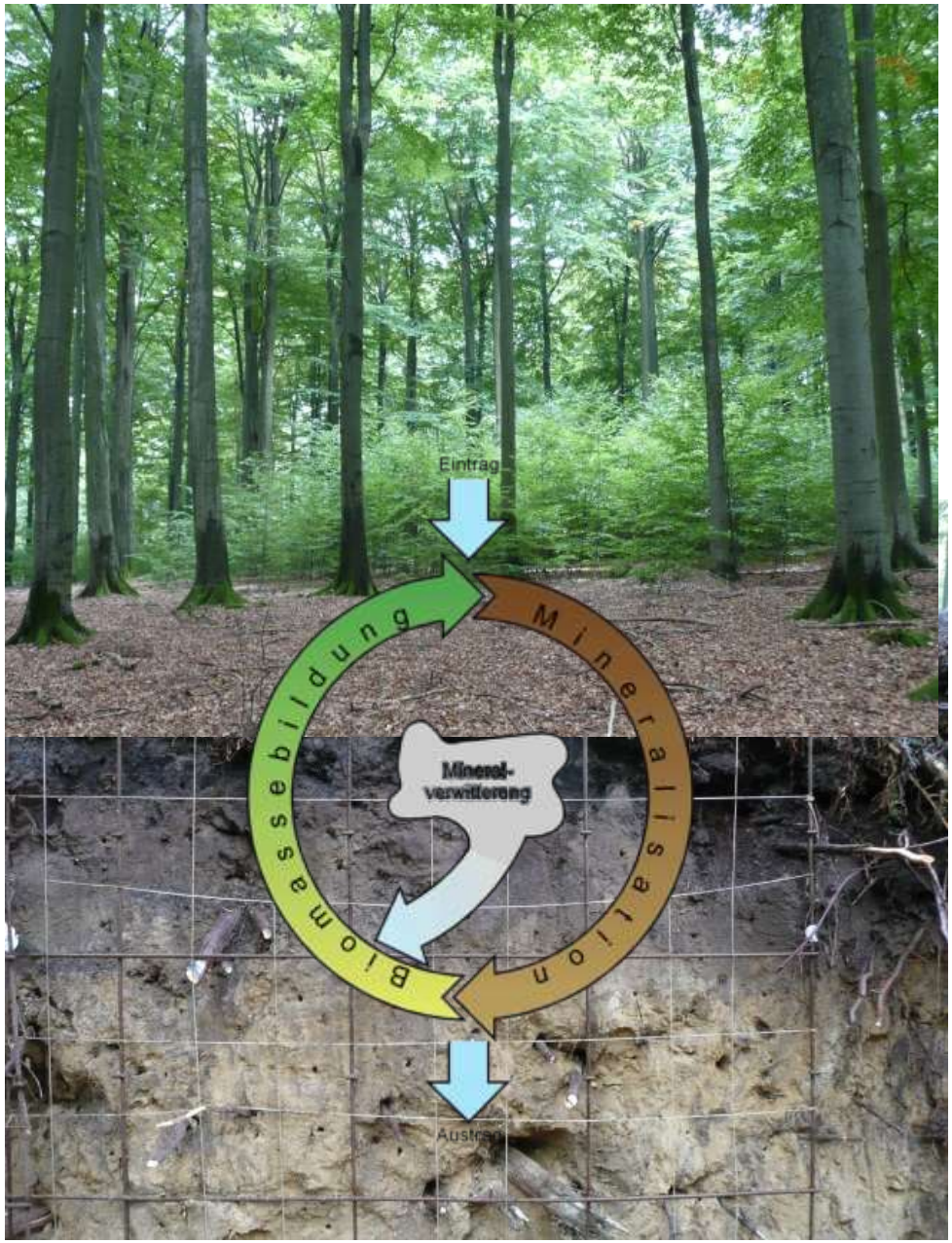
im Verzahnungsbereich Atmosphäre, Lithosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre

## Böden sind das Produkt einer langen Entwicklung

Umweltfaktoren bewirken Stoffumwandlung (Auf-, Abbau), Horizontfolge

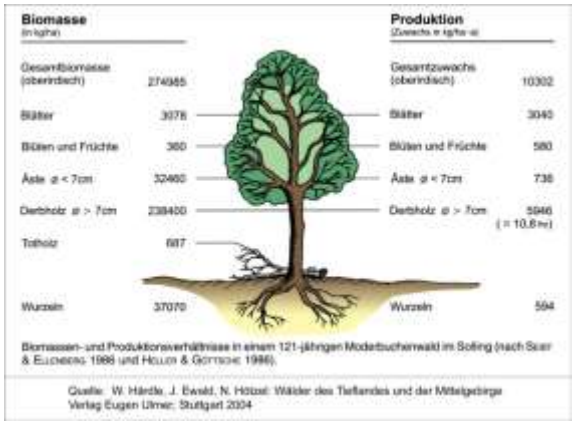
## Böden entwickeln verschiedene Eigenschaften

die sich dynamisch weiterentwickeln




# Boden:

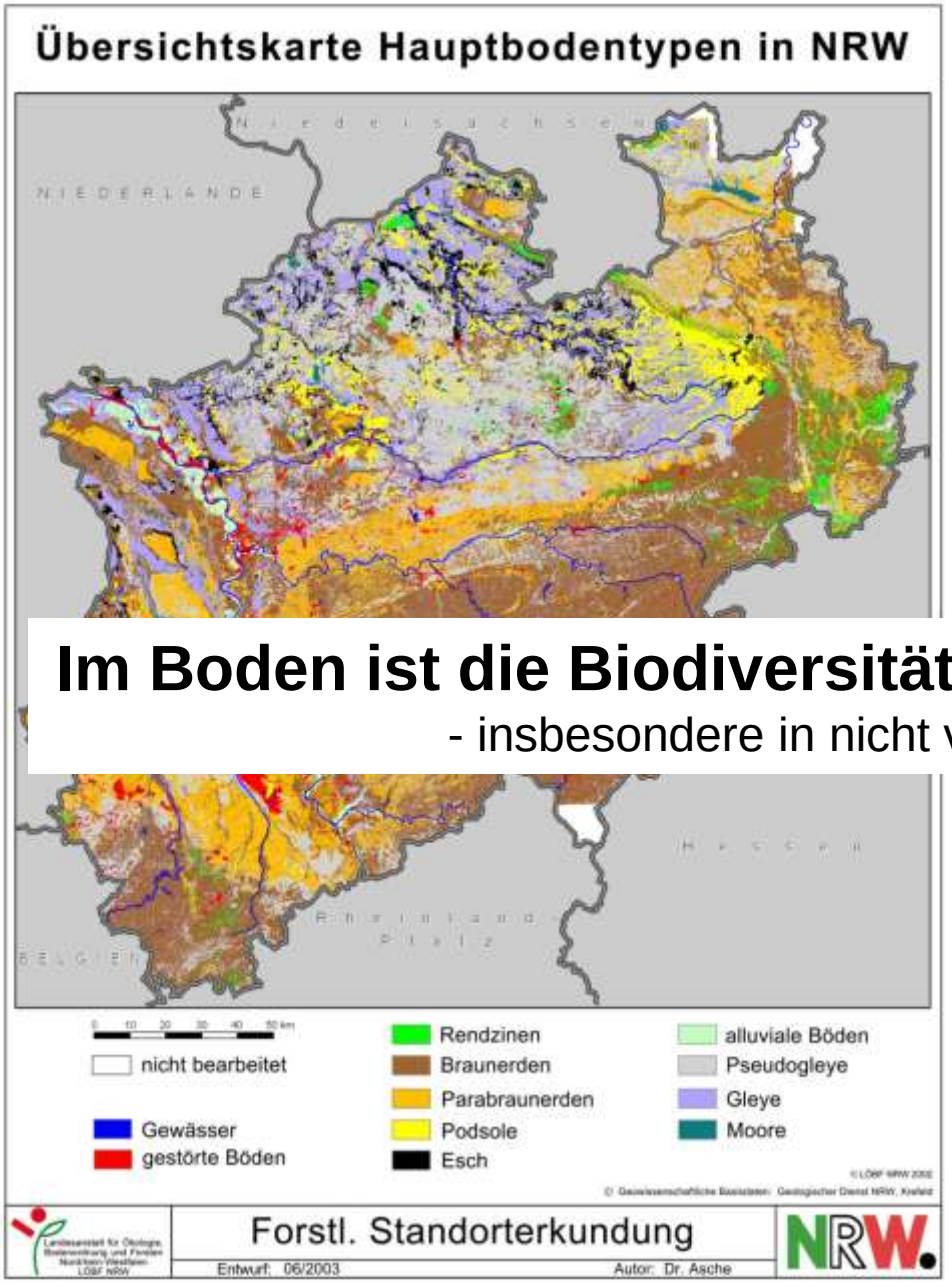
## zentraler Ort
## von Waldökosystemen



| Biomasse (in kg/ha) | | Produktion (Zuwachs in kg/ha a) | |
|---|---|---|---|
| Gesamtbiomasse (oberirdisch) | 274965 | Gesamtzuwachs (oberirdisch) | 10302 |
| Blätter | 3078 | Blätter | 3040 |
| Blüten und Früchte | 360 | Blüten und Früchte | 580 |
| Äste ø < 7cm | 32460 | Äste ø < 7cm | 736 |
| Derbholz ø > 7cm | 238400 | Derbholz ø > 7cm | 5946 (= 10,6 m³) |
| Totholz | 687 | | |
| Wurzeln | 37070 | Wurzeln | 594 |

Biomassen- und Produktionsverhältnisse in einem 121-jährigen Modelbuchenwald im Solling (nach Scior & Eichberg 1986 und Heller & Gottsche 1986).

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




# Boden als Lebensraum

## (versteckte Biodiversität)

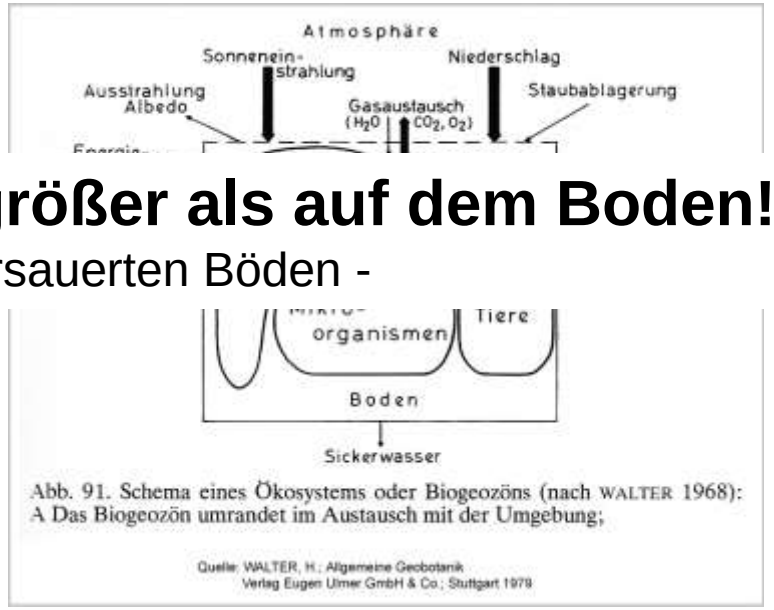


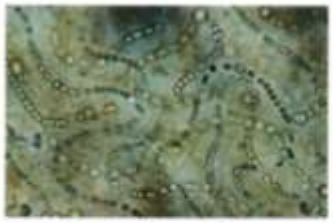

Abb. 91. Schema eines Ökosystems oder Biogeozöns (nach WALTER 1968): A Das Biogeozön umrandet im Austausch mit der Umgebung;

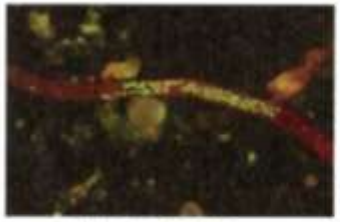
Quelle: WALTER, H.; Allgemeine Geobotanik
Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co.; Stuttgart 1979

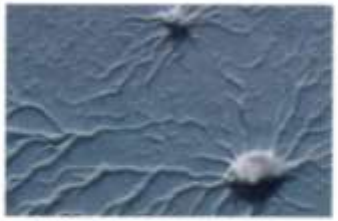
**Im Boden ist die Biodiversität größer als auf dem Boden!**

- insbesondere in nicht versauerten Böden -

## Die wichtigsten Vertreter der Bodenflora und -fauna


Blaualgen (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 *Quadroppia monstrosa*

Bärtierchen *(Tardigrada)*

Fadenwurm *(Nematoda)*

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

Hundertfüssler *(Chilopoda)*

Doppelschwanz *(Diplura)*

*Enchyträe:* 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“

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

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

Vom Blatt zum Mullhumus

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

# 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 Versuchsstelle" die Dimensionen einer Papierholz-Triftanlage am 13. Juni 1958 auf dem Regen bei Fällenreichen in der Gemeinde Thurzenthal im Landkreis Regen/Niederbayern.

Trift und Floßerei waren bis ins 20. Jahrhundert ein ebenso einträgliches wie unverzichtbares Wirtschaftsgut. Seit den 1950er Jahren sind die „Gattl-Floßflotten" – ebenfalls beliebte Tourismus- und Freizeitobjekte. Zu sehen ist hier die Blockentrift im Hauzjbach bei Passau im Jahr 1930.

Bei der Streunutzung wurden abgefallene Blätter, Nadeln, Zweige und Äste zusammengerecht 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

Quelle

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

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

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

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

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

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

# Biomassenutzung verändert den Boden

Die Grundsätze

der

**Agricultur-Chemie**

mit Rücksicht

auf die in England angestellten Untersuchungen.

Von

Justus von Liebig.

Zweite,

durch einen Nachtrag vermehrte Auflage.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1855.

