

# ÄNDERUNGEN BODENCHEMISCHER STANDORTSEIGENSCHAFTEN DURCH SAURE NIEDERSCHLÄGE

W. Hetsch, K.-J. Meiwes und B. Ulrich

Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Büsgenweg 2,  
D-34 Göttingen

## Einleitung

Der Begriff des forstlichen Standorts beinhaltet nach der herkömmlichen Definition die ökologisch relevanten Eigenschaften, die über einen längeren Zeitraum im Mittel konstant bleiben. Dazu sind selbstverständlich auch immer die bodenchemischen Eigenschaften gezählt worden.

Die hohe Immissionsbelastung in Mitteleuropa führt jedoch auch in industriefernen Gebieten zumindest auf bestimmten Böden zu unserer Meinung nach erheblichen Änderungen im chemischen Bodenzustand, worüber hier berichtet werden soll.

Im Solling, einem waldreichen, industriefreien Mittelgebirge im südlichen Niedersachsen, in dem unser Institut seit etwa 15 Jahren Wasser- und Bioelementflüsse in einem Buchen- und einem Fichtenökosystem untersucht, wurden die Immissionsraten aller mengenmäßig erheblichen Bioelemente bestimmt. (Abb. 1)

Abb. 1: Gesamtdeposition in Buchen- und Fichtenbeständen im Solling

	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	N	P
Buche			Mengen	ha <sup>-1</sup>	a <sup>-1</sup>			
	kg kmol IÄ	1,7 1,7	12 0,54	3,9 0,32	21 1,1	30 0,85	48 3,0	21 1,5
Fichte								
	kg kmol IÄ	3,4 3,4	16 0,7	4,8 0,39	27 1,4	36 1,0	85 5,3	29 2,1

Beachtlich ist der hohe Anteil an Wasserstoffionen, der unter Fichte aufgrund der artspezifisch größeren Oberfläche der Nadelmasse, die zudem ganzjährig vorhanden ist, doppelt so hohe Werte erreicht wie unter Buche. Die entsprechenden pH-Werte im Bestandesniederschlag sind unter Buche etwa 3.7 - 4.3, unter Fichte 3.2 - 3.5. Die Hauptsäurequellen sind dabei Oxidationsprodukte von  $\text{SO}_2$  und Stickoxiden, die aus Verbrennungsvorgängen als Luftverunreinigungen in die Atmosphäre gelangen. Dominierendes Anion ist Sulfat. Der erhöhten Deposition an H unter Fichte entspricht der Anstieg von  $\text{SO}_4^{2-}$ . Beachtlich ist auch der Eintrag an Stickstoff, der mit zunehmender Interception unter Fichte ebenfalls steigt.

#### Material und Methoden

Im folgenden soll versucht werden, über Inventurvergleiche zu zwei Zeitpunkten durch Immissionsbelastungen bedingte Änderungen wichtiger bodenchemischer Standortsmerkmale zu erfassen. Solche Änderungen durch Inventurvergleiche festzustellen ist vor allem deshalb schwierig, weil eine Differenz von zwei Größen gesichert werden muß. Je kleiner die Differenz im Vergleich zum Vorrat und je höher die Varianz der Vorratsgröße, um so mehr Wiederholungen sind erforderlich, um einen tatsächlich vorhandenen Unterschied statistisch zu sichern. Da der analytische Aufwand jedoch die Zahl der Wiederholungen begrenzt, ist die Wahrscheinlichkeit, Unterschiede als nicht signifikant abzulehnen, obwohl sie wahr sind, entsprechend hoch.

Die untersuchten Parzellen sind 3 Buchen- und 3 Fichtenparzellen im Hochsolling (Höhe ca. 500m, Jahresniederschlag ca. 1000 mm). Der Bodentyp ist eine saure Braunerde aus solifluidal verlagertem Löß über Buntsandsteinfließerien.

Um zu überprüfen, inwieweit die an den Sollingflächen gemachten Beobachtungen verallgemeinerbar sind, suchten wir nach weiteren Flächen, von denen mit gleicher Methodik gewonnene Bodenanalysen aus früheren Jahren vorlagen. Es fanden sich lediglich 8 Fichtenflächen im Eggegebirge, FA Neuenheerse, auf ähnlichem Standort. Diese Flächen wurden allerdings 1961

mit 3000 kg Branntkalk und 1964 mit Thomasphosphat (entsprechend 450 kg CaO) oder Hüttenkalk (entsprechend 2250 kg CaO) gedüngt. Sie sollen deshalb getrennt betrachtet werden. Untersucht wurden die Konzentrationen an Gesamt-C und -N, der pH-Wert und die mit 1n NH<sub>4</sub>Cl austauschbaren Kationen H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al. Von den Sollingflächen wurde auch zu beiden Inventurzeitpunkten eine Gleichgewichtsbodenlösung (GBL) bestimmt (ULRICH 1966).

Unterschiede wurden mit zwei nichtparametrischen Tests, dem Wilcoxon-Test (Flächen Eggegebirge) und dem Mann-Whitney-U-Test (Flächen Solling) auf Signifikanz geprüft und mit SPSS gerechnet. <sup>1)</sup>

#### Ergebnisse und Diskussion

Ein Vergleich der Zeitpunkte der nicht gekalkten Solling-Flächen erbrachte folgende Ergebnisse (Abb.2):

Der pH-Wert im oberen B-Horizont sinkt signifikant ab. In etwas größerer Tiefe (besonders 20 - 40 cm) steigt der C-Gehalt, weniger stark auch der N-Gehalt bei entsprechend weiter werdendem C/N-Verhältnis an. Dies kann als zunehmende Podsoligkeit im Sinne von ZEVSCHWITZ et al. (1973) interpretiert werden. Offenbar infiltrieren vermehrt niedermolekulare stickstoffarme organische Säuren in den B-Horizont.

Bei den Kationen (Abb.3) fällt vor allem eine Zunahme des Anteils von austauschbarem Wasserstoff im A-Horizont und oberem B-Horizont auf. Der Anteil an austauschbarem Al an der Austauschkapazität erhöht sich dagegen signifikant im unteren B-Horizont. Die effektive Austauschkapazität (AKe, ULRICH 1966) nimmt hier ebenfalls zu.

Nach ULRICH (1979) liegen dieser Beobachtung folgende Prozesse zugrunde:

Im pH-Bereich von 3.0 bis 4.2 sind die puffernden Substanzen

1) Bei der statistischen Auswertung berieten uns dankenswerterweise Frau Dr. Frohn und Herr Saborowski der Abt. Forstl. Biometrie.

Abb.2 :pH-Wert,C,N und C/N in 6 Parzellen im Solling 1966 und 1979 gemessen.

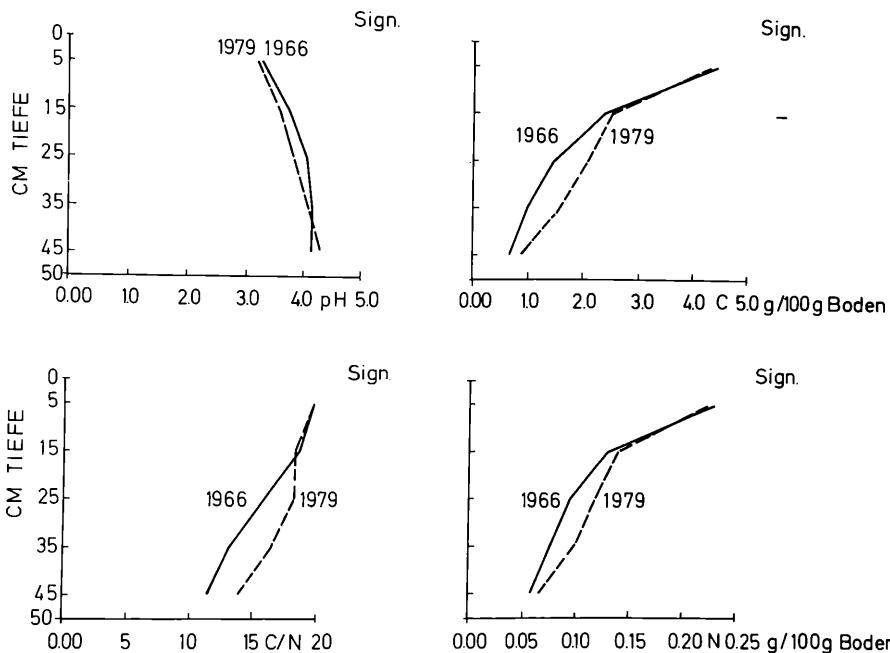
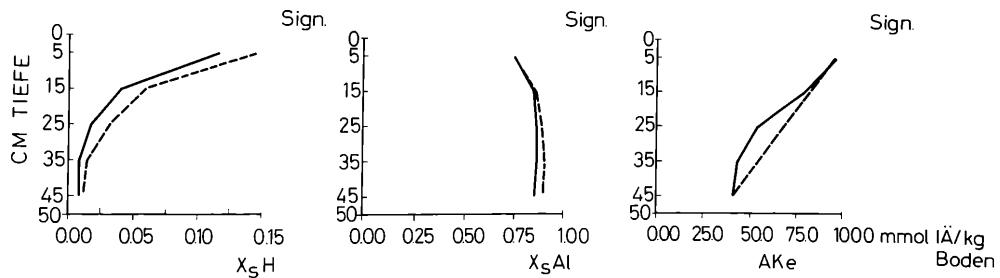