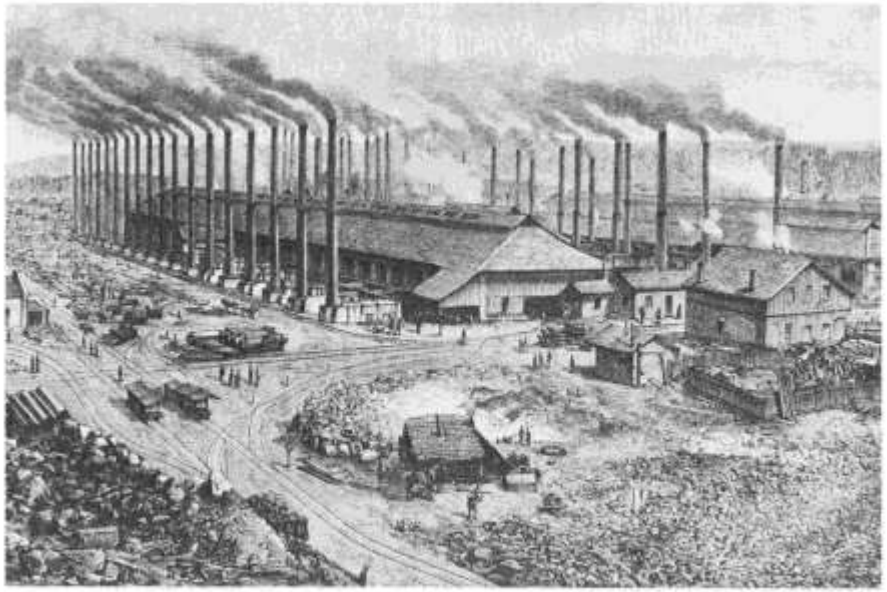
3) In den Producten des Feldes wird in den Ernten die ganze Quantität der Bodenbestandtheile, welche Bestandtheile der Pflanzen geworden sind, hinweggenommen und dem Boden entzogen; vor der Einsaat ist der Boden reicher daran als nach der Ernte; die Zusammensetzung des Bodens ist nach der Ernte geändert.

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

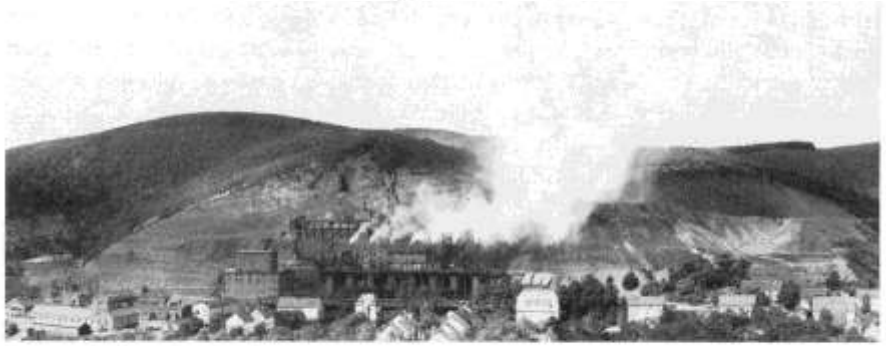


Abb. 1. Absolute Rauchblöße im westdeutschen Bergland bei Einwirkung von Spitzenkonzentrationen bis 15 p.p.m. $SO_2$. Foto: Wentzel.

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)

## Biomassenutzung

**0,1 - 0,3 kmolc/(ha*a)** bzw. 5 -15 kg $CaCO_3$/(ha*a) Stammholznutzung o. R.

**0,2 - 0,5 kmolc/(ha*a)** bzw. 10 -25 kg $CaCO_3$/(ha*a) Stammholznutzung m. R.

## Säureeinträge als Folge der Luftverunreinigungen

**2 - 6 kmolc/(ha*a)** bzw. 100 -300 kg $CaCO_3$/(ha*a) Ende siebziger Jahre

**0,8 - 3 kmolc/(ha*a)** bzw. 40 -150 kg $CaCO_3$/(ha*a) Mitte neunziger Jahre/Heute

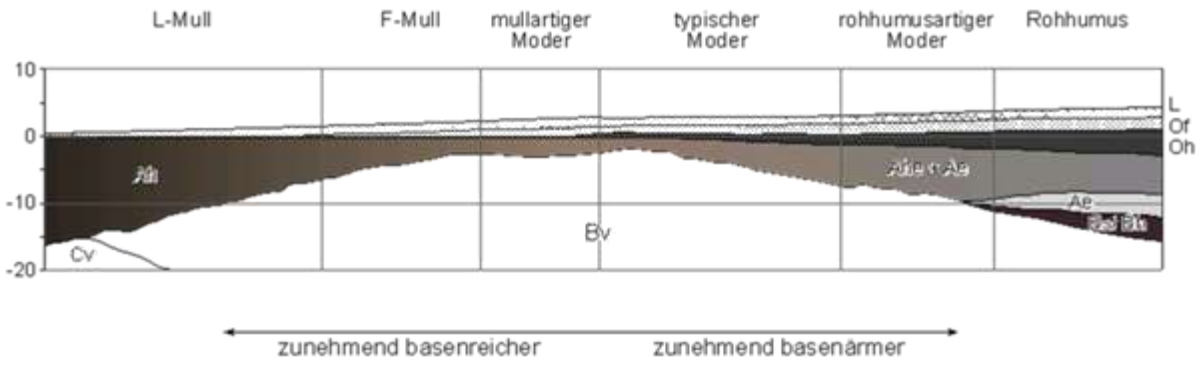
## Säurebelastung durch Stickstoffvorratsabbau

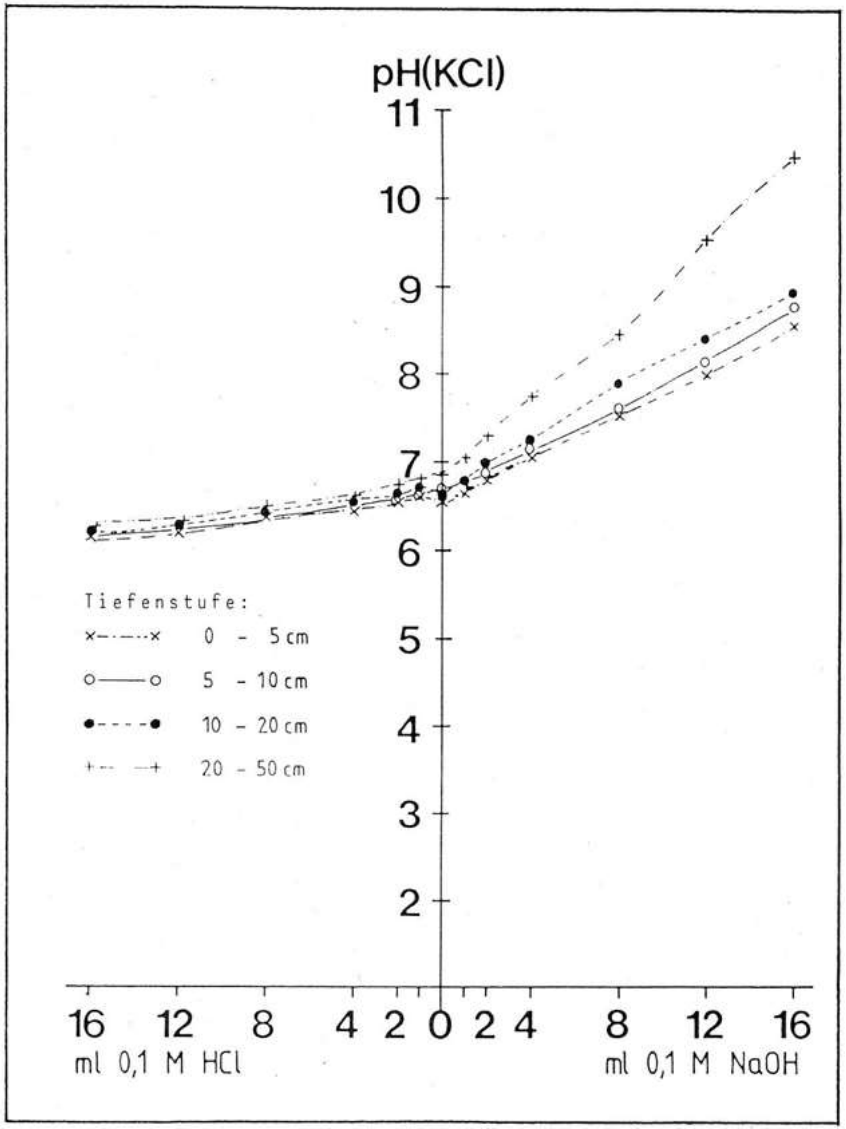
ca. **0 - 10 kmolc/(ha)** bzw. 0 -500 kg $CaCO_3$/(ha) Nitratauswaschung

## Säureneutralisationskapazität Silikatverwitterung

ca. **0,2 - 1 kmolc/(ha*a)** bzw. 10 -50 kg $CaCO_3$/(ha*a)

# Wirkung von Säuren im Boden






# Säurepufferung im Boden

## Beispiel: Carbonat im Feinboden

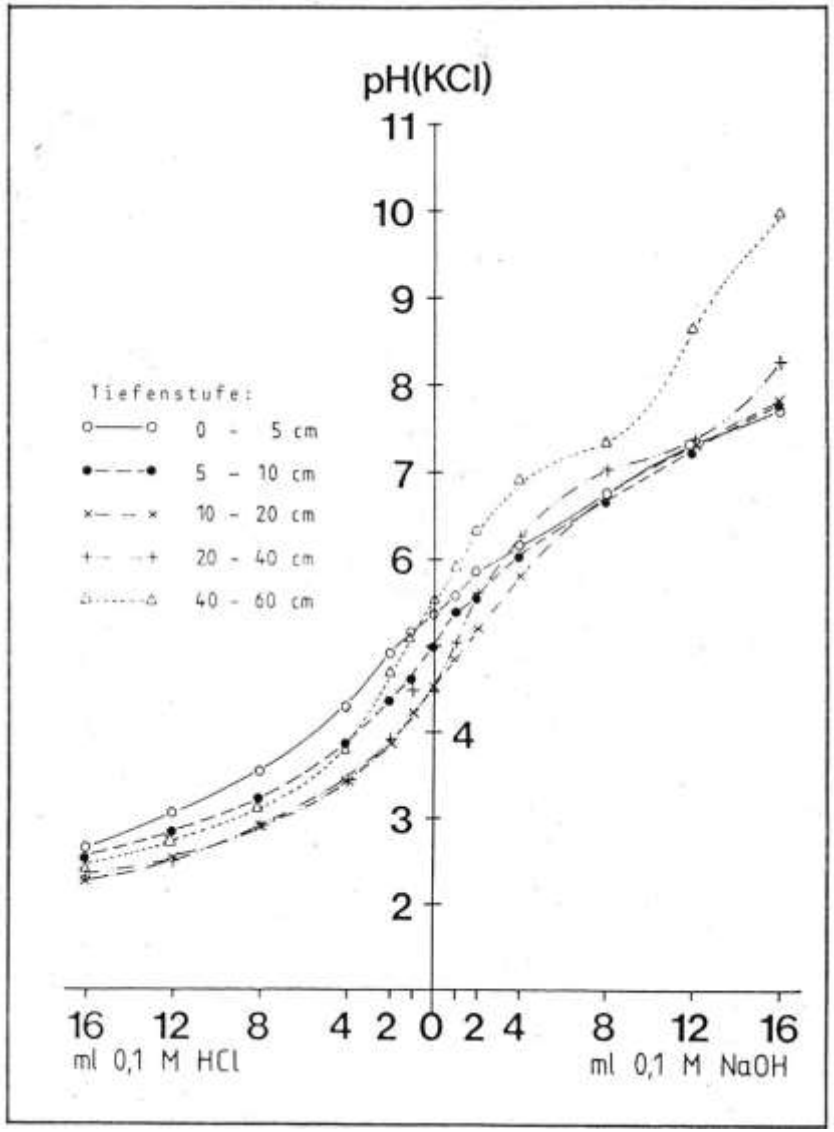
| Horizont | Tiefe cm | Bodenart | pH $CaCl_2$ | C-org. % | $CaCO_3$ % | $KAK_e$ | Ca | Mg | Mn | Al | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mmol IÄ/kg | | | | |
| *Oberbölchen:* Bodentyp Rendzina, Humusform L-Mull | | | | | | | | | | | |
| $A_h$ | 0– 15 | uL | 7,3 | 9,5 | 22,1 | – | 499[1] | 12 | 0,3 | 0 | 0 |
| $A_hC_v$ | 15– 25 | uL | 7,3 | 4,5 | 29,9 | – | 426[1] | 7 | 0,1 | 0 | 0 |
| $C_v$ | 25– 95 | utL | 7,5 | 1,2 | 33,0 | – | 389[1] | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| *Prattebi:* Bodentyp Braunerde-Parabraunerde, Humusform L-Mull | | | | | | | | | | | |
| $A_h$ | 0– 10 | uL | 6,5 | 5,7 | 0 | 255 | 226 | 17 | 2,0 | 0 | 0 |
| $A_{(h)}$ | 10– 20 | uL | 5,0 | 3,6 | 0 | 187 | 163 | 14 | 3,7 | 0 | 0 |
| $B_vA_l$ | 20– 40 | uL | 5,1 | 1,6 | 0 | 188 | 171 | 10 | 1,4 | 0 | 0 |
| $B_vB_l$ | 40– 90 | utL | 6,0 | 1,0 | 0 | 216 | 205 | 7 | 0,3 | 0 | 0 |
| *Biel-Benken:* Bodentyp Braunerde-Parabraunerde, Humusform L/F-Mull bis mullartiger Moder | | | | | | | | | | | |
| $A_h$ | 0– 10 | U | 3,9 | 3,1 | 0 | 69 | 28 | 5 | 5,4 | 27 | 0,3 |
| $A_l$ | 10– 35 | U | 3,8 | 0,9 | 0 | 55 | 9 | 4 | 1,4 | 39 | 0 |
| $B_vB_l$ | 35–110 | utL | 4,2 | 0,5 | 0 | 82 | 36 | 17 | 1,1 | 26 | 0 |