Abb.3 :Der Anteil von H und Al an der Austauschkapazität(=1) und die AKe in 6 Parzellen im Solling 1966 und 1979.



im Boden polymere Al-Hydroxide, die im Zwischenschichtraum aufgeweiteter illitischer Tonminerale (sekundärer Chlorit) oder auf Mineraloberflächen sitzen. Im Boden vorhandene Al-Silikate würden zwar bei höheren pH-Werten puffern, jedoch ist deren Reaktionsgeschwindigkeit unter dem derzeitigen Wasserstoffioneninput in die Böden zu gering, um wirksam zu werden. Wie FÖLSTER et al. (1979) zeigten, sind polymere Al-Hydroxide im A-Horizont bereits weitgehend verschwunden. Der pH-Wert kann deshalb hier mit Werten wenig über 3.0 bis in den Bereich der Löslichkeit von Eisenhydroxiden absinken, die darunter als Puffersubstanz wirksam werden.

Im B-Horizont erfolgt die Pufferung unter Auflösung der polymeren Al-Hydroxide und Bildung monomerer  $\text{Al}^{3+}$ . Entsprechend erhöht sich der Anteil von Al am Austauscher und in der Bodenlösung.

Inwieweit der Anstieg der Austauschkapazität im B-Horizont auf Freiwerden von bisher durch nicht austauschbare polymere Al-Hydroxide blockierte Austauscherplätze zurückgeht oder durch Änderung pH-abhängiger Ladung verursacht ist, ist bisher unklar.

Der hohe Wasserstoffioneninput führt offenbar zu einer zeitlich von oben nach unten im Bodenprofil fortschreitenden Auflösung der leichter löslichen Al-Verbindungen, wobei gleichzeitig der Anteil von Al in der Bodenlösung und am Austauscher erheblich ansteigt.

In der Gleichgewichtsbodenlösung (GBL) wird die Zunahme von Al und H besonders deutlich. (Abb.4)

Ähnlich wie bei den austauschbaren Kationen erkennt man auch hier, daß H besonders in den obersten Horizonten zugenommen hat, der Anteil von Al dagegen erst im B-Horizont stärker angestiegen ist. Die Auswirkung der etwa doppelt so hohen Immissonsrate von H unter Fichte gegenüber Buche wird in der GBL ebenfalls gut erkennbar. Der relative Kurvenverlauf unter Buche hat sich dem unter Fichte angeglichen, die absoluten Werte sind jedoch unter Buche immer noch günstiger als unter Fichte. Ein prinzipieller Unterschied ist nicht zu erkennen,

Abb.4 :Die Anteile von H und Al an der Summe der Kationen(=1) in der GBL in je 3 Parzellen unter Buche und Fichte im Solling 1966 und 1979.