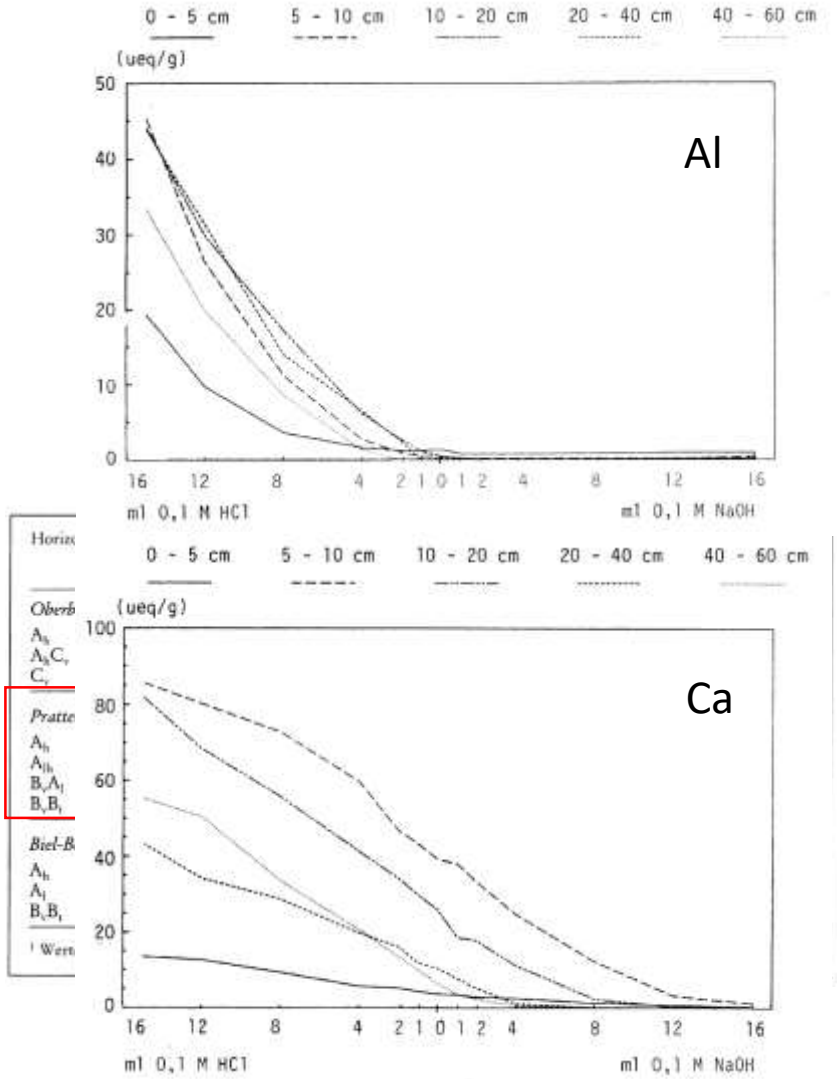
[1] Werte für austauschbares Ca überhöht, da bei Extraktion mit $NH_4Cl$ $CaCO_3$ teilweise gelöst wird

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%

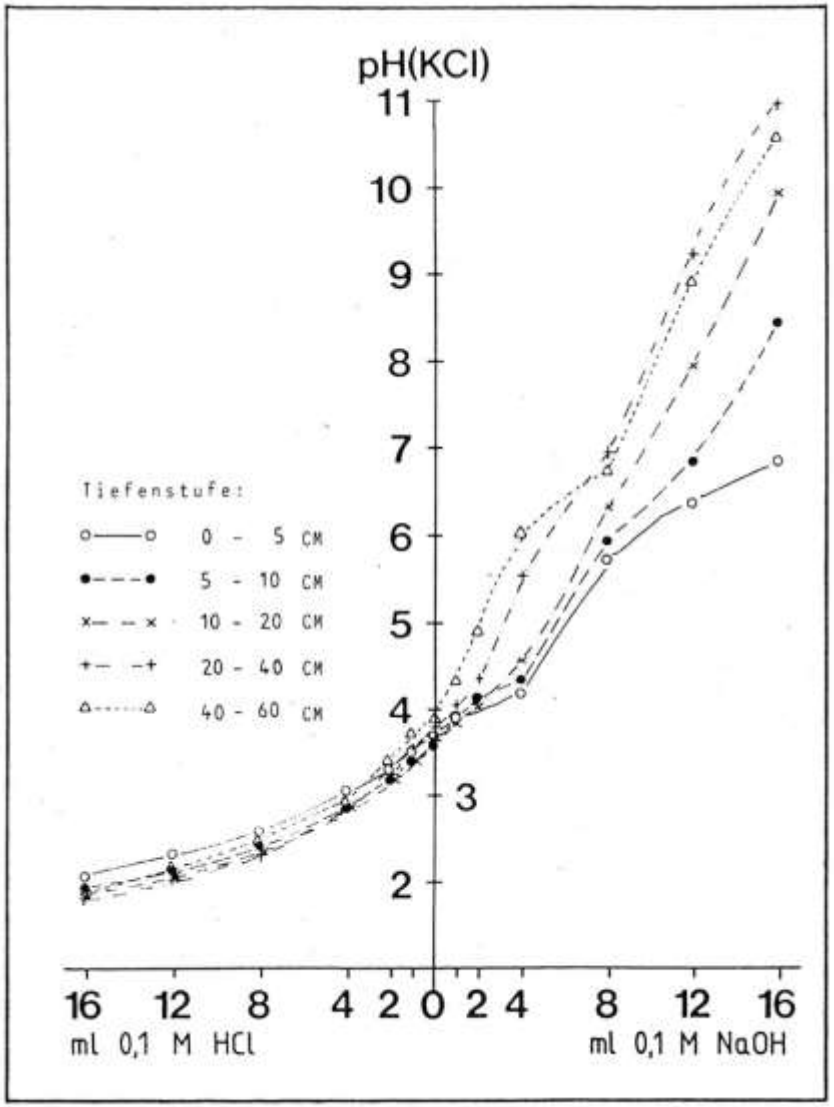



Quelle: ASCHE, N., FLÜCKIGER, W., 1988: Säurepufferung im Boden und ihre Bedeutung für die Stabilität von Waldökosystemen in der NW-Schweiz. Forstw. Cbl. 107, 219-229

# 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. % | $CaCO_3$ % | $KAK_e$ | Ca | Mg | Mn | Al | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mmol IÄ/kg | | | | |
| *Oberbölchen:* Bodentyp Rendzina, Humusform L-Mull | | | | | | | | | | | |
| $A_h$ | 0– 15 | uL | 7,3 | 9,5 | 22,1 | – | 499[1] | 12 | 0,3 | 0 | 0 |
| $A_hC_r$ | 15– 25 | uL | 7,3 | 4,5 | 29,9 | – | 426[1] | 7 | 0,1 | 0 | 0 |
| $C_r$ | 25– 95 | utL | 7,5 | 1,2 | 33,0 | – | 389[1] | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| *Prattebu:* Bodentyp Braunerde-Parabraunerde, Humusform L-Mull | | | | | | | | | | | |
| $A_h$ | 0– 10 | uL | 6,5 | 5,7 | 0 | 255 | 226 | 17 | 2,0 | 0 | 0 |
| $A_{lh}$ | 10– 20 | uL | 5,0 | 3,6 | 0 | 187 | 163 | 14 | 3,7 | 0 | 0 |
| $B_vA_l$ | 20– 40 | uL | 5,1 | 1,6 | 0 | 188 | 171 | 10 | 1,4 | 0 | 0 |
| $B_vB_t$ | 40– 90 | utL | 6,0 | 1,0 | 0 | 216 | 205 | 7 | 0,3 | 0 | 0 |
| *Biel-Benken:* Bodentyp Braunerde-Parabraunerde, Humusform L/F-Mull bis mullartiger Moder | | | | | | | | | | | |
| $A_h$ | 0– 10 | U | 3,9 | 3,1 | 0 | 69 | 28 | 5 | 5,4 | 27 | 0,3 |
| $A_l$ | 10– 35 | U | 3,8 | 0,9 | 0 | 55 | 9 | 4 | 1,4 | 39 | 0 |
| $B_vB_t$ | 35–110 | utL | 4,2 | 0,5 | 0 | 82 | 36 | 17 | 1,1 | 26 | 0 |

[1] Werte für austauschbares Ca überhöht, da bei Extraktion mit $NH_4Cl$ $CaCO_3$ teilweise gelöst wird

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

| | Biel-Benken | | | | Pratteln | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiefe cm | TRD[1] g/cm³ | pH(KCl) | BNK bis pH 5,5 mmol IÄ/kg | Kalkmenge t $CaCO_3$/ha | TRD[1] g/cm³ | 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 |

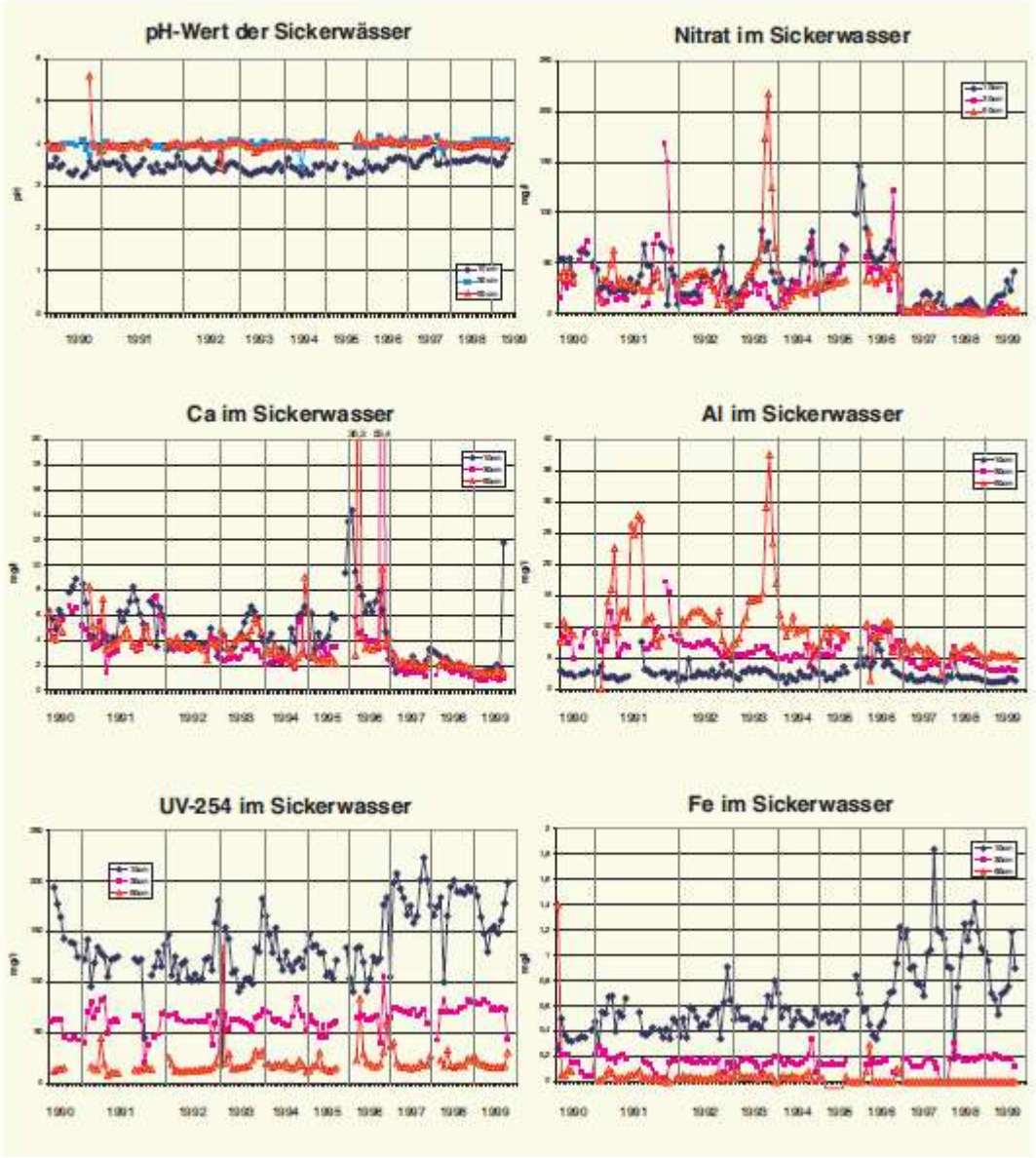
[1] Trockenraumdichte, geschätzt nach: Forstliche Standortaufnahme, 1980

# Boden und Pufferbereiche

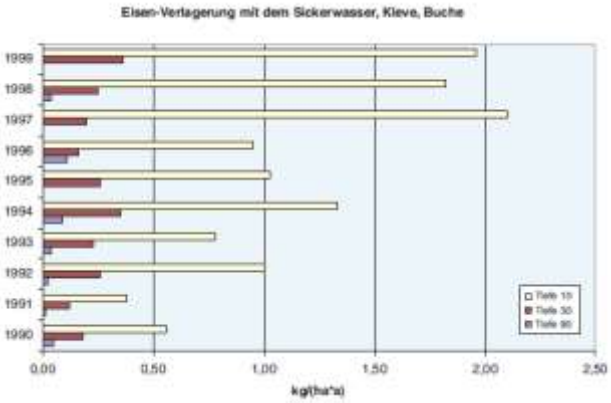
**Tab. 64:** Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand (Gleichgewichtsmodell, Puffersubstanzen, Pufferreaktionen, Pufferraten, bodenchemische Veränderungen, Pufferbereiche mit dem Haupt-pH-Bereich, Ansprachemerkmale; $M_b$ = Ca-, Mg-, K-Kationen; GbL = Gleichgewichtsbodenlösung; nach ULRICH 1981, 1983, SCHWERTMANN et al. 1987).

| $pH_{GbL}$ | 8,6 | 6,2 | 5,0 | 4,2 | 3,8 | 3,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pufferbereich | Carbonat | Silikat | Austauscher | Aluminium | Al / Fe | Eisen |
| wichtige Puffer-substanzen | > Carbonat < | | | > n ($Al(OH_x^{(3-x)+})$ → | | |
| | > Hydrogencarbonat | | < | > Al-Hydroxosulfate → | | |
| | | < Huminstoffe → | | | > Goethit, Hämatit → | |
| | | > prim. Silikate - - -