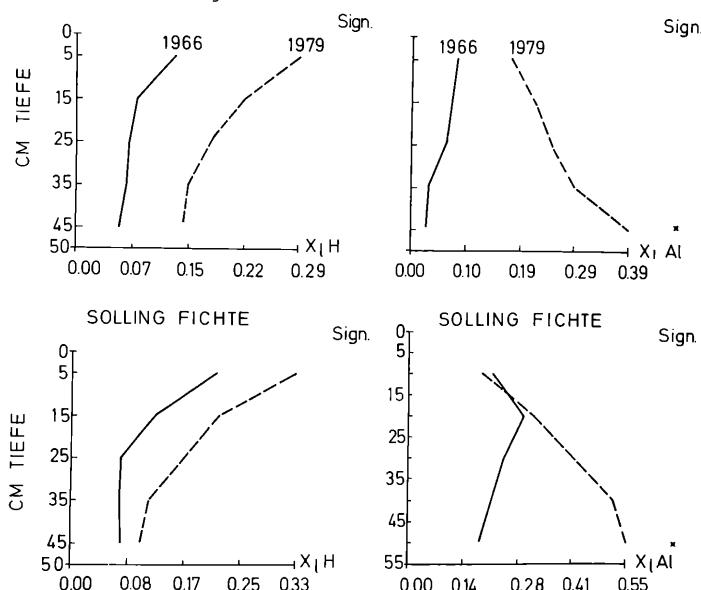
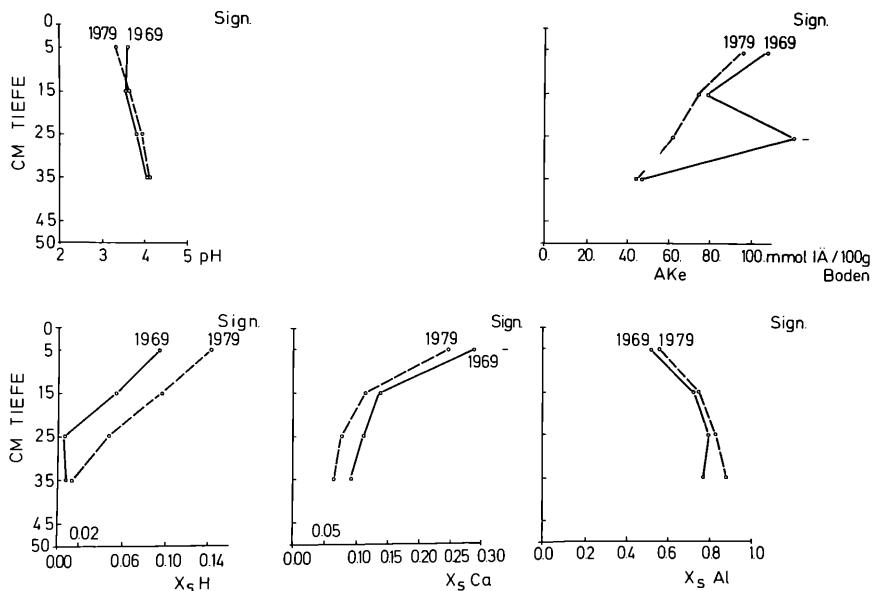


Abb.5 :pH,AKe und der Anteil an H,Ca und Al an der AKe(=1) von 8 gekalkten Fichtenparzellen im FA Neuenheerse, Eggegebirge, 1969 und 1979.



die Versauerung läuft offenbar unter Buche aufgrund der artspezifisch geringeren Interzeption lediglich langsamer ab.