# Wirkung von Säuren im Boden
# Versuchsfläche Kleve
## Podsolbildung unter Rotbuche




Rohhumus bis Moder über Podsol-Braunerde unter Rotbuche

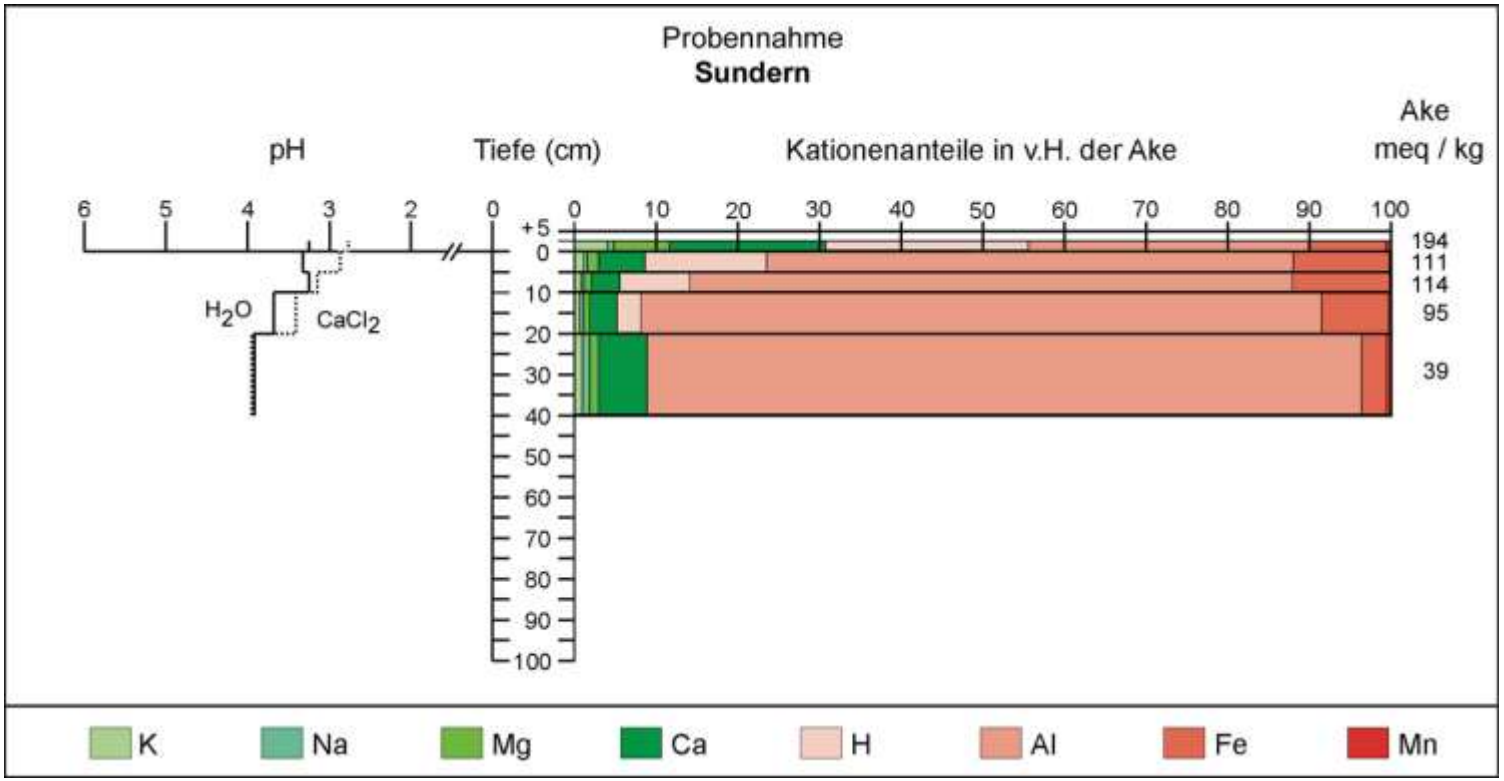


# Wirkung von Säuren im Boden Versuchsfläche Sundern

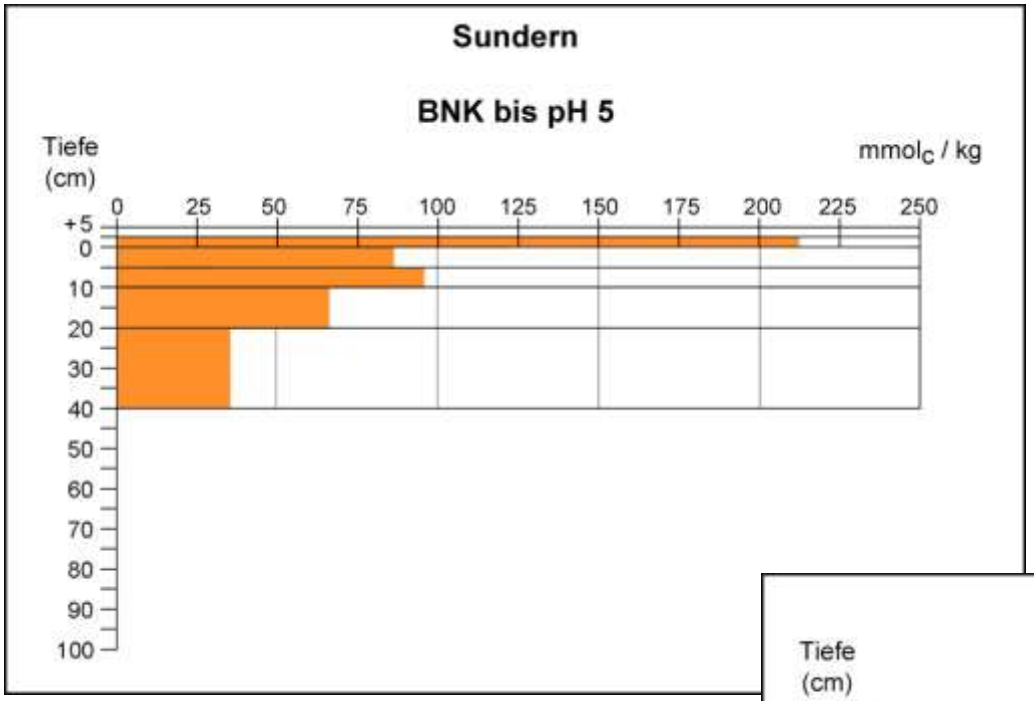
Störung der natürlichen Verjüngung von Fichtenbeständen

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

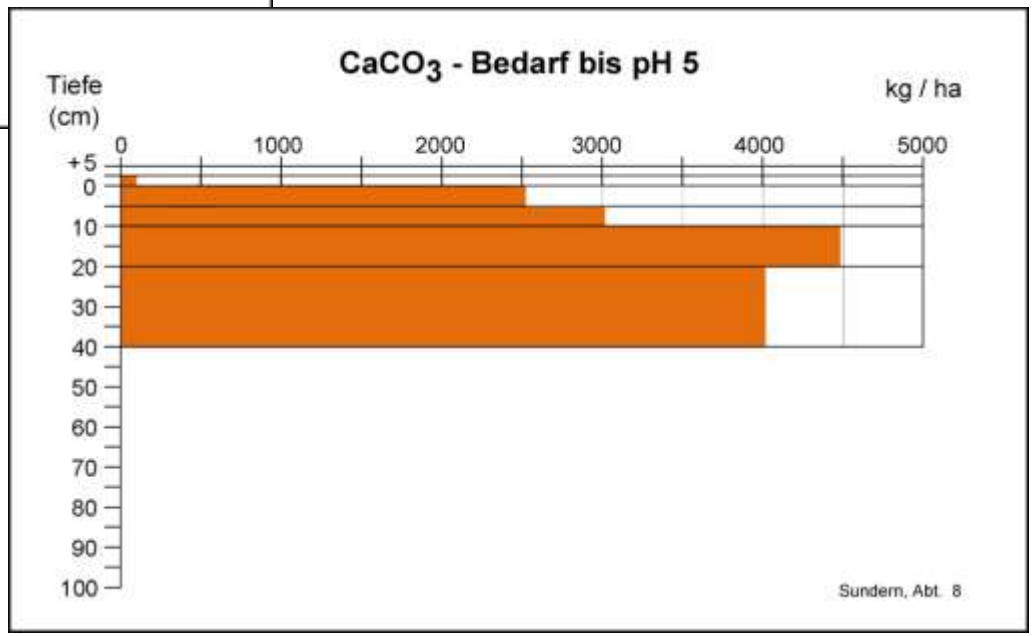
# Chemische Kennwerte (arth. Mittel, N=5)




Quelle: ASCHE, N., DREESKORNFELD, H., BERGEN, P., 2014: Wuchsstockungen 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

# 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 Schmallenberg wurden Ende 19. Jahrhundert Kalkungen durchgeführt.

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

1942 wurde vom Reichsforstamt die allgemeine Zweckmäßigkeit der Forstkalkung festgestellt.

# Ziele der Bodenschutzkalkung

- 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 (insbesonder 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?



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. 86jähriger Buchenbestand wurde 1958 mit 9 t Kalkmergel/ha behandelt. Diese Fläche fällt durch einen markanten Wechsel bodenvegetationsfreier 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 585 bis 690 m ü. NN (montane Höhenstufe) im Wuchsgebiet Sauerland, Wuchsbezirk Rothaargebirge. Die Jahresmitteltemperatur beträgt ca. 6 °C und die Niederschläge erreichen im Jahresmittel ca. 1.300 mm. Der geologische Untergrund wird durch Tonschiefer der Fredeburger Schichten des Mitteldevon gebildet. Aus diesen Gesteinen haben sich basenarme Braunerden mit Moderhumus entwickelt. Die natürliche Vegetation ist der Hainsimsen-Buchenwald.

### Bodenvegetation

Auf der Versuchsfläche wurden 10 krautige Pflanzen (*Galium odoratum*, Waldmeister; *Dentaria bulbifera*, Zwiebelzahnwurz; *Gymnocarpium dryopteris*, Eichenfarn; *Senecio fuchsii*, Fuchskreuzkraut; *Luzula luzuloides*, Weiße Hainsimse; *Dryopteris carthusiana*, Karthäuser-Wurmfarn; *Avenella flexuosa*, Drahtschmiele; *Impatiens noli-tangere*, Springkraut; *Vaccinium myrtillus*, Heidelbeere; *Milium effusum*, Flattergras und das Moos *Polytrichum commune* Frauenhaarmoos) angetroffen (Abb 1). Von diesen Pflanzen traten *Galium odoratum, Dentaria bulbifera* und *Gymnocarpium dryopteris* auf Teilflächen mit hohen Deckungsgraden auf. Die weiteren erfaßten Pflanzen wiesen geringe Deckungsgrade auf bzw. kamen z.T. nur vereinzelt auf diesen Flächen vor.

*Dr. N. Asche ist Dozent in der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung, Nordrhein-Westfalen (LÖBF/LAWO), Recklinghausen und dort zuständig für Fragen der Waldernährung/Standortkunde.*

*U. Halverscheid hat die Rasterkartierung in Winterberg im Rahmen einer Diplomarbeit (Forst) Fak. z. Univ. Göttingen 1994 durchgeführt.*

1/ Abt. 132 Forstamt Winterberg, ab 1992 Privatbesitz

### Humusform

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

**F-Mull:** Horizontfolge OL - OF - Ah. Die organische Auflage ist geringmächtig und der Ah-Horizont reicht bis zu 10 cm Tiefe (im Mittel 5 bis 7 cm) mit einem unscharfen Übergang zum Bv-Gefüge: 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. fimarig und nicht flächig ausgebildet ist. Der Ah-Horizont ist 2 bis 8 cm mächtig mit einem deutlichen Übergang (3 bis 10 mm) zum Bv. Gefüge fein subpolyedrisch, schwach kohärent.

**Moder, feinhumusarm:** Horizontfolge OL - OF - OH - Ah/h. Die F-Lage mißt 1 bis 2 cm, ist stark vermatzt, die H-Lage ist flächig ausgebildet, bis 1.5 cm mächtig, bröckelig und stark durchwurzelt. Die Übergänge zwischen den Horizonten sind unscharf. Der Ah/h ist 2 bis 4 cm mächtig, schwach violettdichig mit einem z.T. scharfen Übergang zum Bv. Gefüge: Subpolyeder, schwach kohärent.

**Moder, feinhumusreich:** Horizontfolge OL - OF - OH - Aeh. Die F-Lage ist 2 bis 4 cm mächtig, vermatzt und z.T. verfilzt. Die H-Lage ist bis zu 5 cm stark (im Mittel 2 bis 3 cm), nicht scharfkantig brechbar, durchwurzelt, die Lagerungsart ist schichtig. Die Übergänge zwischen den Horizonten sind unscharf. Der Aeh ist 2 bis 3 cm mächtig, violettdichig mit einem z.T. scharfen Übergang zum Bv. Gefüge: Subpolyeder, schwach kohärent.

**Moder, rohhumusartig:** Horizontfolge OL - OF - OH - Aeh. Die F-Lage mißt 2 bis 4 cm und ist schichtig bzw. openig ausgebildet. Die H-Lage ist 3 bis 6 cm (im Mittel 5 cm) mächtig, kompakt, l.d.R. unscharf brechbar, schwach durchwurzelt, wobei allerdings zahlreiche Grobwurzeln (> 2 mm) auftreten. Die Übergänge zwischen den Horizonten sind scharf (< 3 mm). Die H-Lage ist gut vom Mineralbodenhorizont Aeh zu trennen. Dieser ist 1 bis 2 cm mächtig, violettdichig, schwach gebleicht mit scharfem Übergang zum Bv. Gefüge (Sub)-Polyeder, kohärent.

### pH($H_2O$)-Werte

In den Abb. 3 und 4 sind die gemessenen pH-Werte in den jeweiligen Rasterflächen und Tiefenstufen verzeichnet. Die farbliche 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 zugewiesen 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 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 $KAK_e$ von 140 bis 150 $mmol_c$/kg Oberboden und 50 bis 60 $mmol_c$/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 18 v. H. (Profil 3) bzw. 40 % (Profil 1) und in 25 bis 40 cm Tiefe

**Methode**

Von der 4 ha großen Bestandesfläche wurde 1994 eine 1 ha große repräsentative Teilfläche ausgewählt, mit einem 10 x 10 m Raster überzogen, vermarkt und kartiert. Die **Bodenvegetation** wurde auf den Rasterteilflächen nach Braun-Blanquet [2] aufgenommen. Für die Bestimmung der **Humusformen und pH-Werte** wurde im Mittelpunkt der Rasterteilflächen 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 $H_2O$ und $CaCl_2$ mit einer Einstabglaselektrode in der Bodensuspension gemessen.

Für 4 ausgewählte Punkte, die sich in der Humusform und der Bodenvegetation deutlich unterschieden, wurde die effektive **Kationenaustauschkapazität** ($KAK_e$) und die Belegung der Austauscher bestimmt (Perkolation mit 1 N $NH_4Cl$; [8]).



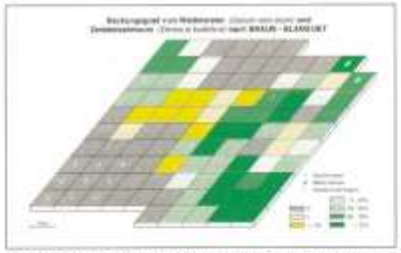


Abb. 1: Deckungsgrad von Waldmeister (Galium odoratum) und Zwiebelzahnwurz (Dentaria bulbifera) nach Braun-Blanquet

Abb. 3: pH-Wert ($H_2O$) in 10 cm Tiefe

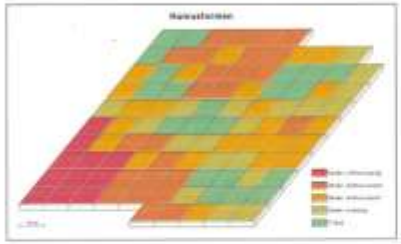


Abb. 2: Humusformen

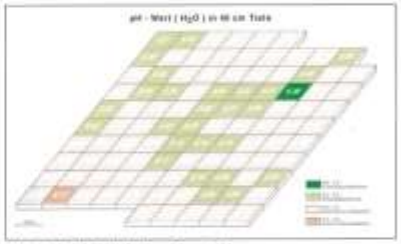


Abb. 4: pH-Wert ($H_2O$) in 40 cm Tiefe

Abb. 4: Bodenprofil mit der Humusform F-Mull

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

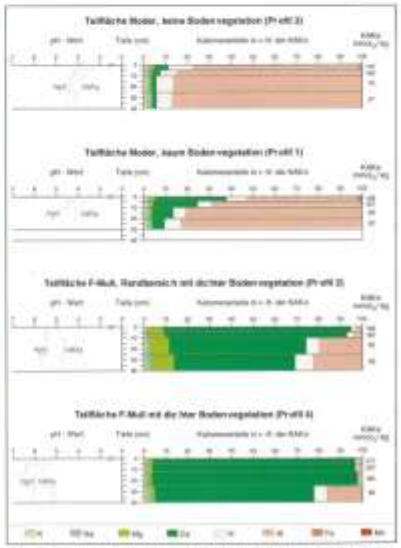
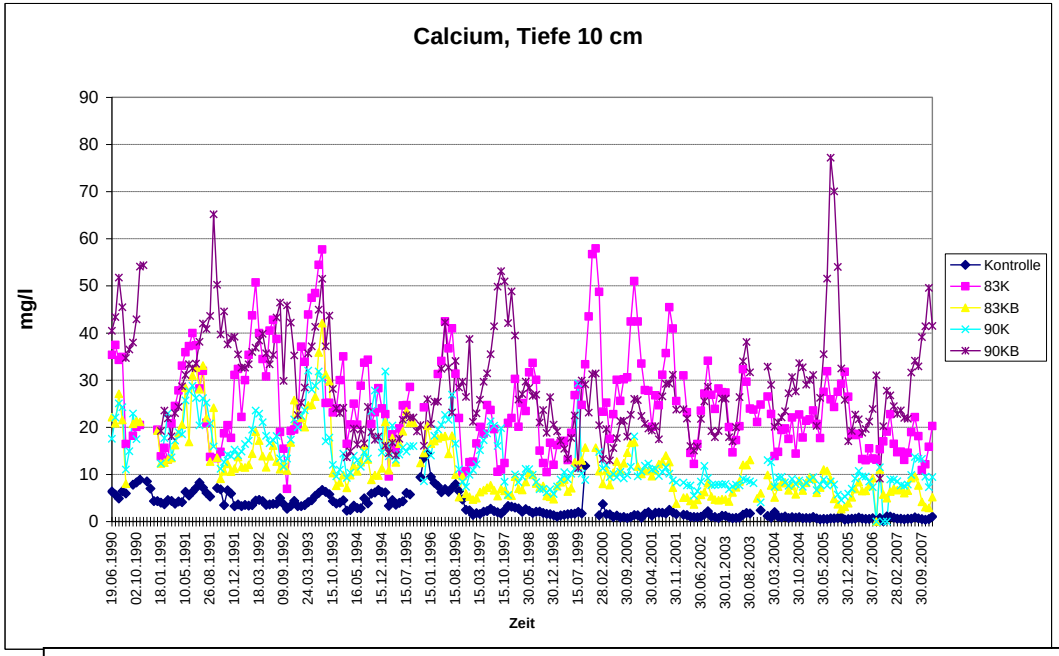
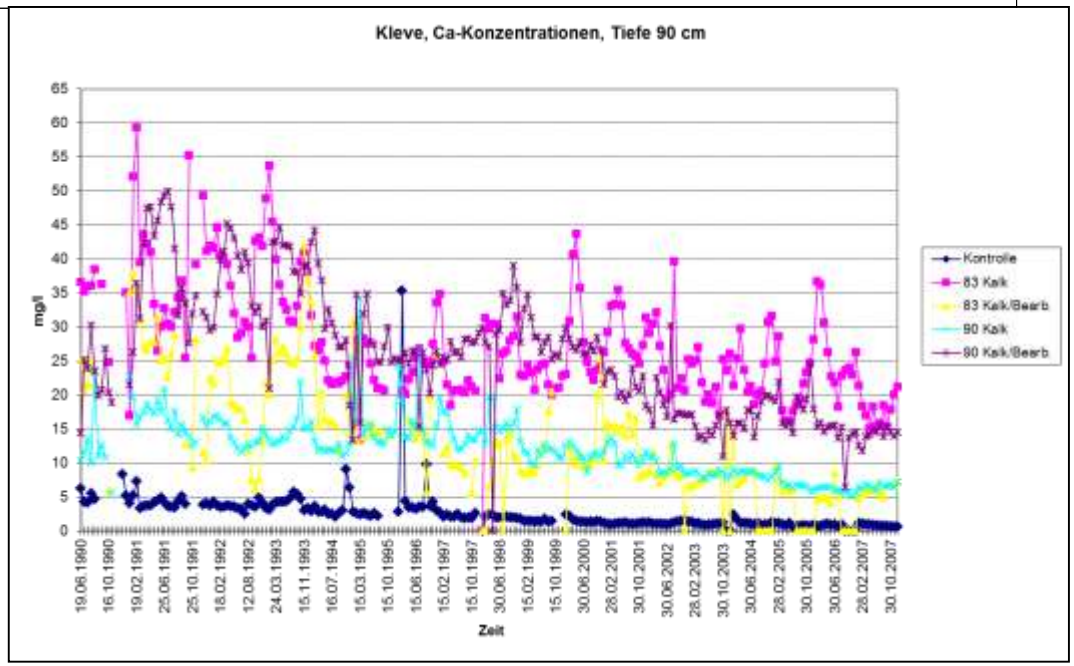


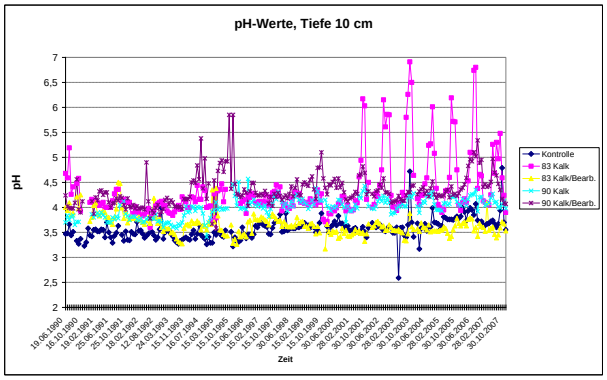
Abb. 5: Bodenchemische Kenndaten auf der Versuchsfläche in Winterberg 1992 (Grafik: Fuhrmann)



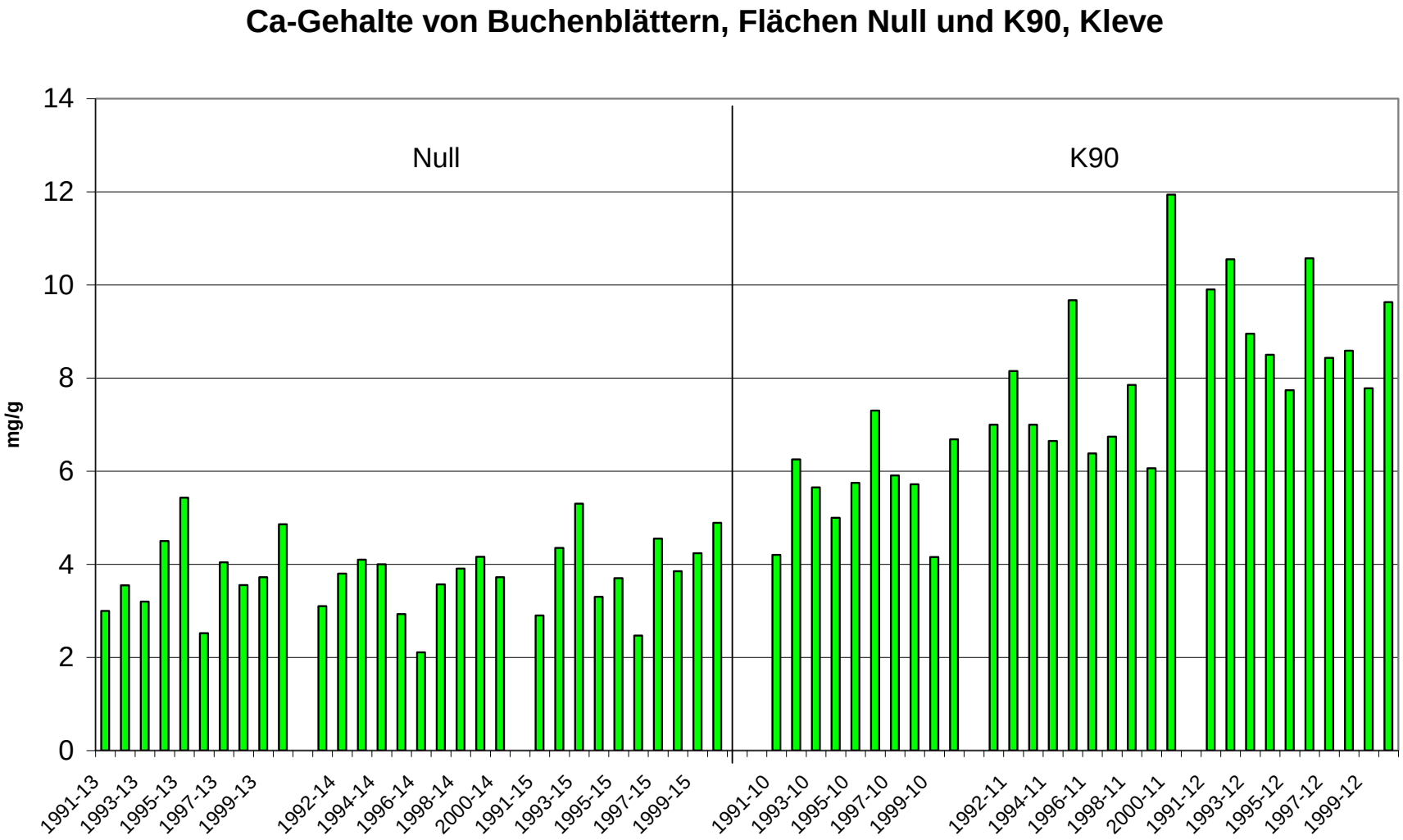




# Bodenschutzkalkung und Sickerwasser

Beispiel:
Kalkversuchsfläche
Kleve

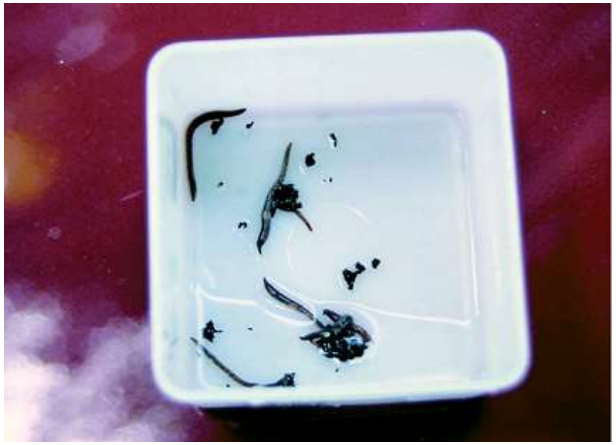


# Bodenschutzkalkung und Buchenblätter (Kleve)




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

| | | | | | Life form of earth worms** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **plot** | **treatment** | | pH($H_2O$)* | base saturation | **epigeic** | | **anezic** | | **endogeic** | |
| | (year) | | | in % of CECe | spring | autumn | spring | autumn | spring | autumn |
| | | | | depth: 0 - 5 cm | | | | | | |

**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** | **x** | 4,64 | 11,0 | **51,3** | **22,7** | **0** | **0** | **60,7** | **93,3** |
| | (1983, 1990) | min | 4,09 | 7 | 32 | 12 | | | 0 | 0 |
| | | max | 4,93 | 13,7 | 84 | 40 | | | 260 | 332 |
| | **6 t ash** | **x** | 4,56 | 12,8 | **83,3** | **76** | **0** | **0** | **3,3** | **6** |
| | (1994) | min | 4,02 | 8,84 | 52 | 20 | | | 0 | 0 |
| | | max | 5,14 | 13,5 | 124 | 104 | | | 8 | 32 |
| **Bad Driburg** | **Beech** | **x** | 6,52 | 99,0 | **10,4** | **0,4** | **14,8** | **14,4** | **60,4** | **16,8** |
| | **forest on** | min | 5,08 | 97,5 | 0 | 0 | 4 | 8 | 16 | 0 |
| | **limestone** | 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** | **x** | 4,64 | 11,0 | **9,03** | **3,9** | **0** | **0** | **7,23** | **18,04** |
| | (1983, 1990) | 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** | **x** | 4,56 | 12,8 | **20,38** | **15,02** | **0** | **0** | **2,91** | **0,79** |
| | (1994) | 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** | **x** | 6,52 | 99,0 | **4,66** | **0,31** | **59,28** | **34** | **21,09** | **7,15** |
| | **forest on** | min | 5,08 | 97,5 | 0 | 0 | 24,32 | 2,2 | 6,28 | 0 |
| | **limestone** | 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)