Betrachten wir nun die 8 gekalkten Parzellen im Eggegebirge, FA Neuenheerse. (Abb.5)

Da der Kalk oberflächlich auf die Humusauflage ausgebracht wurde, ist eine starke direkte Kalkwirkung auf den Mineralboden in der ersten Analyse 8 Jahre nach der Düngung nicht zu erwarten und auch nicht erkennbar. Die Bodenversauerung nach weiteren 10 Jahren zum Zeitpunkt der zweiten Probenahme ist jedoch geringer als auf den Solling-Flächen. Signifikante Unterschiede lassen sich auch aufgrund der größeren Varianz der Werte kaum feststellen. Tendenziell zeigt sich jedoch, vermutlich durch Ausklingen der Kalkdüngerwirkung, ein Absinken des pH-Werts im obersten Horizont und eine Zunahme von austauschbarem H und Al bei Abnahme des austauschbaren Ca. Die günstigere bodenchemische Situation dieser Flächen zeigt ein Vergleich mit den Fichten-Parzellen im Solling, wo der Anteil an austauschbarem Ca bei etwa 3% im gesamten Profil liegt, in Neuenheerse dagegen nach unten abnehmend bei 25 bis 8%. Der Anteil von Al, der in den B-Horizonten des Solling über 90% beträgt, erreicht hier erst 75 - 85%.

Die Kalkung konnte offenbar bisher die Auswirkungen des sauren Niederschlags weitgehend kompensieren.

Hinsichtlich der Bodenversauerung durch saure Niederschläge sind sicher noch manche Fragen offen. Untersucht werden an unserem Institut z.Zt. besonders die Effekte steigender Al-Konzentrationen auf Wurzeln und Keimpflanzen. Die Auswirkungen der Versauerung auf das Bestandeswachstum der Solling-Flächen werden momentan auch von ertragskundlicher Seite geprüft. Inwieweit ein aus bodenchemischer Sicht zu erwartender Ertragsrückgang tatsächlich eingetreten ist, kann deshalb im Augenblick noch nicht gesagt werden. Bisher vorliegende Messungen weisen allerdings darauf hin. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß zumindest auf bestimmten Standorten mit merklichen Veränderungen gerechnet werden muß. Als Gegenmaß-

nahme bietet sich eine Kompensationskalkung an (ULRICH 1978). Wünschenswert wäre es, wenn Untersuchungsergebnisse einer größeren Anzahl von Flächen vorlägen. Für die Zukunft wäre unserer Meinung nach anzustreben, daß die Forstlichen Versuchsanstalten speziell auf diese Fragestellung hin O-Parzellen von Düngungsversuchen in regelmäßigen Abständen, etwa alle 10 Jahre, nach einem festen Schema analysieren, um so sicherere quantitative Aussagen über mögliche Gefährdungen verschiedener Standortstypen machen zu können.

### Zusammenfassung

Untersucht wurde die Auswirkung saurer Niederschläge auf zwei Waldstandorte im Solling und auf einem gekalkten Standort im Eggegebirge. Die nicht gekalkte saure Braunerde zeigt unter der derzeitigen Wasserstoffionenbelastung sinkende pH-Werte, wobei am Austauscher und in der GBL im A-Horizont anteilmäßig vor allem H ansteigt, im B-Horizont der Anteil an monomerem Al. Durch Kalkung konnte der Säureinput weitgehend kompensiert werden.

### Literaturverzeichnis

- Fölster, H., H. Hase und R. Ullrich, 1979: Freisetzung von Aluminium in mitteldeutschen sauren Braunerden aus Löß-Sandstein-Fließerden. Z. Pflanzenern. Bodenk., 142, S. 185-194
- Ulrich, B., 1966: Kationenaustausch-Gleichgewichte im Boden. Z. Pflanzenern. Bodenk., 113, S. 141-159.
- Ulrich, B., 1978: Forstdüngung und Umwelt. Allgem. Forstzeitschr. 33, S. 413-416.
- Ulrich, B., R. Mayer und P. K. Khanna, 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schr. Forstl. Fak. Göttingen, 58, 291 S.
- Zezschwitz, E. v., U. Schwertmann und B. Ulrich, 1973: Die Podsolierungsstadien von Braunerden aus Schieferschutt. Z. Pflanzenern. Bodenk. 136, S. 40 - 52.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [140\\_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Hetsch W., Meiws Karl-Josef, Ulrich Bernhard

Artikel/Article: [Änderungen bodenchemischer Standortseigenschaften durch saure Niederschläge 223-230](#)