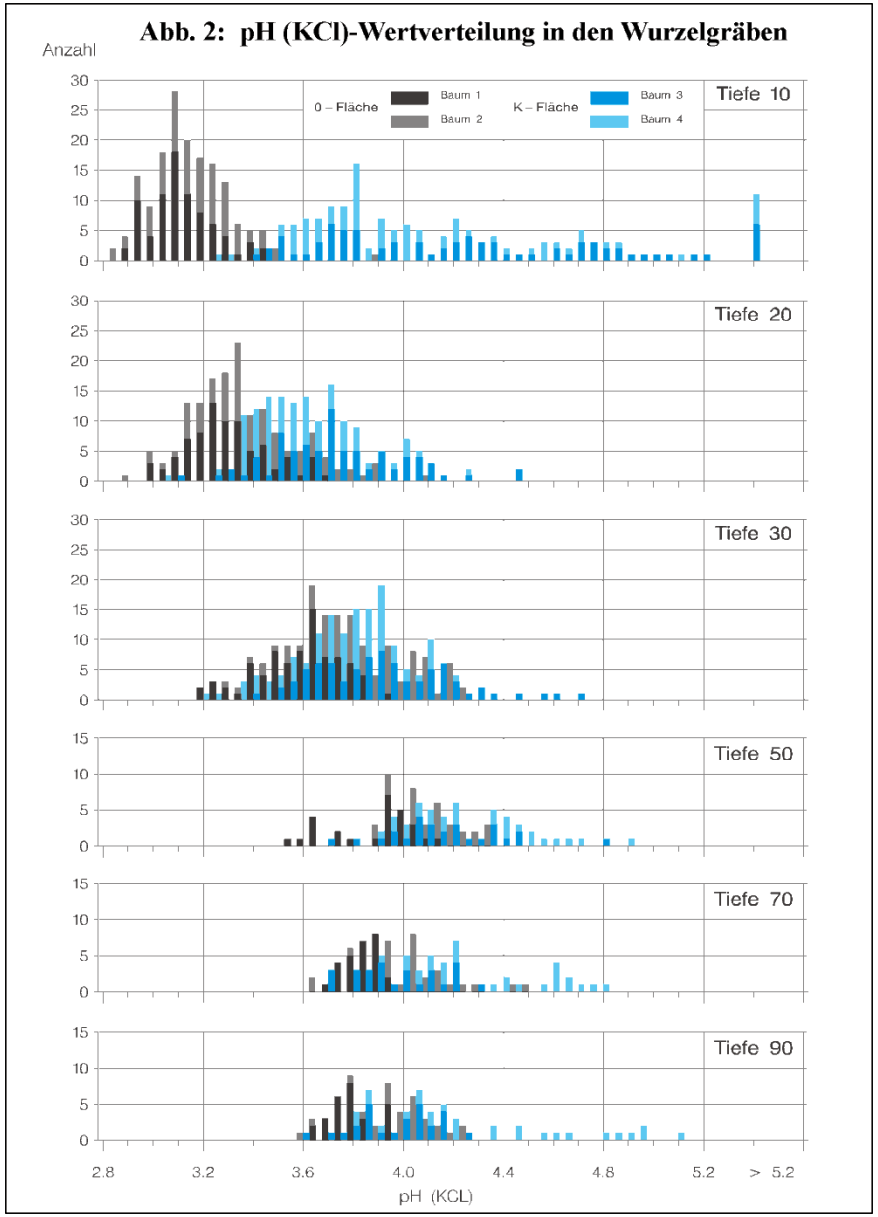
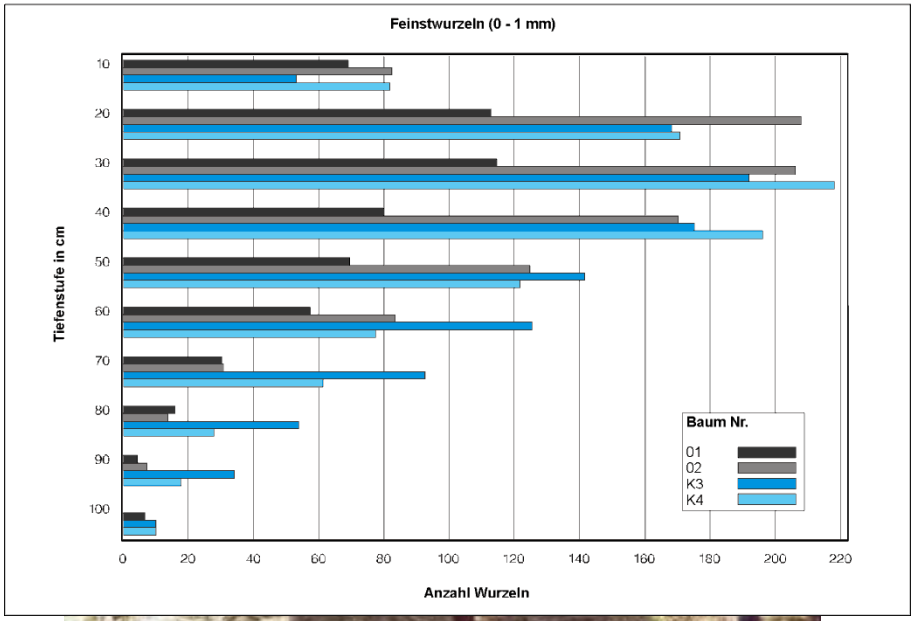
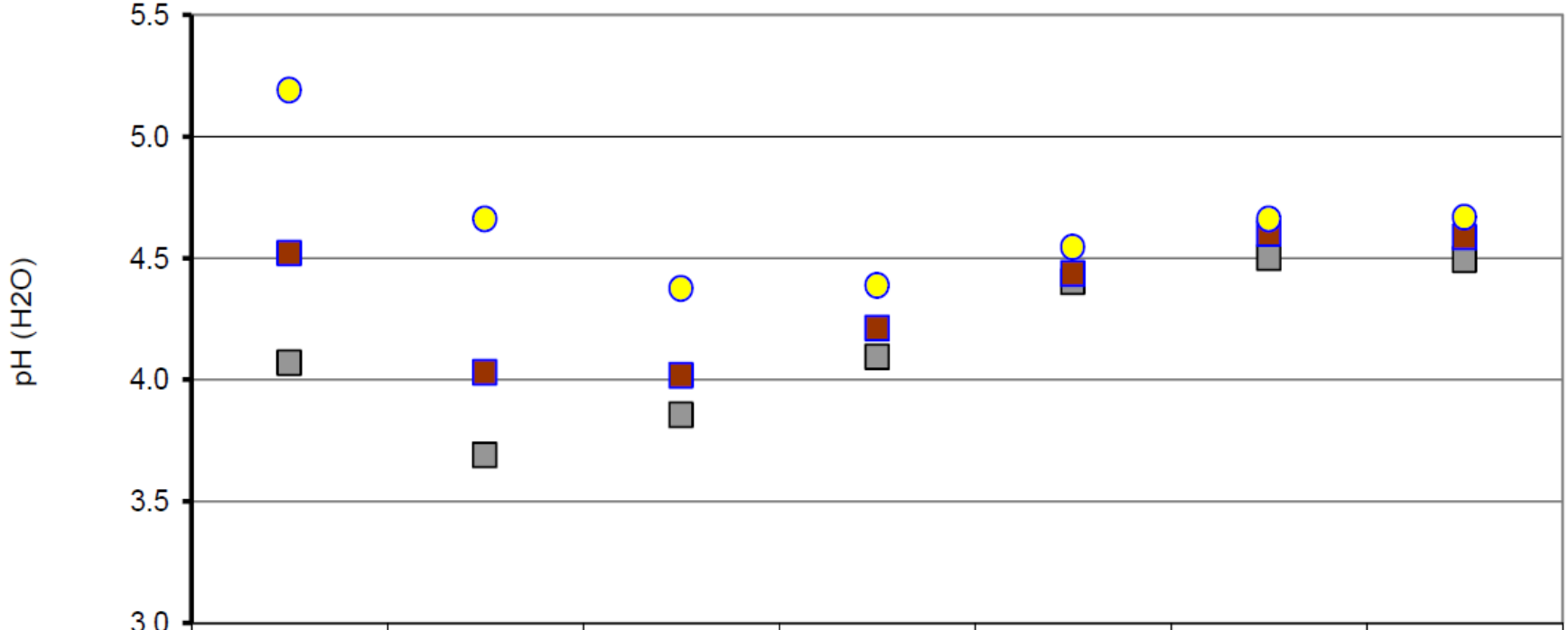


Abb. 5: Feinwurzelverteilung bezogen auf 1m Grabenlänge




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

pH- Werte
im Schiefergebirgslehm [n=48]




| | Humuslagen ohne Oh | Oh- Lagen | 0-5cm | 5-10cm | 10-30cm | 30-60cm | 60-90cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BZE I | 4.07 | 3.69 | 3.86 | 4.09 | 4.40 | 4.50 | 4.49 |
| BZE II | 4.52 | 4.03 | 4.02 | 4.21 | 4.43 | 4.60 | 4.59 |
| BZE II / gekalkt | 5.19 | 4.66 | 4.37 | 4.39 | 4.55 | 4.66 | 4.67 |

BZE I  BZE II  BZE II / gekalkt

## 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 Biomassenutzungen an die nachschaffende Kraft der Waldböden anzupassen.

# Biomasse-(Holz-)nutzung

# und Mineralstoffentzüge

# Biomassevorräte und Mineralstoffmengen für ausgewählte Baumarten in kg/ha

**Tab. 128:** Nährelement-Vorratstafeln für Eiche, Buche, Fichte, Douglasie und Kiefer, jeweils höchstes / niedrigstes Wertespektrum der untersuchten Substrate (Block et al. 2016)

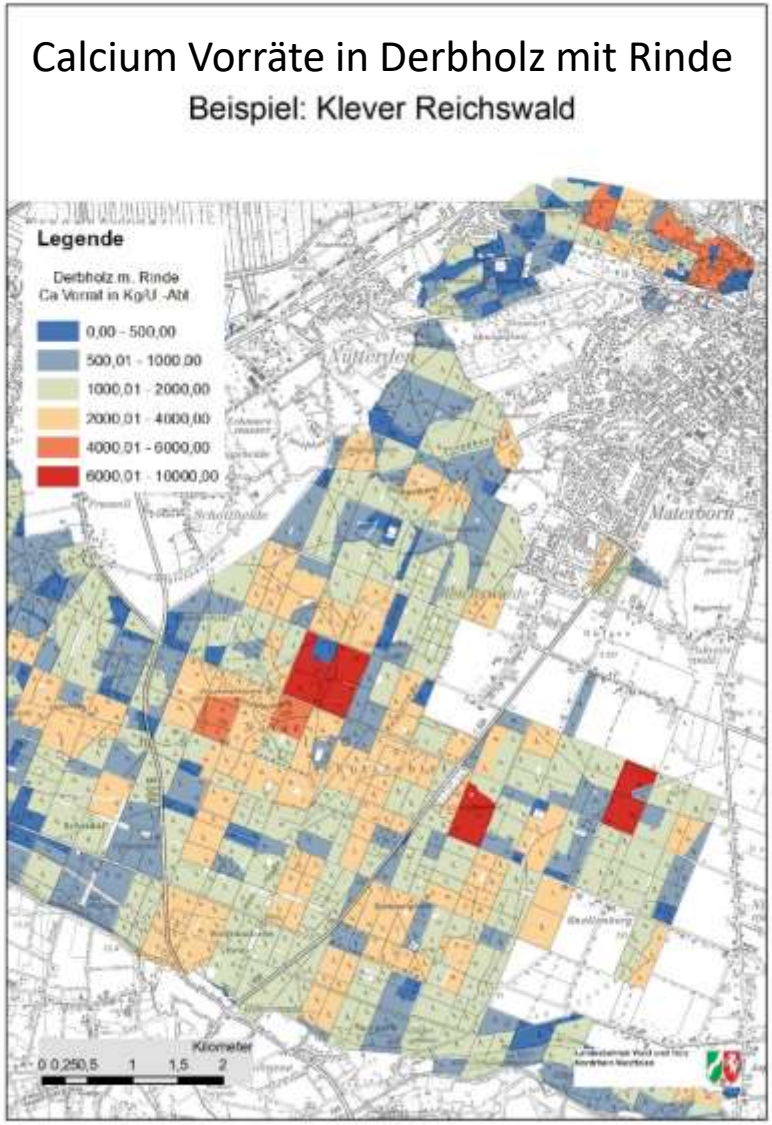
| Alter | Krs Fl | Vor-rat | Biomasse [t/ha] | | | | | Stickstoff [kg/ha] | | | | | Phosphor [kg/ha] | | | | | Kalium [kg/ha] | | | | | Kalzium [kg/ha] | | | | | Magnesium [kg/ha] | | | | | Schwefel [kg/ha] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m² | vfm | DH | NDH | DR | Nd | Sa. | DH | NDH | DR | Nd | Sa. | DH | NDH | DR | Nd | Sa. | DH | NDH | DR | Nd | Sa. | DH | NDH | DR | Nd | Sa. | DH | NDH | DR | Nd | Sa. | DH | NDH | DR | Nd | Sa. |
| **Douglasie <> I Ekl. oder Höhenrahmen <> Substratgruppe Buntsandsteine <> unteres Wertespektrum** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 36,6 | 252 | 94 | 20 | 11 | 10 | 135 | 40 | 59 | 35 | 186 | 319 | 3,8 | 6,8 | 3,3 | 9,3 | 23,2 | 28 | 43 | 30 | 69 | 170 | 27 | 51 | 26 | 55 | 159 | 5,3 | 8,9 | 3,5 | 10,3 | 27,9 | 6,3 | 8,9 | 5,0 | 12,7 | 32,8 |
| 50 | 51,3 | 689 | 245 | 22 | 31 | 11 | 308 | 101 | 66 | 94 | 186 | 447 | 8,6 | 6,9 | 8,8 | 8,3 | 32,6 | 58 | 41 | 63 | 62 | 224 | 83 | 55 | 69 | 58 | 245 | 10,0 | 8,1 | 8,1 | 10,8 | 37,0 | 15,5 | 9,2 | 13,5 | 13,3 | 51,6 |
| 75 | 57,8 | 967 | 360 | 26 | 44 | 11 | 442 | 147 | 80 | 135 | 190 | 553 | 12,1 | 7,5 | 12,7 | 7,5 | 39,8 | 78 | 43 | 70 | 56 | 248 | 88 | 64 | 99 | 63 | 314 | 11,9 | 8,2 | 9,9 | 11,6 | 41,7 | 22,4 | 10,6 | 19,4 | 14,3 | 66,7 |
| 100 | 61,6 | 1124 | 439 | 31 | 53 | 12 | 535 | 178 | 95 | 161 | 195 | 629 | 14,4 | 8,1 | 15,1 | 6,8 | 44,4 | 91 | 45 | 62 | 51 | 249 | 105 | 75 | 118 | 67 | 366 | 12,4 | 8,3 | 10,0 | 12,4 | 43,1 | 27,0 | 12,1 | 23,1 | 15,3 | 77,6 |
| 120 | 62,6 | 1179 | 478 | 34 | 56 | 12 | 581 | 194 | 103 | 171 | 194 | 662 | 15,5 | 8,1 | 16,1 | 6,1 | 46,0 | 97 | 45 | 50 | 46 | 238 | 114 | 81 | 126 | 69 | 390 | 12,0 | 8,1 | 9,3 | 12,7 | 42,2 | 29,3 | 13,0 | 24,6 | 15,7 | 82,6 |
| **Douglasie <> II Ekl. oder Höhenrahmen <> Substratgruppe Buntsandsteine <> unteres Wertespektrum** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 31,1 | 169 | 68 | 21 | 8 | 10 | 106 | 29 | 60 | 24 | 193 | 306 | 2,8 | 7,2 | 2,3 | 9,8 | 22,1 | 21 | 46 | 21 | 73 | 161 | 20 | 54 | 18 | 57 | 148 | 4,1 | 9,5 | 2,5 | 10,5 | 26,5 | 4,6 | 9,3 | 3,4 | 13,0 | 30,3 |
| 50 | 45,5 | 535 | 189 | 21 | 24 | 11 | 245 | 79 | 65 | 72 | 186 | 402 | 6,9 | 6,9 | 6,8 | 8,5 | 29,1 | 47 | 42 | 51 | 64 | 204 | 50 | 54 | 53 | 58 | 215 | 8,3 | 8,3 | 6,4 | 10,7 | 33,7 | 12,1 | 9,2 | 10,4 | 13,2 | 44,9 |
| 75 | 52,3 | 785 | 287 | 26 | 36 | 11 | 359 | 118 | 78 | 108 | 192 | 495 | 9,9 | 7,5 | 10,2 | 7,9 | 35,5 | 65 | 44 | 61 | 59 | 229 | 72 | 63 | 79 | 62 | 277 | 10,3 | 8,5 | 8,3 | 11,5 | 38,6 | 18,0 | 10,4 | 15,5 | 14,2 | 58,1 |
| 100 | 55,7 | 915 | 347 | 30 | 42 | 12 | 431 | 142 | 91 | 128 | 199 | 560 | 11,7 | 8,2 | 12,1 | 7,4 | 39,4 | 76 | 47 | 57 | 55 | 235 | 85 | 74 | 94 | 67 | 320 | 10,8 | 8,8 | 8,6 | 12,4 | 40,6 | 21,6 | 11,9 | 18,4 | 15,2 | 67,2 |
| 120 | 56,5 | 946 | 368 | 34 | 44 | 13 | 459 | 150 | 101 | 134 | 204 | 589 | 12,4 | 8,6 | 12,6 | 7,2 | 40,8 | 80 | 49 | 49 | 53 | 231 | 90 | 81 | 98 | 70 | 340 | 10,6 | 9,0 | 8,1 | 13,0 | 40,7 | 22,9 | 13,0 | 19,2 | 16,0 | 71,2 |
| **Douglasie <> III Ekl. oder Höhenrahmen <> Substratgruppe Buntsandsteine <> unteres Wertespektrum** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 25,6 | 85 | 42 | 21 | 4 | 11 | 78 | 18 | 62 | 13 | 199 | 293 | 1,9 | 7,6 | 1,2 | 10,3 | 20,9 | 14 | 48 | 12 | 77 | 151 | 13 | 66 | 10 | 58 | 137 | 2,8 | 10,1 | 1,4 | 10,8 | 25,1 | 2,9 | 9,7 | 1,9 | 13,3 | 27,8 |
| 50 | 39,7 | 381 | 134 | 21 | 17 | 10 | 182 | 56 | 63 | 50 | 187 | 357 | 5,1 | 6,9 | 4,7 | 8,8 | 25,6 | 37 | 43 | 39 | 65 | 183 | 37 | 54 | 37 | 57 | 185 | 6,6 | 8,5 | 4,7 | 10,6 | 30,4 | 8,8 | 9,1 | 7,2 | 13,1 | 38,2 |
| 75 | 46,8 | 603 | 213 | 25 | 27 | 11 | 276 | 89 | 75 | 81 | 193 | 438 | 7,7 | 7,5 | 7,6 | 8,3 | 31,2 | 53 | 45 | 52 | 62 | 211 | 56 | 62 | 60 | 62 | 239 | 8,7 | 8,7 | 6,8 | 11,4 | 35,6 | 13,6 | 10,3 | 11,6 | 14,1 | 49,6 |
| 100 | 49,7 | 706 | 255 | 30 | 32 | 12 | 328 | 105 | 88 | 96 | 202 | 491 | 9,0 | 8,3 | 9,0 | 8,1 | 34,4 | 61 | 48 | 52 | 60 | 221 | 66 | 72 | 70 | 66 | 274 | 9,3 | 9,2 | 7,2 | 12,3 | 38,0 | 16,2 | 11,7 | 13,8 | 15,2 | 56,8 |
| 120 | 50,3 | 712 | 259 | 34 | 32 | 13 | 337 | 107 | 99 | 96 | 214 | 516 | 9,2 | 9,1 | 9,1 | 8,2 | 35,6 | 62 | 52 | 48 | 61 | 224 | 67 | 82 | 71 | 71 | 290 | 9,1 | 9,9 | 6,9 | 13,2 | 39,1 | 16,5 | 13,1 | 13,8 | 16,3 | 59,7 |
| **Douglasie <> IV Ekl. oder Höhenrahmen <> Substratgruppe Buntsandsteine <> unteres Wertespektrum** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 24,0 | 44 | 27 | 21 | 2 | 10 | 61 | 13 | 61 | 7 | 196 | 277 | 1,4 | 7,4 | 0,6 | 10,1 | 19,5 | 12 | 47 | 8 | 75 | 142 | 10 | 55 | 5 | 58 | 127 | 2,4 | 9,8 | 0,8 | 10,7 | 23,7 | 2,0 | 9,5 | 1,0 | 13,1 | 25,7 |
| 50 | 33,9 | 226 | 78 | 21 | 9 | 10 | 118 | 34 | 62 | 29 | 187 | 312 | 3,4 | 7,0 | 2,7 | 9,1 | 22,1 | 26 | 43 | 26 | 67 | 162 | 24 | 53 | 21 | 57 | 155 | 4,9 | 8,7 | 3,0 | 10,5 | 27,2 | 5,4 | 9,1 | 4,1 | 13,0 | 31,5 |
| 75 | 41,3 | 421 | 139 | 24 | 18 | 11 | 192 | 59 | 72 | 54 | 195 | 380 | 5,5 | 7,6 | 5,1 | 8,8 | 26,9 | 40 | 46 | 43 | 65 | 193 | 40 | 61 | 40 | 61 | 201 | 7,1 | 9,0 | 5,2 | 11,3 | 32,5 | 9,3 | 10,1 | 7,8 | 13,9 | 41,0 |
| 100 | 43,7 | 497 | 162 | 29 | 21 | 12 | 224 | 69 | 85 | 63 | 205 | 422 | 6,3 | 8,4 | 6,0 | 8,7 | 29,4 | 45 | 50 | 47 | 65 | 207 | 46 | 71 | 47 | 66 | 229 | 7,1 | 9,7 | 5,8 | 12,2 | 35,4 | 10,7 | 11,5 | 9,1 | 15,1 | 46,4 |
| 120 | 44,1 | 479 | 149 | 34 | 19 | 13 | 215 | 64 | 97 | 59 | 223 | 443 | 6,0 | 9,5 | 5,5 | 9,3 | 30,3 | 44 | 56 | 47 | 69 | 217 | 44 | 82 | 43 | 72 | 241 | 7,6 | 10,8 | 5,7 | 13,4 | 37,5 | 10,0 | 13,2 | 8,5 | 16,5 | 48,2 |



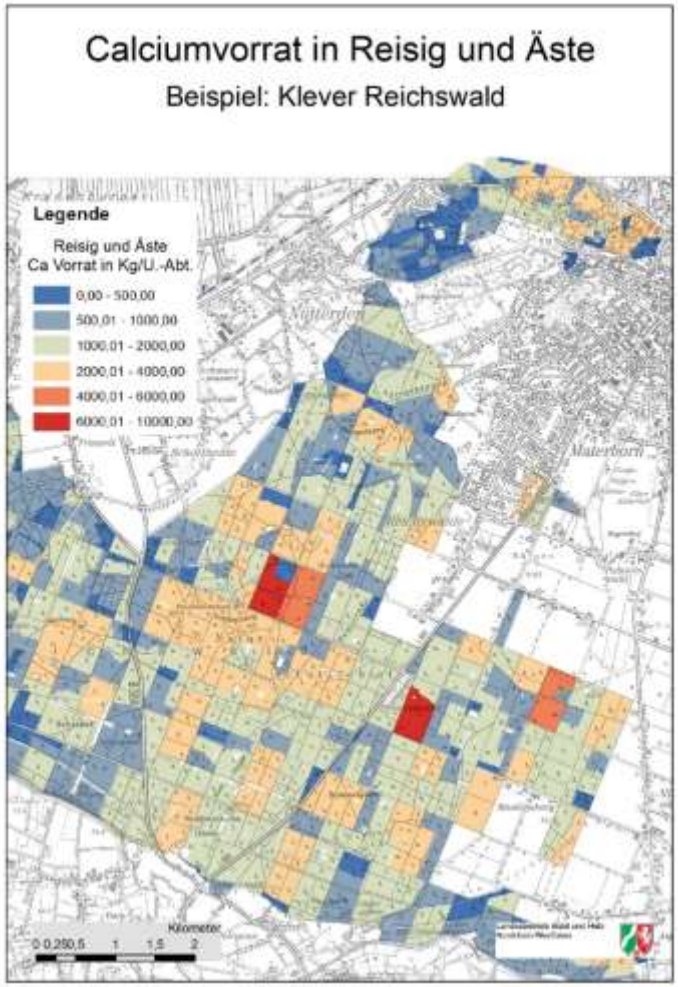


Quelle: Forstliche Standortsaufnahme, 7. Auflage 2016, IHW-Verlag Eching bei München

# Berechnung für einen Forstbetrieb

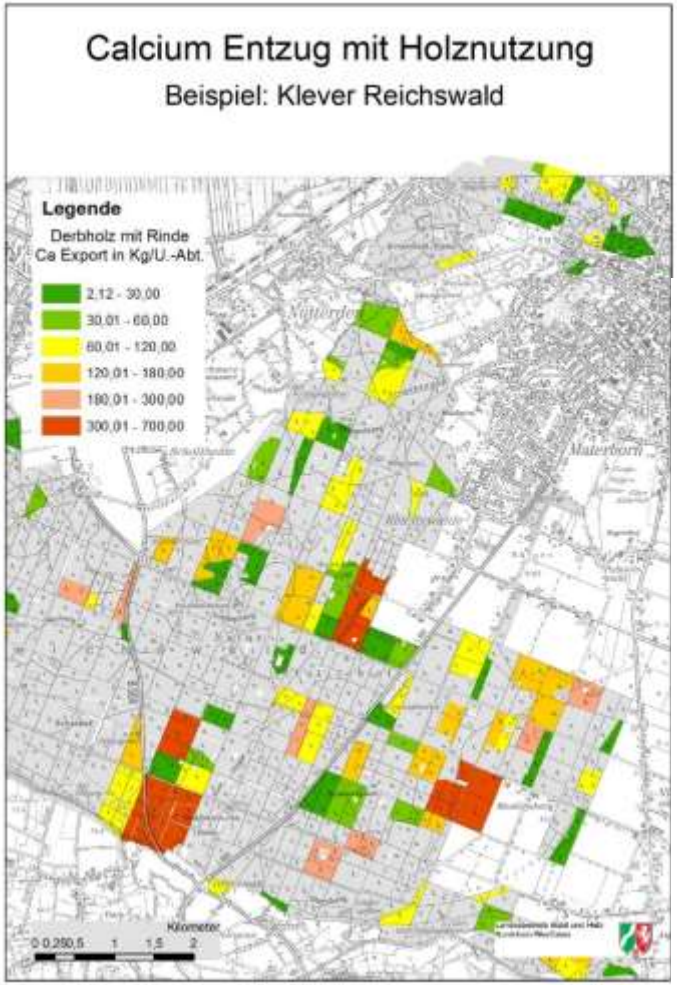


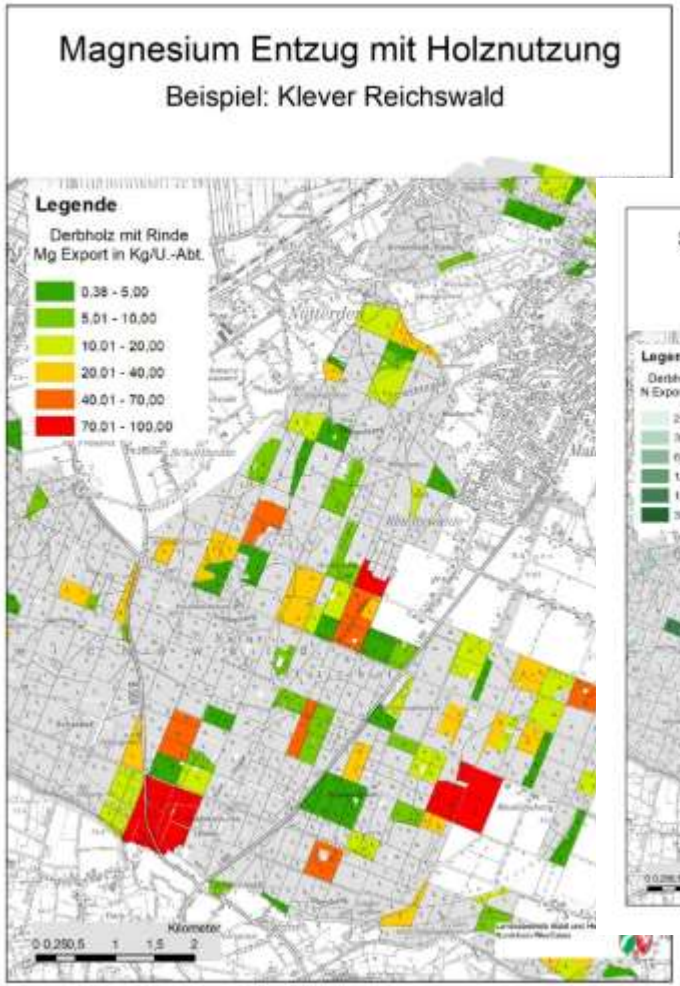

**Mineralstoffmengen im Wald**
(oberirdisch pro Unterabteilung)

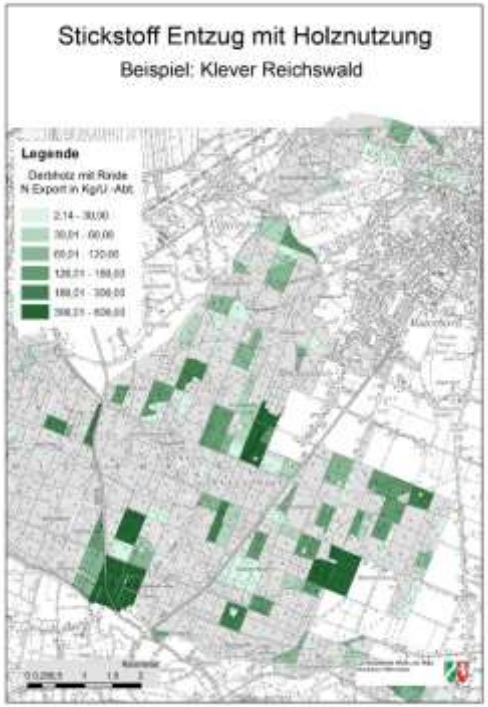


# Export von Mineralstoffen aus dem Wald

(oberirdisch pro Unteabteilung)




Berechnung für einen Forstbetrieb

# Zwischenfazit 2: Biomassenutzung

- Mit der Holznutzung realisierte Mineralstoffentzüge können für die jeweilige Wirtschaftseinheit beschrieben werden
- Auf basenarmen Böden wird mit einer Stammholznutzung die nachschaffende Kraft (Verwitterung, Deposition) der Standorte ausgeschöpft
- Zusätzliche Reisig- und Astholznutzung (Vollbaum) führt auf basenarmen Standorten zu einer weiteren Bodenverarmung bzw. –versauerung
- Durch eine einfache Gegenüberstellung der Mineralstoffnachlieferung und der Mineralstoffentzüge mit der Holzernte kann abgeschätzt werden, ob die Mineralstoffnachhaltigkeit gewährleistet ist und die aktuelle Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibt.
- Eine Einschränkung der Stamm-Holznutzung als Kompensation externe Säureeinträge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist volkswirtschaftlich nicht sinnvoll; Holzaschen können benutzt werden um Entzüge auszugleichen

# Säurebelastungen durch

## Stickstoffvorratsabbau

Beispiel:

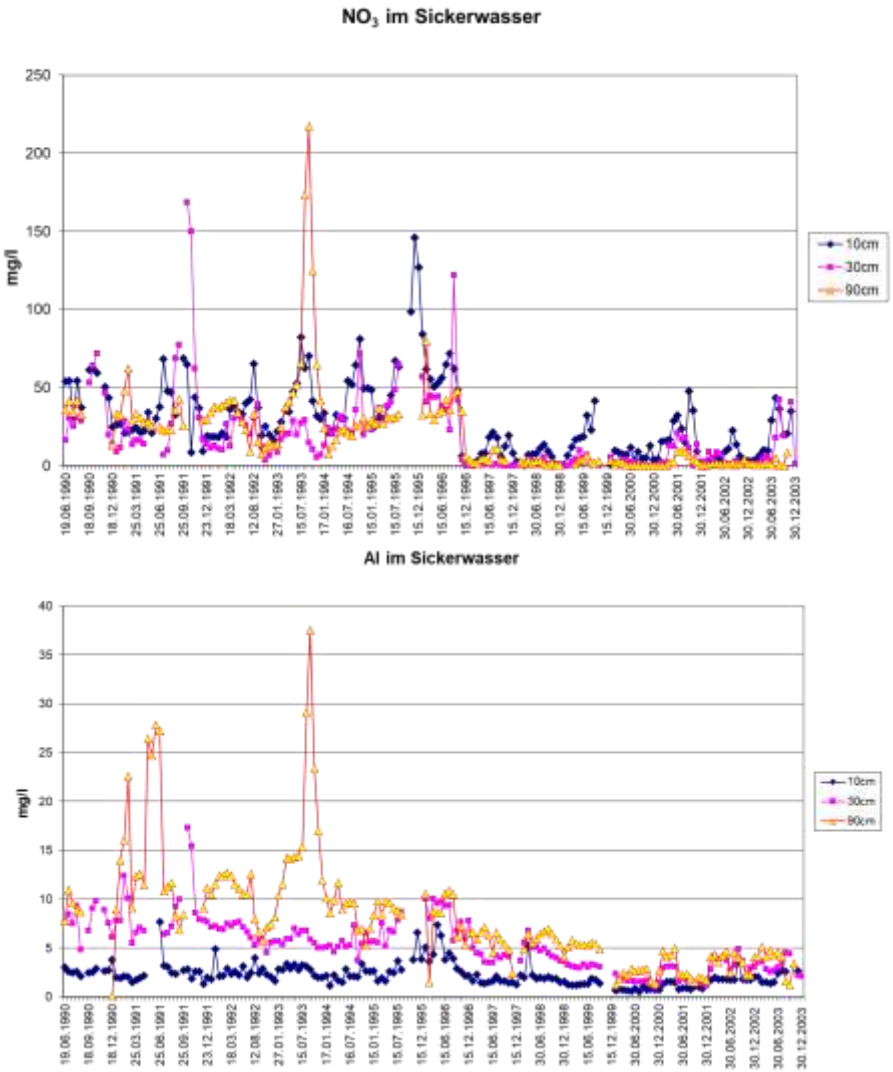
Klever Reichswald

| | | |
|---|---|---|
| Stickstoffvorrat der Böden bis 90 cm Tiefe: | | 6,6 – 8,7 t/ha |
| Bodenreaktion pH($CaCl_2$): | | 2,7 – 3,1 Tiefe 0 – 5 cm |
| | | 4,1 – 4,4 Tiefe 60 – 90 cm |
| Basensättigung ($KAK_e$) bis 90 cm Tiefe: | < 10 % | |
| Humusform: | | Rohhumus |

# Versauerungsschub im Unterboden

(unbehandelte Versuchsfläche)

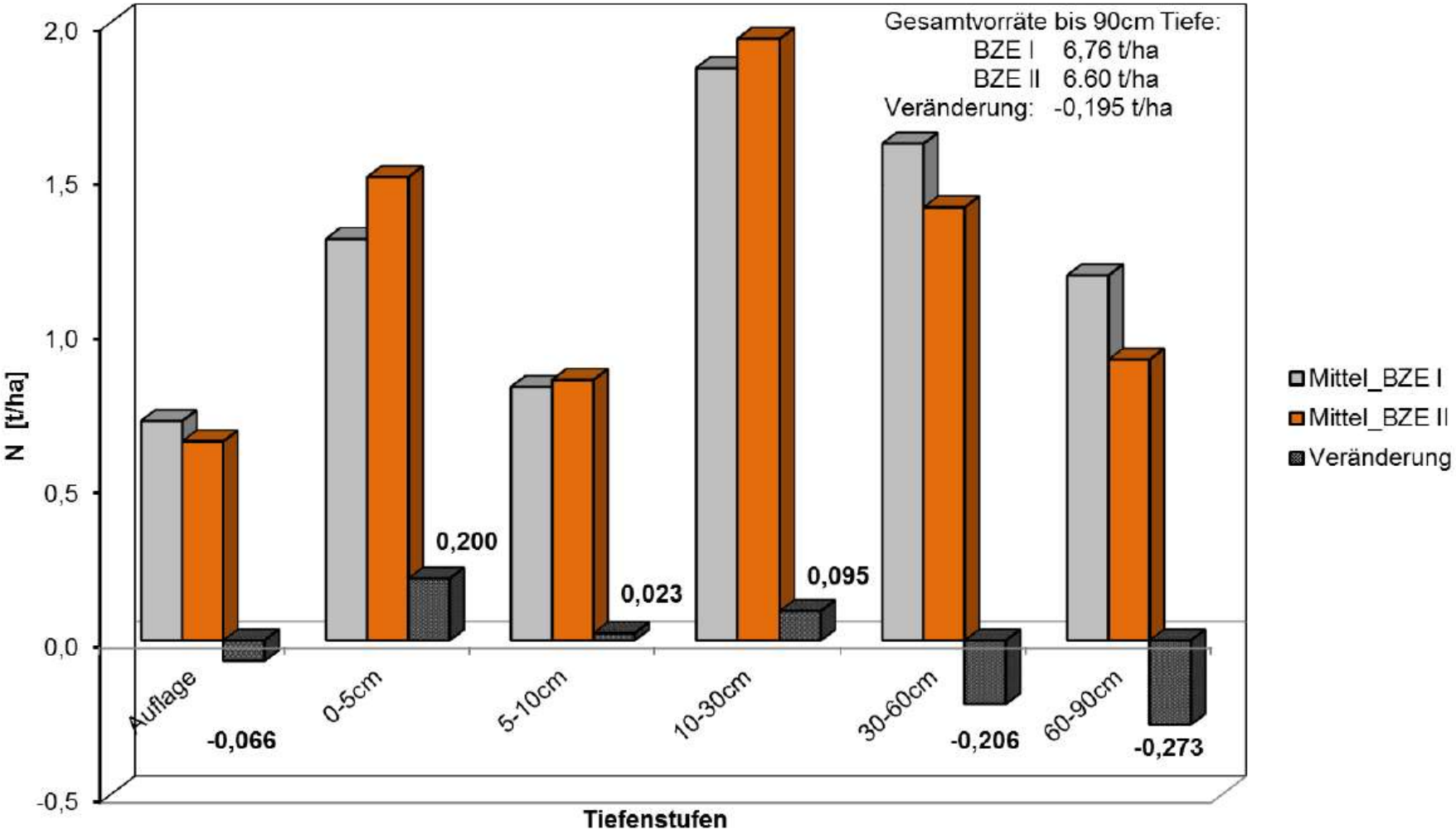
durch Mineralisation organisch gebundenem Stickstoff




Durch Stickstoffmineralisation gebildete Säure wird im Unterboden durch Freisetzung von Al in die Bodensuspension gepuffert.

Folge können Wurzelschäden in dem Bereich sein

**Stickstoffvorräte**
der BZE II (2007) im Vergleich zur BZE I (1990) [n=272]




lanuv NRW.

# Säurebelastungen durch

## Stickstoffvorratsabbau

Beispiel:

Klever Reichswald

| | |
|---|---|
| Stickstoffvorrat bis 90 cm Tiefe: | 6,6 – 8,7 t/ha |
| Bodenreaktion pH($CaCl_2$): | 2,7 – 3,1 Tiefe 0 – 5 cm |
| | 4,1 – 4,4 Tiefe 60 – 90 cm |
| Basensättigung bis 90 cm Tiefe: | < 10 % |
| Humusform: | Rohhumus |

**Säurebelastung durch Stickstoffvorratsabbau**

ca. **0 - 10 $kmol_c$/( ha)** bzw. 0 -500 kg $CaCO_3$/(ha) Nitratauswaschung

# Zwischenfazit 3: Stickstoffvorratsabbau im Boden

- Die Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre in die Wälder übersteigt i.d.R. die Aufnahmekapazität der Waldbestände und führt zu einer Stickstoffsättigung der Waldböden
- Insbesondere nach Niederschlägen nach einer Trockenphase können große Mengen Stickstoff mineralisiert werden. Kann die Vegetation das gebildete Nitrat nicht aufnehmen können hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auftreten. Kann die dabei gebildete Säure nicht durch z.B. Calcium sondern durch Aluminium neutralisiert werden, sind Wurzelschäden zu erwarten und Nitrat- und Mineralstoffausträge in Richtung Grundwasser die Folge
- Stickstoffvorratsabbau im Boden bzw. Versauerungsschübe sind messentechnisch schwer zu erfassen und oftmals ein schleichender Prozeß. Ein Hinweis hierauf können Stickstoffzeigerpflanzen im Wald sein (u.a. Holunder)

Perspektive

# Bodenschutzkalkung im Wald

ist auch heute noch dringend erforderlich, um die negativen Wirkungen starker Säuren – insbesondere aus externen Quellen – zu neutralisieren.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, das mit der Bodenschutzkalkung verfolgte Ziele erreicht werden, die Vitalität der Bestände gestärkt und Belastungen nachgelagerter Umweltgüter mit Nitrat und Säuren vermieden werden.

# 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

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Quelle: Die Zeit, 18-09-2014